VALORACIÓN DE LA FUNCIÓN MUSCULAR

Competencias Esenciales para Licenciados en Educación Física

Evaluación

Análisis

Diagnóstico

Aplicación







Fuerza

Resistencia

Función

Rendimiento

Ciencia, evidencia y práctica
al servicio del movimiento humano

ISBN
978-9942-595-19-5

El libro "**VALORACIÓN DE LA FUNCIÓN MUSCULAR: COMPETENCIAS ESENCIALES PARA LICENCIADOS EN EDUCACIÓN FÍSICA"** está avalado por un sistema de evaluación por pares doble ciego, también conocido en inglés como sistemas "double-blind paper review" registrados en la base de datos de la **EDITORIAL CIENCIA DIGITAL** con registro en la Cámara Ecuatoriana del Libros No.663 para la revisión de libros, capítulos de libros o compilación.

Evaluadores:

-

ISBN_978-9942-595-19-5

Primera edición, septiembre 2026

Edición con fines didácticos

Coeditado e impreso en Ambato - Ecuador

El libro que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Editorial Ciencia Digital.**

El libro queda en propiedad de la editorial y por tanto su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Editorial Ciencia Digital.**

Jardín Ambateño, Ambato, Ecuador

Teléfono: 0998235485 – 032-511262

Publicación:

w: www.cienciadigitaleditorial.com

w: http://libros.cienciadigital.org/index.php/CienciaDigitalEditorial

e: luisefrainvelastegui@cienciadigital.org

ISBN
978-9942-595-19-5

AUTORES

Fabian Andrés Contreras Jauregui
(Universidad del Atlántico)

Manuel De Jesus Cortina Nuñez
(Universidad de Cordoba)

Pablo Homero Velastegui López
(Ciencia Digital Editorial)

AUTORES

ISBN: 978-9942-595-19-5

CIENCIA DIGITAL EDITORIAL

La **Editorial Ciencia Digital**, creada por Dr.C. Efraín Velasteguí López PhD. en 2017, está inscrita en la Cámara Ecuatoriana del Libro con registro editorial No. 663.

El **objetivo** fundamental de la **Editorial Ciencia Digital** es un observatorio y lugar de intercambio de referencia en relación con la investigación, la didáctica y la práctica artística de la escritura. Reivindica a un tiempo los espacios tradicionales para el texto y la experimentación con los nuevos lenguajes, haciendo de puente entre las distintas sensibilidades y concepciones de la literatura.

El acceso libre y universal a la cultura es un valor que promueve Editorial Ciencia Digital a las nuevas tecnologías esta difusión tiene un alcance global. Muchas de nuestras actividades están enfocadas en este sentido, como la biblioteca digital, las publicaciones digitales, a la investigación y el desarrollo.

Desde su creación, la Editorial Ciencia Digital ha venido desarrollando una intensa actividad abarcando las siguientes áreas:

- Edición de libros y capítulos de libros
- Memoria de congresos científicos
- Red de Investigación

Editorial de las revistas indexadas en Latindex 2.0 y en diferentes bases de datos y repositorios: **Ciencia Digital** (ISSN 2602-8085), **Visionario Digital** (ISSN 2602-8506), **Explorador Digital** (ISSN 2661-6831), **Conciencia Digital** (ISSN 2600-5859), **Anatomía Digital** (ISSN 2697-3391) & **Alfa Publicaciones** (ISSN 2773-7330).

ISBN: 978-9942-595-19-5

ISBN
978-9942-595-19-5

ISBN: 978-9942-595-19-5 Versión Electrónica

Los aportes para la publicación de esta obra, está constituido por la experiencia de los investigadores

EDITORIAL REVISTA CIENCIA DIGITAL

Efraín Velasteguí López[1]

Contacto: Ciencia Digital, Jardín Ambateño, Ambato- Ecuador

Teléfono: 0998235485 - 032511262

Publicación:

w: www.cienciadigitaleditorial.com

e: luisefrainvelastegui@cienciadigital.org

Editora Ejecutiva	Director General
Dr. Tatiana Carrasco R.	Dr.C. Efraín Velasteguí PhD.

[1] **Efraín Velasteguí López**: Magister en Tecnología de la Información y Multimedia Educativa, Magister en Docencia y Currículo para la Educación Superior, Doctor (**PhD**) en Ciencia Pedagógicas por la Universidad de Matanza Camilo Cien Fuegos Cuba, cuenta con más de 120 publicaciones en revista indexadas en Latindex y Scopus, 21 ponencias a nivel nacional e internacional, 16 libros con ISBN, en multimedia educativa registrada en la cámara ecuatoriano del libro, tres patente de la marca Ciencia Digital, Acreditación en la categorización de investigadores nacionales y extranjeros Registro REG-INV-18-02074, Director, editor de las revistas indexadas en Latindex Catalogo 2.0, Ciencia Digital, Visionario Digital, Explorador Digital, Conciencia Digital, Anatomía Digital, Alfa Publicaciones y editorial Ciencia Digital registro editorial No 663. Cámara Ecuatoriana del libro director de la Red de Investigación Ciencia Digital, emitido mediante Acuerdo Nro. SENESCYT-2018-040, con número de registro REG-RED-18-0063

EJEMPLAR GRATUITO
PROHIBIDA SU VENTA

El “copyright” y todos los derechos de propiedad intelectual y/o industrial sobre el contenido de esta edición son propiedad de CDE. No está permitida la reproducción total y/o parcial de esta obra, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, electrónico, mecánico, por fotocopia o por registro u otros medios, salvo cuando se realice confines académicos o científicos y estrictamente no comerciales y gratuitos, debiendo citar en todo caso a la editorial.

ISBN
978-9942-595-19-5

PROLOGO

La valoración de la función muscular constituye un componente esencial para comprender el movimiento humano y para orientar de manera científica los procesos relacionados con la actividad física, el ejercicio, el deporte, la salud y la prevención de lesiones. El desarrollo de las ciencias del movimiento humano ha permitido reconocer que la función muscular no puede analizarse exclusivamente desde la capacidad de producir fuerza, sino que debe comprenderse como un fenómeno complejo en el que intervienen aspectos anatómicos, fisiológicos, neuromusculares, biomecánicos y funcionales. Desde esta perspectiva, la evaluación sistemática del sistema muscular representa una competencia fundamental para los profesionales vinculados con la educación física y las ciencias del deporte.

La presente obra, titulada *Valoración de la Función Muscular: Competencias Esenciales para Licenciados en Educación Física*, surge como una contribución académica orientada a fortalecer la formación científica y profesional de quienes tienen la responsabilidad de evaluar, orientar y acompañar los procesos relacionados con el movimiento humano. Su estructura parte de los fundamentos anatómicos del sistema muscular y de los mecanismos fisiológicos que hacen posible la contracción, para posteriormente avanzar hacia la comprensión biomecánica y hacia los diferentes procedimientos utilizados para valorar las capacidades funcionales del individuo.

Uno de los principales aportes de esta obra consiste en presentar la función muscular como un fenómeno integrado. La producción de fuerza, la potencia, la resistencia, el equilibrio, la estabilidad, el rango de movimiento y el control neuromuscular no deben interpretarse como elementos independientes, sino como componentes que interactúan permanentemente para permitir que una persona pueda desenvolverse de manera eficiente en sus actividades cotidianas, educativas, laborales y deportivas. Esta visión integral permite superar los enfoques reduccionistas y favorece una comprensión más amplia de las necesidades individuales.

El libro también reconoce la importancia de combinar los procedimientos tradicionales de evaluación con las nuevas tecnologías de medición. La

evaluación manual continúa siendo una herramienta de gran utilidad, pero el desarrollo de la dinamometría y de otros instrumentos ha permitido obtener información cuantitativa con mayor precisión, sensibilidad y reproducibilidad. De esta manera, el profesional puede complementar la observación y el examen físico con datos objetivos que faciliten el seguimiento de los cambios producidos por el entrenamiento, la rehabilitación o las intervenciones preventivas.

Otro aspecto relevante es la necesidad de interpretar los resultados de manera contextualizada. Una medición muscular adquiere verdadero significado cuando se relaciona con características como la edad, el nivel de actividad física, las demandas deportivas u ocupacionales, las condiciones individuales y el contexto en el que se desarrolla la persona. La interpretación aislada de un resultado puede conducir a conclusiones incompletas; por ello, la valoración debe integrarse dentro de un proceso de razonamiento profesional que permita identificar necesidades, establecer objetivos y orientar decisiones.

La obra adquiere especial relevancia para el licenciado en Educación Física porque proporciona fundamentos que pueden ser aplicados en diferentes escenarios. La valoración muscular puede contribuir a la identificación de capacidades y limitaciones, al diseño de programas de ejercicio, al seguimiento del rendimiento físico, a la prevención de lesiones y al acompañamiento de procesos de recuperación funcional. Asimismo, sus principios pueden trasladarse a contextos educativos, deportivos, recreativos, comunitarios y de promoción de la salud.

El avance tecnológico constituye igualmente una oportunidad para transformar las prácticas de evaluación. Los sistemas de análisis del movimiento, la electromiografía, las plataformas de fuerza, los sensores y las herramientas digitales permiten ampliar la cantidad y calidad de información disponible. Sin embargo, la tecnología debe entenderse como un medio y no como un sustituto del conocimiento profesional. La calidad de una valoración depende tanto del instrumento utilizado como de la adecuada selección del protocolo, la estandarización del procedimiento y la capacidad del evaluador para interpretar los resultados.

ISBN
978-9942-595-19-5

En este sentido, la presente obra invita a asumir la valoración muscular como un proceso dinámico, sistemático y fundamentado en la evidencia. Su propósito no se limita a describir procedimientos, sino que busca favorecer el desarrollo de competencias para observar, medir, interpretar y tomar decisiones responsables frente a las características funcionales de diferentes individuos y poblaciones.

Finalmente, este libro representa una herramienta de consulta y formación para estudiantes, docentes y profesionales interesados en las ciencias del movimiento humano. Su contenido pretende contribuir a una práctica de la Educación Física cada vez más científica, crítica, ética y orientada a las necesidades reales de las personas. Comprender la función muscular y aprender a valorarla adecuadamente significa, en última instancia, adquirir mejores herramientas para promover un movimiento seguro, eficiente y saludable a lo largo de la vida.

PRESENTACION

La valoración de la función muscular constituye una de las competencias fundamentales dentro de la formación de los profesionales de la Educación Física, debido a su relación directa con el movimiento, la postura, la estabilidad articular, el rendimiento físico, la autonomía funcional y la salud. El conocimiento de las características anatómicas y fisiológicas del sistema muscular permite comprender los procesos que sustentan la producción de fuerza y, al mismo tiempo, proporciona las bases necesarias para interpretar los resultados obtenidos mediante diferentes procedimientos de evaluación.

El presente libro, *Valoración de la Función Muscular: Competencias Esenciales para Licenciados en Educación Física*, ha sido concebido como un material académico de apoyo para facilitar la comprensión progresiva de los principales fundamentos y métodos relacionados con la evaluación muscular. El documento comienza con el estudio de las bases anatómicas del sistema muscular y continúa con la fisiología de la contracción muscular y la biomecánica aplicada a la función muscular. Estos contenidos proporcionan el fundamento conceptual necesario para comprender posteriormente los procedimientos de valoración.

La obra desarrolla una perspectiva integral de la evaluación física funcional. En este enfoque, la función muscular comprende la capacidad del sistema neuromuscular para generar fuerza, potencia y resistencia, además de participar en el control motor y en el mantenimiento de la estabilidad articular. Esta capacidad depende de la interacción entre el sistema nervioso, las unidades motoras, las fibras musculares, los tendones y las estructuras osteoarticulares.

A partir de estos fundamentos, el libro aborda diferentes métodos y procedimientos de evaluación, considerando tanto las técnicas clínicas tradicionales como las herramientas instrumentales y tecnológicas. La dinamometría, por ejemplo, permite transformar la fuerza mecánica producida por un músculo o grupo muscular en valores cuantitativos, proporcionando información útil para la valoración funcional, la investigación, el entrenamiento y la rehabilitación.

La obra concede igualmente importancia a la evaluación de capacidades específicas como la resistencia y la potencia muscular. La resistencia muscular es presentada como la capacidad de mantener o repetir una producción de fuerza durante un determinado periodo, mientras que su valoración requiere protocolos sistemáticos y reproducibles que permitan identificar cambios reales en el rendimiento. La potencia, por su parte, adquiere particular relevancia en actividades que requieren producir fuerza rápidamente y debe valorarse teniendo en cuenta las características individuales y las demandas específicas de cada actividad.

Otro componente fundamental corresponde a la evaluación postural y del rango de movimiento. La postura se entiende desde una perspectiva dinámica, relacionada con la interacción de los sistemas musculoesquelético, neurológico y sensorial, mientras que el rango de movimiento permite determinar la amplitud articular disponible y constituye un indicador relevante del estado funcional del sistema musculoesquelético.

El libro también reconoce que la valoración debe adaptarse a las características de las diferentes poblaciones. Los resultados de una prueba no pueden interpretarse de la misma manera en niños, adolescentes, adultos, personas mayores, deportistas o individuos que se encuentran en procesos de rehabilitación. Las condiciones de crecimiento, maduración, entrenamiento, envejecimiento y estado funcional modifican la respuesta muscular y deben ser consideradas para evitar interpretaciones inadecuadas.

Desde una perspectiva profesional, la valoración no finaliza con la obtención de una cifra o una puntuación. La interpretación de los resultados constituye una etapa esencial, pues permite transformar los datos obtenidos en información útil para la toma de decisiones. El análisis debe integrar los diferentes hallazgos y considerar factores individuales, funcionales y contextuales.

Por esta razón, el propósito de esta obra es contribuir al desarrollo de profesionales capaces de valorar la función muscular de manera sistemática, crítica y responsable. Se pretende que el lector no solamente conozca diferentes pruebas e instrumentos, sino que comprenda sus fundamentos, identifique sus

posibilidades y limitaciones y pueda seleccionar los procedimientos más adecuados de acuerdo con el objetivo de la evaluación.

En consecuencia, este libro se presenta como una herramienta académica para fortalecer las competencias relacionadas con la observación, medición, análisis e interpretación de la función muscular. Su contenido busca favorecer una Educación Física sustentada en conocimientos científicos, procedimientos estandarizados y decisiones profesionales orientadas hacia la promoción de la salud, la prevención de lesiones, la optimización del rendimiento y el mejoramiento de la calidad de vida.

ISBN
978-9942-595-19-5

Índice

INTRODUCCION 15

PARTE I. FUNDAMENTOS DE LA FUNCIÓN MUSCULAR 21

Capítulo 1. Bases Anatómicas del Sistema Muscular 21

Capítulo 2. Fisiología de la Contracción Muscular 31

Capítulo 3. Biomecánica Aplicada a la Función Muscular 46

Capítulo 4. Control Neuromuscular y Movimiento Humano 62

PARTE II. PRINCIPIOS DE LA VALORACIÓN MUSCULAR 77

Capítulo 5. Fundamentos de la Evaluación Física Funcional 77

Capítulo 6. Observación y Evaluación Postural 93

Capítulo 7. Valoración del Rango de Movimiento 111

PARTE III. MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LA FUNCIÓN MUSCULAR 127

Capítulo 8. Evaluación Manual de la Fuerza Muscular 127

Capítulo 9. Dinamometría y Tecnologías de Medición en la Funcion Muscular 142

Capítulo 10. Valoración de la Resistencia Muscular 158

Capítulo 11. Evaluación de la Potencia Muscular 179

Capítulo 12. Evaluación del Equilibrio y la Estabilidad 197

PARTE IV. VALORACIÓN FUNCIONAL EN CONTEXTOS ESPECÍFICOS .. 208

Capítulo 13. Evaluación Muscular en Niños y Adolescentes 208

Capítulo 14. Valoración Muscular en Adultos y Personas Mayores 219

Capítulo 15. Valoración Muscular en Deportistas 231

Capítulo 16. Valoración Muscular en Poblaciones Especiales 243

CONCLUSIONES 253

Referencias 258

INTRODUCCION

El movimiento humano constituye una expresión compleja de la interacción entre diferentes sistemas corporales, dentro de los cuales el sistema muscular desempeña un papel central. Los músculos participan en la producción de movimiento, el mantenimiento de la postura, la estabilización articular, la locomoción y la realización de actividades físicas y deportivas. Su funcionamiento depende de una organización estructural y fisiológica altamente especializada, integrada con los sistemas nervioso, cardiovascular y osteoarticular. Por esta razón, comprender y valorar la función muscular representa una competencia indispensable para los profesionales de la Educación Física y de las ciencias del movimiento humano.

La función muscular no puede reducirse únicamente a la capacidad de generar fuerza. El desempeño funcional del individuo depende también de la potencia, la resistencia, el control neuromuscular, la movilidad articular, el equilibrio, la estabilidad y la capacidad para coordinar diferentes segmentos corporales. En consecuencia, una valoración adecuada requiere una perspectiva multidimensional capaz de integrar diferentes componentes del movimiento y relacionarlos con las demandas específicas de cada persona.

Desde el punto de vista anatómico, el conocimiento del sistema muscular constituye el punto de partida para comprender su funcionamiento. La organización del músculo esquelético incluye estructuras que van desde el músculo completo y sus fascículos hasta las fibras musculares, las miofibrillas y los sarcómeros. Esta organización permite comprender cómo las estructuras contráctiles producen tensión y cómo dicha tensión se transmite hacia los tendones y los huesos para generar movimiento.

La fisiología de la contracción muscular permite explicar cómo los estímulos nerviosos se transforman en respuestas mecánicas. La interacción entre actina y miosina, la regulación del calcio, la disponibilidad de ATP, el funcionamiento de la unión neuromuscular y el reclutamiento de unidades motoras constituyen procesos esenciales para la generación y regulación de la fuerza. El conocimiento de estos mecanismos facilita la comprensión de las adaptaciones

producidas por el entrenamiento, el envejecimiento, la inactividad física y diferentes condiciones patológicas.

A estos fundamentos se incorpora la biomecánica, disciplina que permite analizar la relación entre las fuerzas internas y externas que actúan sobre el cuerpo. La función muscular depende de factores como la longitud del músculo, la velocidad de contracción, la arquitectura de las fibras, el brazo de momento y la posición articular. Por ello, la valoración de la función muscular requiere considerar no solamente cuánto puede producir un músculo, sino también cómo produce esa fuerza y bajo qué condiciones mecánicas se desarrolla.

La evaluación física funcional constituye el puente entre el conocimiento teórico y la aplicación práctica. Su propósito es obtener información objetiva sobre el estado funcional de una persona, identificar fortalezas y limitaciones, establecer objetivos y realizar seguimiento de los cambios producidos por el ejercicio, el entrenamiento o los procesos de rehabilitación. En este contexto, la interpretación de los resultados requiere integrar la anamnesis, la observación, las mediciones antropométricas, la valoración musculoesquelética y las pruebas funcionales.

Dentro de los procedimientos tradicionales, la evaluación manual de la fuerza muscular ha ocupado históricamente un lugar importante. Sin embargo, el desarrollo de instrumentos de medición ha permitido complementar esta metodología con procedimientos cuantitativos. La dinamometría representa uno de los avances más relevantes, debido a su capacidad para registrar objetivamente la fuerza ejercida por un músculo o grupo muscular y detectar variaciones que pueden no ser evidentes mediante una exploración manual.

La evaluación de la resistencia muscular constituye igualmente un componente importante de la valoración funcional. La capacidad para repetir contracciones o mantener una determinada producción de fuerza durante un periodo determinado influye directamente sobre la autonomía, el rendimiento físico y la realización de actividades cotidianas. Por ello, las pruebas de resistencia deben ser seleccionadas y aplicadas mediante protocolos estandarizados que garanticen resultados comparables y reproducibles.

La potencia muscular representa otra dimensión relevante, especialmente en actividades deportivas y funcionales que requieren generar fuerza rápidamente. Su evaluación debe considerar las características del individuo, el nivel de entrenamiento, la disciplina deportiva y las demandas específicas de la tarea. En niños y adolescentes, además, deben tenerse en cuenta el crecimiento, la maduración biológica, la coordinación neuromuscular y los cambios en la composición corporal para evitar comparaciones inadecuadas.

La valoración del equilibrio, la estabilidad, la postura y el rango de movimiento complementa el análisis de la función muscular. La postura no constituye simplemente una posición estática, sino un proceso dinámico de adaptación permanente ante las demandas internas y externas. De igual manera, el rango de movimiento proporciona información relevante sobre la capacidad funcional de las articulaciones y sobre las condiciones de los tejidos musculares, tendinosos, ligamentarios y articulares.

La evolución tecnológica ha ampliado considerablemente las posibilidades de evaluación. Los sistemas de captura tridimensional, la electromiografía, los sensores inerciales, las plataformas de fuerza, la visión computacional y otras herramientas digitales permiten obtener información más precisa sobre el movimiento y la función muscular. No obstante, estas tecnologías deben complementar el razonamiento profesional y no sustituirlo, debido a que la interpretación de los datos requiere conocimiento científico y comprensión del contexto individual.

La calidad de una valoración depende, además, de la validez y fiabilidad de los procedimientos utilizados. Un protocolo debe establecer de manera clara las condiciones de aplicación, la posición inicial, la técnica, la carga, la velocidad, los tiempos de descanso y los criterios para determinar una respuesta válida. La estandarización disminuye las fuentes de variabilidad y permite diferenciar los cambios reales de aquellos derivados de errores del procedimiento.

El presente libro se estructura con el propósito de avanzar progresivamente desde los fundamentos hacia la aplicación de los procedimientos de valoración. El recorrido inicia con las bases anatómicas del sistema muscular y la fisiología de la contracción, continúa con la biomecánica y los fundamentos de la

evaluación física funcional y posteriormente aborda la observación postural, el rango de movimiento, la valoración de la fuerza, la dinamometría, la resistencia, la potencia y otros componentes relacionados con la función muscular. Esta organización busca facilitar la integración conceptual y práctica de los contenidos.

La importancia de este enfoque radica en que la valoración muscular puede desarrollarse en múltiples contextos. En el ámbito educativo permite reconocer características funcionales de los estudiantes y orientar procesos de actividad física; en el deporte facilita la identificación de capacidades y necesidades de entrenamiento; en la rehabilitación contribuye al seguimiento de la recuperación; y en la promoción de la salud permite identificar factores asociados con la pérdida de funcionalidad y la disminución de la autonomía.

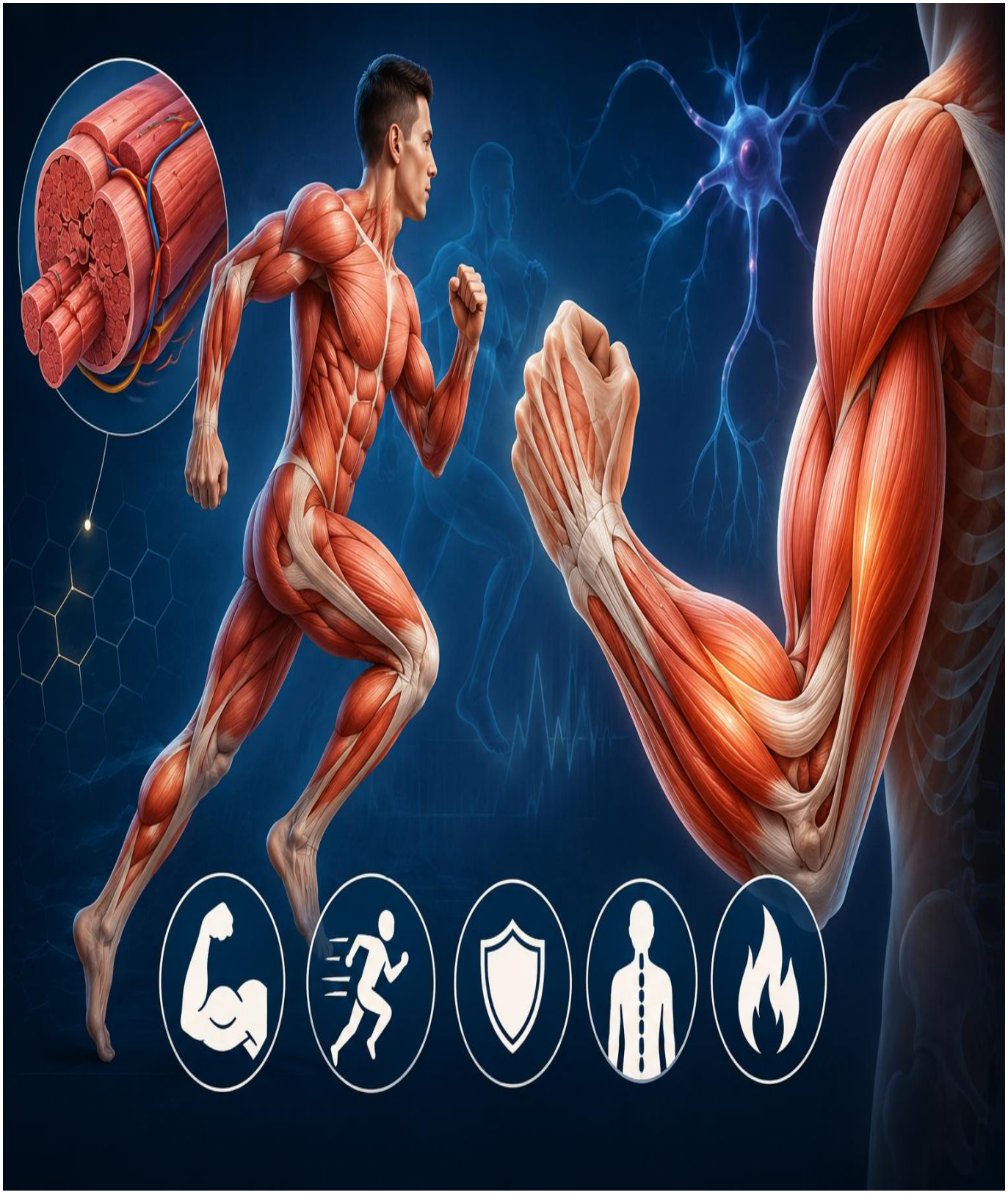
Asimismo, la valoración funcional debe considerar las particularidades de cada población. La edad, el sexo, el nivel de actividad física, la experiencia de entrenamiento, las condiciones de salud y las demandas específicas de la actividad pueden modificar los resultados. En consecuencia, los datos obtenidos deben interpretarse dentro de un contexto individual y no como valores absolutos aislados.

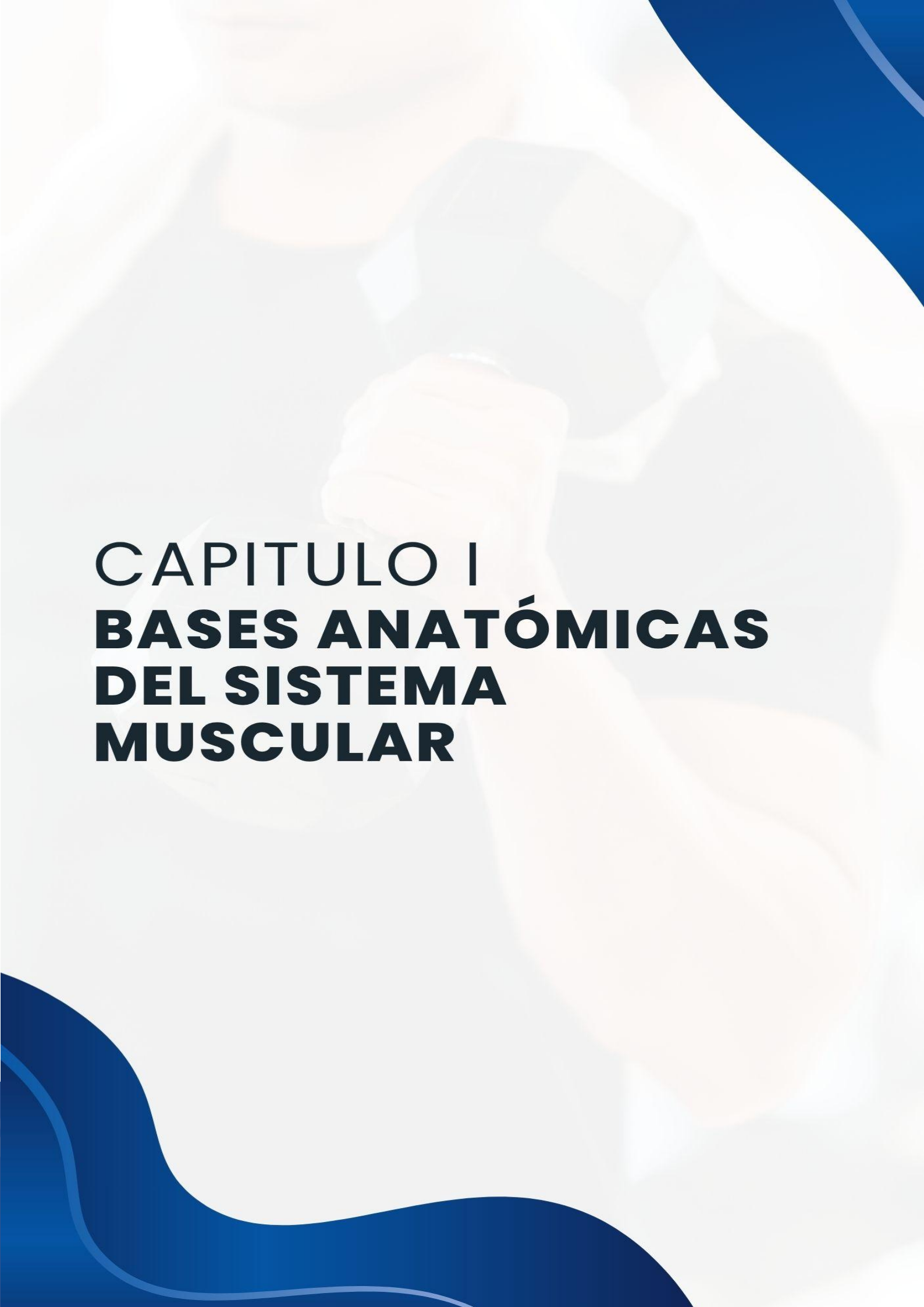
En este marco, el propósito fundamental de la obra es aportar conocimientos y herramientas que permitan al futuro licenciado en Educación Física desarrollar competencias para observar, medir, analizar e interpretar la función muscular. El objetivo no es convertir la evaluación en una simple aplicación mecánica de pruebas, sino promover una práctica reflexiva en la que cada procedimiento responda a una pregunta concreta y contribuya a la toma de decisiones fundamentadas.

La valoración de la función muscular adquiere así una dimensión preventiva, educativa y funcional. Identificar oportunamente déficits de fuerza, resistencia, movilidad, equilibrio o control motor puede contribuir a orientar estrategias de ejercicio, prevenir lesiones y favorecer un desempeño físico más seguro y eficiente. De igual manera, el seguimiento periódico permite determinar si las intervenciones producen los cambios esperados y facilita la modificación de los programas cuando sea necesario.

Finalmente, esta obra pretende fortalecer una concepción de la Educación Física basada en la evidencia científica y en la comprensión integral del ser humano. La valoración muscular debe entenderse como un proceso continuo que articula conocimiento anatómico, fisiológico, biomecánico, metodológico y tecnológico. Desde esta perspectiva, evaluar no significa únicamente medir; significa comprender los resultados, relacionarlos con las características de la persona y utilizar esa información para promover mejores condiciones de movimiento, salud, rendimiento y calidad de vida.

ISBN
978-9942-595-19-5





CAPITULO I
BASES ANATÓMICAS DEL SISTEMA MUSCULAR

El sistema muscular constituye uno de los componentes más importantes del organismo humano debido a su participación directa en el movimiento, la estabilidad postural, la locomoción, la producción de calor y el mantenimiento de múltiples funciones fisiológicas esenciales. Desde una perspectiva anatómica y funcional, el sistema muscular se integra estrechamente con los sistemas óseo, nervioso y cardiovascular para garantizar la ejecución eficiente de las actividades cotidianas y deportivas. La comprensión de las bases anatómicas del sistema muscular resulta fundamental para estudiantes y profesionales de la educación física, las ciencias del deporte, la fisioterapia y las ciencias de la salud, ya que permite interpretar los mecanismos estructurales que sustentan la generación de fuerza y movimiento. El presente trabajo desarrolla una revisión académica de las principales bases anatómicas del sistema muscular, describiendo su organización macroscópica y microscópica, su clasificación, sus estructuras asociadas y su importancia funcional en el cuerpo humano.

El sistema muscular humano está constituido por un conjunto altamente especializado de tejidos cuya principal característica es la capacidad de contraerse para generar movimiento. Esta propiedad permite que el organismo pueda desplazarse, mantener posturas corporales, estabilizar articulaciones y realizar actividades tan complejas como correr, saltar, lanzar o manipular objetos. Los músculos representan aproximadamente entre el 40 % y el 50 % del peso corporal total en individuos adultos sanos, convirtiéndose en uno de los sistemas más voluminosos del organismo humano (Moore et al., 2023). Desde el punto de vista anatómico, el sistema muscular no puede entenderse de manera aislada, ya que mantiene una estrecha interacción con los huesos, ligamentos, tendones y estructuras nerviosas que participan conjuntamente en la producción del movimiento humano. Su estudio constituye una base indispensable para comprender la biomecánica, la fisiología del ejercicio y los procesos de adaptación derivados del entrenamiento físico.

Anatómicamente, el tejido muscular se clasifica en tres grandes categorías: músculo esquelético, músculo cardíaco y músculo liso. Aunque todos comparten la capacidad de contraerse, presentan diferencias estructurales, funcionales y embriológicas significativas. El músculo esquelético está asociado al sistema locomotor y se encuentra bajo control voluntario del sistema nervioso somático.

El músculo cardíaco forma la mayor parte del corazón y posee características intermedias entre el músculo esquelético y el músculo liso, mientras que el músculo liso constituye la pared de numerosos órganos internos como el estómago, intestinos, vejiga y vasos sanguíneos, funcionando bajo control involuntario del sistema nervioso autónomo (Tortora & Derrickson, 2021). Esta clasificación permite comprender cómo las características anatómicas de cada tejido están directamente relacionadas con las funciones específicas que desempeñan dentro del organismo.

El músculo esquelético constituye la forma muscular más abundante del cuerpo humano y representa el principal componente del aparato locomotor. Está compuesto por cientos o miles de fibras musculares organizadas en estructuras complejas capaces de generar fuerza mecánica mediante la contracción coordinada. Cada músculo esquelético posee una arquitectura específica determinada por la orientación de sus fibras, la cual influye directamente en la magnitud de la fuerza producida y en la amplitud del movimiento que puede generar. Esta organización anatómica permite que algunos músculos estén especializados en producir movimientos rápidos y amplios, mientras que otros desarrollan funciones relacionadas con la estabilidad postural y la resistencia a la fatiga (Hall, 2021).

Desde una perspectiva macroscópica, cada músculo esquelético se encuentra rodeado por una capa externa de tejido conectivo denominada epimisio. Esta estructura cumple funciones mecánicas esenciales, ya que protege el músculo frente a traumatismos externos, mantiene la integridad estructural de sus componentes internos y facilita la transmisión de la fuerza generada durante la contracción hacia los tendones. El epimisio se continúa con otras estructuras conjuntivas que terminan formando los tendones musculares, permitiendo la unión funcional entre músculo y hueso. Además, esta cubierta externa participa en la distribución de vasos sanguíneos y nervios que ingresan al tejido muscular para garantizar su adecuado funcionamiento metabólico y neurológico (Moore et al., 2023).

Internamente, el músculo está organizado en fascículos musculares rodeados por una segunda capa de tejido conectivo denominada perimisio. Los fascículos

representan agrupaciones de fibras musculares que actúan de manera coordinada durante la producción de movimiento. El perimisio proporciona soporte estructural adicional y constituye una vía de acceso para vasos sanguíneos, capilares y fibras nerviosas que distribuyen nutrientes y estímulos eléctricos a las células musculares. La organización fascicular permite una distribución eficiente de las cargas mecánicas y contribuye a optimizar la capacidad del músculo para producir fuerza de manera uniforme durante la actividad física (Netter, 2023).

Cada fibra muscular individual se encuentra envuelta por una delicada capa de tejido conectivo denominada endomisio. Esta estructura rodea cada célula muscular y alberga una extensa red capilar responsable del intercambio de oxígeno, nutrientes y productos metabólicos. El endomisio desempeña un papel fundamental en la transmisión lateral de fuerzas dentro del músculo y contribuye al mantenimiento del microambiente celular necesario para la actividad contráctil. Su presencia garantiza que cada fibra muscular reciba los recursos energéticos requeridos para sostener tanto actividades de corta duración y alta intensidad como esfuerzos prolongados de resistencia (Guyton & Hall, 2021).

La fibra muscular esquelética constituye la unidad celular básica del sistema muscular. Se trata de una célula altamente especializada que presenta características únicas dentro del organismo humano, incluyendo una longitud considerablemente mayor que la de otras células y la presencia de múltiples núcleos ubicados periféricamente. Estas fibras se originan durante el desarrollo embrionario mediante la fusión de numerosas células precursoras llamadas mioblastos, lo que explica su naturaleza multinucleada. Gracias a esta organización estructural, las fibras musculares poseen una extraordinaria capacidad para sintetizar proteínas contráctiles y adaptarse a las demandas funcionales impuestas por el entrenamiento físico y la actividad motora habitual (Hall, 2021).

El citoplasma de la fibra muscular, denominado sarcoplasma, contiene una gran cantidad de organelos especializados relacionados con la producción de energía y la contracción muscular. Entre ellos destacan las mitocondrias, responsables de la generación de ATP mediante procesos oxidativos, así como depósitos de

glucógeno y mioglobina que contribuyen al suministro energético durante el ejercicio. La abundancia y distribución de estos componentes varía según el tipo de fibra muscular y el nivel de entrenamiento del individuo, reflejando la capacidad adaptativa del tejido muscular frente a diferentes demandas funcionales (Tortora & Derrickson, 2021).

En el interior de cada fibra muscular se encuentran las miofibrillas, estructuras cilíndricas altamente organizadas que ocupan la mayor parte del volumen celular. Estas miofibrillas están compuestas por una sucesión de unidades repetitivas denominadas sarcómeros, consideradas la unidad anatómica y funcional básica de la contracción muscular. La disposición longitudinal de miles de sarcómeros permite que la fibra muscular genere fuerza de manera eficiente cuando recibe un estímulo nervioso. Las miofibrillas poseen una organización extremadamente precisa de proteínas contráctiles que facilita el deslizamiento de los filamentos durante la contracción. Esta organización microscópica explica la capacidad de los músculos para desarrollar movimientos coordinados, rápidos y potentes, características esenciales para la locomoción humana y el desempeño deportivo. Además, la estructura de las miofibrillas puede modificarse como respuesta al entrenamiento físico, incrementando su tamaño y número mediante procesos de hipertrofia muscular (Hall, 2021).

El sarcómero constituye la unidad funcional responsable de la generación de fuerza muscular. Está delimitado por dos líneas Z consecutivas y contiene filamentos gruesos formados principalmente por miosina y filamentos delgados compuestos por actina, troponina y tropomiosina. Durante la contracción, los filamentos delgados se deslizan entre los filamentos gruesos sin modificar significativamente su longitud, acortando el sarcómero y produciendo tensión muscular. Este mecanismo, conocido como teoría del filamento deslizante, representa uno de los principios fundamentales de la fisiología muscular moderna. La disposición geométrica de estas proteínas permite una interacción altamente eficiente que convierte la energía química almacenada en ATP en energía mecánica capaz de generar movimiento corporal (Guyton & Hall, 2021).

La organización microscópica de los sarcómeros da origen a las características bandas observadas mediante microscopía óptica y electrónica. Las bandas A

ISBN
978-9942-595-19-5

corresponden a las regiones donde se encuentran los filamentos gruesos de miosina, mientras que las bandas I contienen únicamente filamentos delgados de actina. En el centro del sarcómero se localiza la zona H, una región ocupada exclusivamente por filamentos gruesos, mientras que la línea M contribuye a la alineación de las moléculas de miosina. Estas estructuras no solamente poseen importancia anatómica, sino que permiten comprender los cambios observados durante la contracción muscular, ya que algunas bandas disminuyen su tamaño mientras otras permanecen relativamente constantes. El análisis de estas estructuras ha permitido explicar numerosos procesos relacionados con la función muscular normal y las enfermedades neuromusculares (Tortora & Derrickson, 2021).

El retículo sarcoplásmico es una estructura membranosa especializada que rodea las miofibrillas y desempeña una función esencial en la regulación de la contracción muscular. Su principal función consiste en almacenar, liberar y recaptar calcio, un ion indispensable para el inicio y la finalización del proceso contráctil. Cuando una fibra muscular recibe un impulso nervioso, el retículo sarcoplásmico libera calcio al sarcoplasma, permitiendo la interacción entre actina y miosina. Posteriormente, el calcio es nuevamente almacenado, favoreciendo la relajación muscular. La eficiencia de este sistema resulta fundamental para el adecuado funcionamiento muscular, especialmente durante actividades deportivas que requieren movimientos rápidos y repetitivos (Hall, 2021).

Asociados al retículo sarcoplásmico se encuentran los túbulos transversos o túbulos T, estructuras derivadas de la membrana plasmática que penetran profundamente en el interior de la fibra muscular. Estos túbulos permiten que el potencial de acción se propague rápidamente hacia todas las regiones celulares, garantizando que la contracción ocurra de manera uniforme y sincronizada. Gracias a esta organización anatómica, las fibras musculares pueden responder con gran rapidez a los estímulos nerviosos, característica particularmente importante en actividades que requieren fuerza explosiva, velocidad o precisión motora. La estrecha relación anatómica entre los túbulos T y el retículo sarcoplásmico constituye un elemento clave para la eficiencia del sistema contráctil (Guyton & Hall, 2021).

Desde una perspectiva funcional, los músculos esqueléticos pueden clasificarse según la disposición de sus fibras musculares. Existen músculos paralelos, fusiformes, triangulares, circulares y penniformes, entre otros. La arquitectura muscular determina en gran medida la capacidad de producir fuerza o amplitud de movimiento. Los músculos fusiformes, como el bíceps braquial, favorecen movimientos amplios y veloces, mientras que los músculos penniformes, como el recto femoral, presentan una mayor capacidad para generar fuerza debido a la disposición oblicua de sus fibras. Esta relación entre estructura y función constituye un principio fundamental en anatomía funcional y biomecánica (Moore et al., 2023).

Los puntos de fijación muscular reciben los nombres de origen e inserción. Tradicionalmente, el origen corresponde al punto más proximal o relativamente fijo durante el movimiento, mientras que la inserción suele localizarse en el segmento óseo que experimenta mayor desplazamiento. Sin embargo, esta definición puede variar dependiendo del movimiento realizado. El conocimiento detallado de los orígenes e inserciones musculares permite comprender la acción mecánica de cada músculo y constituye una herramienta indispensable para la evaluación funcional, la prescripción de ejercicio físico y el análisis biomecánico del movimiento humano (Netter, 2023).

Los tendones son estructuras anatómicas especializadas formadas principalmente por tejido conectivo denso regular rico en fibras de colágeno tipo I. Su función principal consiste en transmitir las fuerzas generadas por los músculos hacia los huesos, permitiendo la producción del movimiento. Los tendones poseen una elevada resistencia mecánica y una notable capacidad para soportar cargas tensionales repetidas. Aunque presentan menor vascularización que el tejido muscular, poseen propiedades adaptativas que les permiten responder a los estímulos mecánicos derivados del entrenamiento físico. Estas adaptaciones incluyen modificaciones en el grosor, la rigidez y la organización de las fibras colágenas (Moore et al., 2023).

La irrigación sanguínea muscular constituye un componente esencial para el mantenimiento de la actividad metabólica. Los músculos reciben abundante flujo sanguíneo a través de arterias que se ramifican progresivamente hasta formar

extensas redes capilares alrededor de cada fibra muscular. Esta vascularización permite el suministro continuo de oxígeno, glucosa, aminoácidos y otras sustancias necesarias para la producción energética. Durante el ejercicio físico, el flujo sanguíneo muscular puede aumentar considerablemente para satisfacer las mayores demandas metabólicas impuestas por la actividad contráctil. La adecuada perfusión muscular resulta indispensable para el rendimiento físico y la recuperación posterior al ejercicio (Hall, 2021).

La inervación muscular depende fundamentalmente del sistema nervioso somático. Cada fibra muscular recibe estímulos procedentes de motoneuronas localizadas en la médula espinal o en núcleos motores del tronco encefálico. La conexión funcional entre la neurona motora y la fibra muscular recibe el nombre de unión neuromuscular o placa motora. En esta estructura especializada se libera acetilcolina, neurotransmisor responsable de iniciar la despolarización de la membrana muscular y desencadenar el proceso de contracción. La integridad anatómica y funcional de esta unión es indispensable para la adecuada ejecución del movimiento voluntario (Guyton & Hall, 2021).

Una unidad motora está formada por una motoneurona y todas las fibras musculares que inerva. El tamaño de las unidades motoras varía considerablemente según la función del músculo. Los músculos responsables de movimientos finos y precisos, como los extraoculares, poseen unidades motoras pequeñas, mientras que los músculos involucrados en movimientos potentes presentan unidades motoras de mayor tamaño. Esta organización anatómica permite una regulación precisa de la fuerza muscular mediante el reclutamiento progresivo de unidades motoras según las demandas funcionales del organismo (Tortora & Derrickson, 2021).

Los músculos esqueléticos también pueden clasificarse según las características fisiológicas de sus fibras. Las fibras tipo I o fibras lentas presentan abundantes mitocondrias, elevada densidad capilar y gran capacidad oxidativa, siendo especialmente resistentes a la fatiga. Por el contrario, las fibras tipo II poseen mayor capacidad glucolítica y generan mayores niveles de fuerza y velocidad, aunque se fatigan con mayor rapidez. La distribución de estos tipos de fibras

depende tanto de factores genéticos como de las adaptaciones inducidas por el entrenamiento físico (Kenney et al., 2022).

El sistema muscular mantiene una estrecha relación anatómica con el sistema esquelético, formando conjuntamente el aparato locomotor. Los músculos actúan sobre los huesos mediante sistemas de palancas que permiten amplificar o modificar la fuerza aplicada. Esta interacción posibilita la realización de movimientos complejos y eficientes desde el punto de vista biomecánico. La correcta comprensión de estas relaciones anatómicas resulta esencial para el análisis del movimiento humano, la prevención de lesiones y la optimización del rendimiento deportivo (Neumann, 2021).

Además de generar movimiento, los músculos desempeñan una función fundamental en el mantenimiento de la postura corporal. La actividad continua de los músculos posturales permite conservar el equilibrio y la alineación de los segmentos corporales frente a la acción constante de la gravedad. Esta función depende de complejos mecanismos neuromusculares que regulan el tono muscular y ajustan permanentemente la actividad de diferentes grupos musculares. Alteraciones en estos mecanismos pueden producir desequilibrios posturales, dolor musculoesquelético y disminución de la eficiencia funcional (Neumann, 2021).

Otra función relevante del sistema muscular es la producción de calor corporal. Aproximadamente el 70 % de la energía liberada durante la contracción muscular se transforma en calor, contribuyendo significativamente al mantenimiento de la temperatura corporal. Durante la actividad física intensa, este mecanismo adquiere especial importancia para la regulación térmica del organismo. La producción de calor derivada de la actividad muscular constituye un componente esencial de la homeostasis y explica fenómenos fisiológicos como el temblor muscular durante la exposición al frío (Hall, 2021).

Las adaptaciones estructurales del sistema muscular frente al entrenamiento físico representan uno de los fenómenos más estudiados en las ciencias del deporte. El entrenamiento de fuerza promueve incrementos en el tamaño de las fibras musculares, el contenido de proteínas contráctiles y la capacidad de producción de fuerza. Por su parte, el entrenamiento aeróbico favorece

aumentos en la densidad capilar, el número de mitocondrias y la eficiencia metabólica. Estas adaptaciones evidencian la extraordinaria plasticidad biológica del tejido muscular y su capacidad para responder a diferentes estímulos funcionales (Kenney et al., 2022).

En conclusión, las bases anatómicas del sistema muscular constituyen el fundamento estructural que permite comprender la generación de movimiento, la estabilidad postural, el rendimiento físico y la adaptación al ejercicio. La organización jerárquica que va desde el músculo completo hasta las proteínas contráctiles refleja un elevado nivel de especialización biológica orientado a la producción eficiente de fuerza. El conocimiento detallado de estas estructuras resulta indispensable para la formación de profesionales de la educación física, la fisioterapia, la medicina y las ciencias del deporte, ya que proporciona las herramientas conceptuales necesarias para interpretar los procesos funcionales, prevenir lesiones y diseñar estrategias efectivas de intervención relacionadas con la actividad física y la salud.



CAPITULO II
FISIOLOGÍA DE LA CONTRACCIÓN MUSCULAR

ISBN
978-9942-595-19-5

La contracción muscular constituye uno de los procesos fisiológicos más importantes para la supervivencia de los organismos, ya que permite la generación de movimiento, el mantenimiento de la postura, la respiración, la circulación sanguínea y numerosas funciones viscerales indispensables para la homeostasis. Desde una perspectiva biológica, este fenómeno representa la conversión de energía química en energía mecánica mediante la interacción altamente regulada entre proteínas contráctiles presentes en las fibras musculares. La comprensión de los mecanismos que regulan la contracción muscular resulta fundamental para disciplinas como la medicina, la fisioterapia, la educación física, la rehabilitación y las ciencias del deporte, debido a que múltiples enfermedades neuromusculares y metabólicas alteran este proceso. Los avances en biología molecular, fisiología celular y bioquímica han permitido explicar con mayor precisión los mecanismos que participan en la generación de fuerza muscular y su regulación por el sistema nervioso (Hall & Hall, 2021).

El tejido muscular representa aproximadamente entre el 35 % y el 45 % del peso corporal de un adulto sano y está especializado en producir fuerza mediante el acortamiento coordinado de millones de fibras musculares. Histológicamente se distinguen tres tipos de tejido muscular: esquelético, cardíaco y liso, cada uno con características estructurales y funcionales específicas. El músculo esquelético es responsable de los movimientos voluntarios y posee una organización altamente especializada en sarcómeros; el músculo cardíaco mantiene la actividad continua del corazón mediante mecanismos de automatismo y sincronización eléctrica; mientras que el músculo liso regula funciones involuntarias de órganos internos y vasos sanguíneos. Aunque existen diferencias importantes entre estos tejidos, todos comparten mecanismos moleculares basados en la interacción entre filamentos de actina y miosina, regulados por el calcio intracelular y el consumo de ATP (Boron & Boulpaep, 2022).

La unidad funcional del músculo esquelético es la fibra muscular, una célula multinucleada de gran longitud que se origina por la fusión de múltiples mioblastos durante el desarrollo embrionario. Cada fibra contiene numerosas miofibrillas organizadas longitudinalmente, compuestas por la repetición de unidades denominadas sarcómeros, considerados las estructuras básicas

responsables de la contracción. En el interior del sarcómero se distribuyen ordenadamente los filamentos gruesos de miosina y los filamentos delgados de actina, asociados con proteínas reguladoras como la troponina y la tropomiosina. Esta disposición altamente organizada explica el aspecto estriado del músculo esquelético observado mediante microscopía óptica y electrónica, además de permitir una transmisión eficiente de la fuerza generada durante el proceso contráctil (Hall & Hall, 2021).

El inicio de la contracción muscular depende de una comunicación altamente especializada entre el sistema nervioso y el músculo denominada unión neuromuscular. En este sitio de contacto funcional, una neurona motora transmite un potencial de acción hasta la terminal presináptica, donde la llegada del impulso eléctrico induce la apertura de canales de calcio dependientes de voltaje. El incremento de calcio intracelular favorece la exocitosis de vesículas sinápticas que contienen acetilcolina, neurotransmisor que difunde rápidamente hacia la membrana postsináptica y se une a receptores nicotínicos localizados en la placa motora. Como consecuencia, se produce la despolarización de la membrana muscular, generándose un potencial de acción que se propaga a lo largo del sarcolema e inicia la secuencia de eventos responsables de la contracción (Purves et al., 2018).

Una vez generado el potencial de acción, este se propaga rápidamente hacia el interior de la fibra muscular mediante los túbulos transversos o túbulos T, estructuras que permiten llevar el estímulo eléctrico hasta las regiones más profundas de la célula. Esta propagación activa los receptores sensibles al voltaje localizados en la membrana de los túbulos T, los cuales interactúan mecánicamente con los receptores de rianodina presentes en el retículo sarcoplásmico. Como resultado, grandes cantidades de calcio almacenado son liberadas hacia el citoplasma, elevando de manera transitoria su concentración intracelular. Este incremento constituye el principal desencadenante molecular de la contracción muscular, ya que permite la activación de las proteínas reguladoras del sarcómero e inicia la interacción entre actina y miosina (Boron & Boulpaep, 2022).

El calcio liberado desde el retículo sarcoplásmico se une específicamente a la subunidad C de la troponina, provocando un cambio conformacional que desplaza la tropomiosina de los sitios activos de la actina. Este desplazamiento expone las regiones donde las cabezas de miosina pueden unirse para formar los denominados puentes cruzados. La hidrólisis previa del ATP proporciona la energía necesaria para que la cabeza de miosina adopte una posición de alta energía, permitiendo su interacción con la actina y el posterior golpe de fuerza que ocasiona el deslizamiento de los filamentos delgados sobre los gruesos. Este mecanismo, conocido como teoría del filamento deslizante, constituye el fundamento molecular de la contracción muscular y explica cómo el sarcómero disminuye su longitud sin modificar el tamaño individual de los filamentos proteicos (Hall & Hall, 2021; Kandel et al., 2021).

La teoría del filamento deslizante, propuesta inicialmente por Huxley y Hanson en la década de 1950 y ampliamente confirmada por investigaciones posteriores, explica que durante la contracción muscular los filamentos de actina y miosina no modifican su longitud; en cambio, se deslizan unos sobre otros, provocando el acortamiento progresivo del sarcómero. Este proceso se evidencia mediante cambios estructurales característicos: las bandas I y la zona H disminuyen de tamaño, mientras que la banda A permanece prácticamente constante debido a que corresponde a la longitud de los filamentos gruesos de miosina. La organización geométrica del sarcómero permite que millones de puentes cruzados actúen simultáneamente, generando una fuerza considerable que posteriormente se transmite a los tendones y al sistema esquelético para producir movimiento. Este modelo continúa siendo el fundamento fisiológico para comprender la función mecánica del músculo estriado y su eficiencia durante la producción de fuerza (Hall & Hall, 2021).

El ciclo de los puentes cruzados constituye el mecanismo molecular mediante el cual la energía química almacenada en el ATP se transforma en trabajo mecánico. Inicialmente, la cabeza de miosina se encuentra cargada con energía tras la hidrólisis de una molécula de ATP en ADP y fosfato inorgánico. Cuando el calcio ha expuesto los sitios de unión sobre la actina, la cabeza de miosina establece un enlace estable con el filamento delgado. Posteriormente, la liberación del fosfato y del ADP desencadena el denominado golpe de fuerza,

durante el cual la cabeza de miosina cambia su orientación y desplaza el filamento de actina hacia el centro del sarcómero. Finalmente, la unión de una nueva molécula de ATP provoca la separación de la miosina de la actina, permitiendo que el ciclo pueda repetirse mientras existan concentraciones suficientes de calcio y ATP. Este mecanismo ocurre de manera extremadamente rápida y sincronizada, alcanzando cientos de ciclos por segundo en determinadas fibras musculares (Boron & Boulpaep, 2022).

El ATP desempeña múltiples funciones esenciales durante la contracción muscular, por lo que su disponibilidad resulta indispensable para el funcionamiento normal del tejido muscular. En primer lugar, proporciona la energía necesaria para la hidrólisis realizada por la ATPasa de la miosina, permitiendo que la cabeza de esta proteína adopte una conformación de alta energía antes de interactuar con la actina. En segundo lugar, la unión de una nueva molécula de ATP es indispensable para romper el puente cruzado formado entre ambas proteínas; sin ATP, la miosina permanece unida a la actina, fenómeno que explica la rigidez muscular observada durante el rigor mortis tras la muerte. Además, el ATP alimenta las bombas de calcio del retículo sarcoplásmico (SERCA), responsables de retirar el calcio del citoplasma durante la relajación muscular. En consecuencia, el ATP no solo participa en la generación de fuerza, sino también en la finalización del proceso contráctil y en la preparación del músculo para una nueva contracción (Hall & Hall, 2021; Ganong, 2019).

La relajación muscular representa un proceso fisiológico tan complejo y regulado como la propia contracción. Una vez que cesa la estimulación nerviosa, la acetilcolina liberada en la unión neuromuscular es rápidamente degradada por la enzima acetilcolinesterasa presente en la hendidura sináptica, evitando que continúe la despolarización de la membrana muscular. Simultáneamente, las bombas SERCA transportan activamente el calcio desde el citoplasma hacia el interior del retículo sarcoplásmico utilizando energía derivada de la hidrólisis del ATP. La disminución de la concentración intracelular de calcio provoca que este se disocie de la troponina C, permitiendo que la tropomiosina vuelva a cubrir los sitios activos de la actina. Como consecuencia, cesa la formación de nuevos puentes cruzados y el músculo recupera progresivamente su longitud inicial

gracias a la elasticidad de sus componentes estructurales y a la acción de músculos antagonistas (Boron & Boulpaep, 2022).

El proceso de acoplamiento excitación-contracción integra los fenómenos eléctricos, químicos y mecánicos que convierten un potencial de acción en una respuesta contráctil. Este mecanismo depende de la estrecha relación anatómica entre los túbulos T y las cisternas terminales del retículo sarcoplásmico, formando estructuras conocidas como tríadas en el músculo esquelético. La despolarización del sarcolema activa los receptores de dihidropiridina localizados en los túbulos T, los cuales actúan como sensores de voltaje y desencadenan la apertura de los receptores de rianodina presentes en el retículo sarcoplásmico. La liberación masiva de calcio permite el inicio inmediato de la contracción, mientras que la recaptación activa del ion restablece las condiciones necesarias para la relajación. La eficiencia de este sistema garantiza que la respuesta muscular ocurra en fracciones de segundo, permitiendo movimientos rápidos, coordinados y precisos durante las actividades cotidianas y deportivas (Purves et al., 2018).

La regulación de la concentración intracelular de calcio constituye uno de los aspectos más importantes de la fisiología muscular. En condiciones normales, el calcio citoplasmático permanece en concentraciones muy bajas cuando el músculo se encuentra en reposo, mientras que el retículo sarcoplásmico actúa como un reservorio especializado para este ion. Diversas proteínas reguladoras, entre ellas la calsecuestrina, facilitan el almacenamiento de grandes cantidades de calcio sin alterar el equilibrio osmótico intracelular. Durante la estimulación muscular, el calcio es liberado de manera rápida y controlada, mientras que su recaptación eficiente permite finalizar la contracción y preparar nuevamente la fibra para responder a futuros estímulos. Alteraciones en cualquiera de estos mecanismos pueden producir debilidad muscular, contracturas, espasmos o enfermedades hereditarias relacionadas con defectos en los canales de calcio y en las proteínas reguladoras del retículo sarcoplásmico, lo que demuestra la relevancia fisiológica de este sistema en la función muscular normal (Hall & Hall, 2021; Kandel et al., 2021).

La capacidad del músculo esquelético para generar fuerza y adaptarse a diferentes demandas funcionales depende, en gran medida, de la diversidad de fibras musculares que lo componen. Desde el punto de vista fisiológico, las fibras musculares se clasifican en fibras de contracción lenta (tipo I) y fibras de contracción rápida (tipo II), estas últimas subdivididas en los subtipos IIa y IIx. Las fibras tipo I presentan una elevada densidad mitocondrial, abundante contenido de mioglobina y una extensa red capilar, características que favorecen el metabolismo aeróbico y una gran resistencia a la fatiga. Por el contrario, las fibras tipo II poseen mayor diámetro, desarrollan fuerza en menor tiempo y dependen en mayor proporción de las vías glucolíticas para la obtención de energía. Las fibras IIa representan un fenotipo intermedio, ya que combinan una importante capacidad oxidativa con un elevado potencial glucolítico. La distribución de estos tipos de fibras varía entre los individuos y puede modificarse parcialmente mediante el entrenamiento físico, la edad y determinadas condiciones fisiológicas y patológicas (Hall & Hall, 2021; Boron & Boulpaep, 2022).

La producción continua de ATP constituye un requisito indispensable para mantener la actividad contráctil del músculo. Debido a que las reservas intracelulares de ATP son limitadas y solo permiten sostener la contracción durante unos pocos segundos, el organismo dispone de diversos sistemas metabólicos destinados a regenerar esta molécula de manera constante. El primero corresponde al sistema de los fosfágenos, en el cual la fosfocreatina transfiere rápidamente un grupo fosfato al ADP mediante la acción de la enzima creatina quinasa, restaurando el ATP casi de forma inmediata. Cuando el ejercicio se prolonga, la glucólisis anaerobia adquiere un papel predominante, generando ATP a partir de la degradación de la glucosa con producción concomitante de lactato. Finalmente, durante actividades de larga duración y menor intensidad, el metabolismo aeróbico basado en la fosforilación oxidativa mitocondrial se convierte en la principal fuente energética, utilizando carbohidratos, lípidos y, en menor proporción, aminoácidos como sustratos metabólicos (Ganong, 2019).

El metabolismo oxidativo representa la vía más eficiente para la obtención de energía durante la contracción muscular sostenida. En presencia de oxígeno, el

ISBN
978-9942-595-19-5

piruvato generado por la glucólisis ingresa a la mitocondria y participa en el ciclo del ácido cítrico, donde produce equivalentes reductores que alimentan la cadena de transporte de electrones. Como resultado, se sintetizan grandes cantidades de ATP mediante la fosforilación oxidativa, proceso considerablemente más eficiente que la glucólisis anaerobia. Además, los ácidos grasos constituyen un importante combustible durante ejercicios prolongados, ya que su oxidación proporciona una elevada producción energética. Esta flexibilidad metabólica permite al músculo adaptarse a distintas intensidades y duraciones del esfuerzo físico, optimizando el rendimiento y preservando las reservas de glucógeno. La regulación integrada de estas rutas depende de factores como la disponibilidad de oxígeno, el estado nutricional, la actividad hormonal y el nivel de entrenamiento del individuo (Hall & Hall, 2021; Boron & Boulpaep, 2022).

La fatiga muscular es un fenómeno fisiológico complejo que se manifiesta como una disminución progresiva de la capacidad para generar fuerza o mantener un determinado nivel de rendimiento durante una actividad física prolongada o intensa. Su origen es multifactorial e involucra mecanismos tanto periféricos como centrales. Entre los factores periféricos destacan la disminución de las reservas energéticas, la acumulación de metabolitos como fosfato inorgánico e iones hidrógeno, las alteraciones en la liberación y recaptación de calcio por el retículo sarcoplásmico y la reducción de la sensibilidad de las proteínas contráctiles al calcio. Por otra parte, la fatiga central está relacionada con modificaciones en la actividad del sistema nervioso central, que reducen el reclutamiento voluntario de las unidades motoras. En conjunto, estos mecanismos representan una respuesta protectora destinada a evitar el daño estructural del tejido muscular y preservar la integridad funcional del organismo durante el ejercicio intenso (Enoka & Duchateau, 2016).

La unidad motora constituye la unidad funcional básica del control neuromuscular y está integrada por una neurona motora alfa y todas las fibras musculares que esta inerva. La producción de fuerza depende del reclutamiento progresivo de unidades motoras siguiendo el principio del tamaño descrito por Henneman, según el cual las unidades motoras pequeñas, asociadas principalmente con fibras tipo I, se activan primero debido a su menor umbral de

excitación. A medida que aumenta la demanda de fuerza, se incorporan unidades motoras de mayor tamaño que contienen fibras rápidas tipo II, capaces de generar contracciones más potentes. Este mecanismo permite optimizar el gasto energético, mejorar la precisión de los movimientos finos y garantizar una respuesta adecuada ante diferentes niveles de esfuerzo físico. Asimismo, la frecuencia de descarga de las motoneuronas influye directamente en la intensidad de la contracción, pudiendo producir fenómenos de sumación temporal y tétanos fisiológico cuando los estímulos ocurren con suficiente rapidez (Purves et al., 2018).

La regulación neuromuscular de la contracción involucra una compleja interacción entre el sistema nervioso central, el sistema nervioso periférico y diversos receptores sensoriales presentes en músculos y tendones. Los husos musculares detectan cambios en la longitud del músculo y participan en los reflejos miotáticos, contribuyendo al mantenimiento del tono muscular y de la postura corporal. Por su parte, los órganos tendinosos de Golgi responden al incremento de la tensión generada durante la contracción y activan mecanismos inhibitorios que previenen lesiones ocasionadas por una fuerza excesiva. Además, estructuras superiores como la corteza motora, el cerebelo y los ganglios basales coordinan la planificación, ejecución y corrección de los movimientos voluntarios, garantizando precisión, equilibrio y adaptación a las condiciones cambiantes del entorno. Esta integración entre mecanismos periféricos y centrales permite que la contracción muscular sea un proceso altamente eficiente y dinámico, esencial para las actividades de la vida diaria y el desempeño físico (Kandel et al., 2021; Hall & Hall, 2021).

Aunque los principios básicos de la contracción muscular son comunes a todos los tipos de tejido muscular, el músculo cardíaco presenta características fisiológicas particulares que garantizan el funcionamiento continuo del corazón. Los cardiomiocitos poseen una organización sarcomérica similar a la del músculo esquelético; sin embargo, están conectados entre sí mediante discos intercalares que contienen desmosomas y uniones comunicantes (gap junctions), permitiendo la propagación rápida del impulso eléctrico y la sincronización de la contracción. A diferencia del músculo esquelético, cuya activación depende exclusivamente de la estimulación nerviosa, el músculo

ISBN
978-9942-595-19-5

cardíaco posee automatismo, ya que las células marcapasos del nodo sinoauricular generan espontáneamente potenciales de acción. Durante el acoplamiento excitación-contracción cardíaco, la entrada inicial de calcio desde el espacio extracelular desencadena la liberación adicional de este ion desde el retículo sarcoplásmico mediante el mecanismo conocido como liberación de calcio inducida por calcio. Este proceso asegura una contracción rítmica, coordinada y eficiente que mantiene el gasto cardíaco necesario para la perfusión de los tejidos (Hall & Hall, 2021; Boron & Boulpaep, 2022).

El músculo liso presenta diferencias estructurales y funcionales importantes respecto al músculo estriado. Sus células son fusiformes, poseen un único núcleo central y carecen de sarcómeros organizados, aunque contienen filamentos de actina y miosina distribuidos en una red tridimensional que les permite desarrollar contracciones sostenidas. En este tejido, el calcio no actúa a través del complejo troponina-tropomiosina, sino que se une a la proteína calmodulina. El complejo calcio-calmodulina activa la enzima cinasa de la cadena ligera de miosina (MLCK), la cual fosforila la miosina y permite su interacción con la actina. Gracias a este mecanismo, el músculo liso puede mantener contracciones prolongadas con un consumo energético relativamente bajo, fenómeno conocido como estado latch. Esta característica resulta esencial para funciones como el mantenimiento del tono vascular, el peristaltismo intestinal, la regulación del diámetro bronquial y el control del flujo urinario y uterino (Ganong, 2019).

La actividad contráctil del músculo está regulada por diversos factores hormonales que modulan tanto la disponibilidad de energía como la sensibilidad de las fibras musculares al estímulo nervioso. Las hormonas tiroideas incrementan la síntesis de proteínas contráctiles, favorecen el metabolismo oxidativo y aumentan la velocidad de contracción y relajación muscular. Por su parte, la insulina facilita la captación de glucosa y aminoácidos por las fibras musculares, promoviendo la síntesis de glucógeno y proteínas necesarias para el mantenimiento de la masa muscular. Las catecolaminas, como la adrenalina y la noradrenalina, incrementan la disponibilidad de glucosa y ácidos grasos durante el ejercicio, además de potenciar la contractilidad cardíaca y mejorar el suministro de oxígeno a los tejidos. Asimismo, hormonas anabólicas como la

testosterona y la hormona del crecimiento estimulan la síntesis proteica y favorecen la hipertrofia muscular, especialmente cuando se combinan con entrenamiento de fuerza y una adecuada disponibilidad nutricional (Hall & Hall, 2021).

El entrenamiento físico induce múltiples adaptaciones estructurales y funcionales que optimizan la eficiencia de la contracción muscular. El entrenamiento de resistencia promueve un incremento del número y tamaño de las mitocondrias, aumenta la densidad capilar, mejora la capacidad oxidativa y favorece la utilización de ácidos grasos como fuente energética, incrementando así la resistencia a la fatiga. En contraste, el entrenamiento de fuerza estimula principalmente la hipertrofia de las fibras musculares mediante un aumento de la síntesis de proteínas miofibrilares, lo que incrementa el diámetro de las fibras y la capacidad de generar fuerza. Estas adaptaciones están reguladas por complejas vías de señalización celular, entre las que destacan la vía de mTOR, relacionada con el crecimiento muscular, y la activación del coactivador PGC-1α, implicado en la biogénesis mitocondrial. La plasticidad del tejido muscular demuestra su extraordinaria capacidad para responder a estímulos mecánicos y metabólicos de manera específica y eficiente (Boron & Boulpaep, 2022; Hall & Hall, 2021).

El envejecimiento produce modificaciones progresivas en la estructura y función del sistema muscular que afectan la capacidad contráctil y el rendimiento físico. La sarcopenia, definida como la pérdida gradual de masa, fuerza y función muscular asociada con la edad, constituye una de las principales causas de discapacidad en adultos mayores. Entre los mecanismos involucrados se encuentran la reducción del número de fibras musculares, especialmente de tipo II, la disminución de la síntesis proteica, las alteraciones en la función mitocondrial, el incremento del estrés oxidativo y la reducción del número de unidades motoras funcionales. Además, se producen cambios hormonales y un estado inflamatorio crónico de baja intensidad que favorecen el deterioro del tejido muscular. La práctica regular de ejercicio físico, especialmente el entrenamiento de fuerza, junto con una adecuada ingesta de proteínas y vitamina D, ha demostrado ser una estrategia eficaz para retrasar la progresión de la

sarcopenia y preservar la independencia funcional de las personas mayores (Cruz-Jentoft et al., 2019).

Diversas enfermedades pueden alterar los mecanismos fisiológicos responsables de la contracción muscular y comprometer significativamente la calidad de vida de los pacientes. Entre ellas destacan la miastenia gravis, trastorno autoinmunitario caracterizado por la destrucción de los receptores nicotínicos de acetilcolina en la unión neuromuscular, lo que ocasiona debilidad muscular fluctuante; las distrofias musculares, originadas por alteraciones genéticas que afectan proteínas estructurales como la distrofina; y las miopatías metabólicas, en las que existen defectos en las rutas de producción de energía necesarias para la contracción. Asimismo, enfermedades cardiovasculares, endocrinas y neurológicas pueden modificar el acoplamiento excitación-contracción o la disponibilidad de ATP, reduciendo la eficiencia mecánica del músculo. El conocimiento detallado de la fisiología de la contracción muscular ha permitido desarrollar estrategias diagnósticas y terapéuticas más precisas, orientadas a mejorar la función muscular, retrasar la progresión de estas patologías y optimizar la calidad de vida de los pacientes mediante un abordaje multidisciplinario (Hall & Hall, 2021; Purves et al., 2018).

La contracción muscular constituye un ejemplo de integración fisiológica entre múltiples sistemas del organismo. La función coordinada del sistema nervioso, el sistema cardiovascular, el sistema endocrino y el metabolismo celular permite que las fibras musculares respondan de manera eficiente a las demandas funcionales del cuerpo. El sistema nervioso inicia y regula la activación de las unidades motoras; el sistema cardiovascular garantiza el aporte continuo de oxígeno y nutrientes, así como la eliminación de productos metabólicos; mientras que el sistema endocrino modula el crecimiento, la reparación y la disponibilidad de sustratos energéticos mediante la acción de diversas hormonas. Esta interacción demuestra que la contracción muscular no depende exclusivamente de los mecanismos intracelulares del sarcómero, sino de una compleja red de procesos fisiológicos interdependientes que mantienen la homeostasis y permiten la adaptación frente a diferentes condiciones fisiológicas y ambientales (Hall & Hall, 2021; Boron & Boulpaep, 2022).

Los avances recientes en biología molecular, genética y fisiología han ampliado significativamente el conocimiento sobre los mecanismos que regulan la contracción muscular. Actualmente se han identificado numerosas proteínas reguladoras, factores de transcripción y vías de señalización intracelular que participan en la síntesis de proteínas contráctiles, la remodelación del tejido muscular y la respuesta adaptativa al ejercicio. Entre estas destacan las vías mTOR y AMPK, responsables de regular el equilibrio entre los procesos anabólicos y catabólicos según la disponibilidad energética y el tipo de estímulo recibido. Asimismo, el estudio de las células satélite ha demostrado su papel esencial en la regeneración y reparación del músculo esquelético después de lesiones o del ejercicio intenso. Estos descubrimientos han abierto nuevas perspectivas para el desarrollo de terapias dirigidas al tratamiento de enfermedades musculares degenerativas y trastornos metabólicos (Boron & Boulpaep, 2022).

Desde el punto de vista clínico, el conocimiento detallado de la fisiología de la contracción muscular posee una enorme relevancia para la prevención, el diagnóstico y el tratamiento de múltiples enfermedades. En neurología, permite comprender trastornos como la miastenia gravis, la esclerosis lateral amiotrófica y diversas neuropatías periféricas. En cardiología, facilita el entendimiento de las alteraciones del acoplamiento excitación-contracción responsables de diferentes formas de insuficiencia cardíaca y arritmias. En medicina deportiva y rehabilitación, proporciona las bases científicas para diseñar programas de entrenamiento individualizados, prevenir lesiones musculoesqueléticas y optimizar la recuperación funcional después de traumatismos o intervenciones quirúrgicas. Además, la fisiología muscular constituye un fundamento esencial para el desarrollo de nuevas estrategias terapéuticas basadas en ejercicio físico, nutrición especializada y medicina regenerativa (Ganong, 2019; Hall & Hall, 2021).

Las investigaciones actuales continúan explorando nuevas estrategias para mejorar la función muscular y tratar enfermedades asociadas con alteraciones de la contracción. Entre las líneas de investigación más prometedoras se encuentran la terapia génica dirigida a corregir mutaciones responsables de distrofias musculares, el empleo de células madre para favorecer la regeneración

ISBN
978-9942-595-19-5

del tejido lesionado y el desarrollo de fármacos capaces de modular la función de proteínas contráctiles y canales iónicos. Paralelamente, los avances en ingeniería biomédica han impulsado el diseño de biomateriales, prótesis inteligentes y sistemas de estimulación eléctrica funcional destinados a restaurar parcialmente la capacidad motora en pacientes con lesiones neurológicas. Estas innovaciones evidencian que la investigación en fisiología muscular continúa siendo un campo dinámico con importantes implicaciones para la medicina del futuro (Kandel et al., 2021).

La fisiología de la contracción muscular representa uno de los procesos biológicos más complejos y mejor coordinados del organismo humano. La interacción entre los impulsos nerviosos, la liberación controlada de calcio, la acción de las proteínas contráctiles y la disponibilidad continua de ATP permite transformar la energía química en trabajo mecánico de manera eficiente y altamente regulada. Asimismo, la diversidad funcional del músculo esquelético, cardíaco y liso demuestra la capacidad adaptativa del tejido muscular para responder a diferentes necesidades fisiológicas. El estudio de estos mecanismos no solo proporciona una comprensión integral del movimiento humano, sino que también constituye la base para explicar numerosas patologías musculares y desarrollar estrategias terapéuticas orientadas a mejorar la función motora y la calidad de vida de las personas (Hall & Hall, 2021; Boron & Boulpaep, 2022).

En síntesis, la contracción muscular es el resultado de una integración precisa entre procesos eléctricos, químicos, mecánicos y metabólicos que operan de forma simultánea para garantizar el funcionamiento del organismo. Los avances científicos de las últimas décadas han permitido comprender con mayor profundidad la regulación molecular del músculo y sus mecanismos de adaptación frente al ejercicio, el envejecimiento y la enfermedad. Este conocimiento constituye un pilar fundamental para las ciencias de la salud, ya que orienta el desarrollo de intervenciones preventivas, diagnósticas y terapéuticas cada vez más eficaces. En consecuencia, el estudio continuo de la fisiología muscular seguirá desempeñando un papel esencial en la investigación biomédica, la práctica clínica y la promoción de la salud, contribuyendo al diseño de estrategias innovadoras que favorezcan la preservación de la función

muscular y el bienestar de la población (Hall & Hall, 2021; Enoka & Duchateau, 2016).



CAPITULO III
BIOMECÁNICA APLICADA A LA FUNCIÓN MUSCULAR

La biomecánica aplicada a la función muscular constituye una disciplina científica fundamental para comprender los mecanismos que gobiernan el movimiento humano desde una perspectiva mecánica y fisiológica. Su estudio integra conocimientos provenientes de la anatomía, la fisiología, la física, la ingeniería y las ciencias del deporte, permitiendo analizar cómo los músculos generan fuerza, producen movimiento y responden a diferentes demandas funcionales. En las últimas décadas, el desarrollo de tecnologías como la electromiografía, los sistemas tridimensionales de análisis del movimiento y la modelización computacional ha ampliado significativamente el conocimiento sobre el comportamiento mecánico del sistema musculoesquelético. Estas herramientas han permitido optimizar el rendimiento deportivo, mejorar los procesos de rehabilitación y prevenir lesiones mediante intervenciones fundamentadas en evidencia científica. Asimismo, la biomecánica muscular facilita la comprensión de las adaptaciones producidas por el entrenamiento físico, el envejecimiento y diversas patologías musculoesqueléticas, consolidándose como un área indispensable en la investigación biomédica y en la práctica clínica. El presente trabajo revisa los principales fundamentos biomecánicos relacionados con la función muscular, destacando sus aplicaciones en el movimiento humano, la actividad física, la medicina deportiva y la rehabilitación.

La biomecánica es la ciencia que estudia las leyes mecánicas aplicadas a los organismos vivos, analizando cómo las fuerzas internas y externas influyen sobre el movimiento y la estabilidad corporal. Dentro de este campo, la biomecánica aplicada a la función muscular examina la manera en que los músculos esqueléticos generan tensión para producir desplazamientos articulares, mantener la postura y controlar el equilibrio. Este enfoque integra principios provenientes de la mecánica clásica con los conocimientos anatómicos y fisiológicos del sistema neuromuscular, permitiendo explicar el comportamiento funcional del cuerpo humano desde una perspectiva cuantitativa y objetiva. De acuerdo con Hamill, Knutzen y Derrick (2022), el análisis biomecánico constituye una herramienta esencial para comprender las relaciones entre las propiedades mecánicas de los tejidos biológicos y la eficiencia del movimiento humano.

ISBN
978-9942-595-19-5

El estudio biomecánico de la función muscular ha evolucionado considerablemente gracias al desarrollo tecnológico y metodológico alcanzado durante las últimas décadas. Inicialmente, las investigaciones se centraban en observaciones anatómicas y descripciones funcionales básicas; sin embargo, actualmente es posible cuantificar variables como la fuerza muscular, la velocidad de contracción, el momento articular, la potencia mecánica y la activación electromiográfica mediante equipos altamente especializados. Estas herramientas permiten identificar patrones de movimiento normales y patológicos, facilitando la evaluación funcional en individuos sanos y pacientes con alteraciones musculoesqueléticas. Según Winter (2009), la biomecánica moderna combina modelos matemáticos con técnicas experimentales para comprender la interacción entre el sistema nervioso y el sistema musculoesquelético durante la ejecución del movimiento.

Desde una perspectiva fisiológica, la función muscular depende de la capacidad de las fibras musculares para transformar energía química en energía mecánica mediante el proceso de contracción. No obstante, la cantidad de fuerza desarrollada no depende únicamente de los mecanismos celulares, sino también de factores biomecánicos como la longitud muscular, el brazo de momento, la orientación de las fibras, la velocidad de acortamiento y las características de las articulaciones involucradas. Estas variables determinan la eficiencia mecánica con la que un músculo puede producir trabajo durante actividades funcionales o deportivas. En este sentido, Enoka y Duchateau (2017) señalan que el rendimiento muscular es el resultado de una interacción compleja entre los mecanismos neurales, las propiedades estructurales del músculo y las condiciones mecánicas bajo las cuales ocurre la contracción.

La biomecánica muscular posee una enorme relevancia clínica debido a que permite comprender el origen mecánico de numerosas lesiones y alteraciones funcionales. Lesiones como tendinopatías, desgarros musculares, roturas ligamentarias o trastornos articulares suelen estar relacionadas con distribuciones inadecuadas de carga, desequilibrios musculares o patrones incorrectos de movimiento. Mediante el análisis biomecánico es posible identificar los factores de riesgo asociados a estas lesiones, establecer programas preventivos y diseñar estrategias terapéuticas más eficaces.

Asimismo, la evaluación biomecánica constituye un componente indispensable en los procesos de rehabilitación física, donde el objetivo principal consiste en restaurar patrones normales de movimiento y recuperar la funcionalidad del sistema musculoesquelético (Neumann, 2017).

En el ámbito deportivo, la biomecánica aplicada a la función muscular desempeña un papel determinante en la optimización del rendimiento. El análisis detallado de la producción de fuerza, la coordinación intermuscular y la eficiencia mecánica permite diseñar programas de entrenamiento específicos para mejorar la potencia, la velocidad, la resistencia y la precisión de los movimientos deportivos. Además, la utilización de plataformas de fuerza, sistemas de captura tridimensional del movimiento y electromiografía de superficie facilita la identificación de gestos técnicos que incrementan el riesgo de lesión o disminuyen la eficiencia mecánica. De acuerdo con McGinnis (2020), la biomecánica deportiva proporciona información objetiva que permite optimizar tanto el rendimiento competitivo como la prevención de lesiones en atletas de diferentes niveles.

En la actualidad, la integración de la biomecánica con disciplinas como la ingeniería biomédica, la inteligencia artificial y la modelización computacional está transformando profundamente la comprensión de la función muscular. Los modelos musculoesqueléticos tridimensionales permiten estimar fuerzas internas imposibles de medir directamente, mientras que las técnicas de simulación computacional facilitan el análisis de diferentes escenarios clínicos y deportivos antes de implementar intervenciones reales. Estas innovaciones han ampliado las posibilidades de investigación en áreas como la cirugía ortopédica, el diseño de prótesis, la robótica de rehabilitación y la medicina personalizada. En consecuencia, la biomecánica aplicada a la función muscular se consolida como una disciplina estratégica para comprender, evaluar y mejorar el movimiento humano desde una perspectiva científica basada en la evidencia (Zatsiorsky & Prilutsky, 2012).

La producción de fuerza muscular constituye uno de los principios fundamentales de la biomecánica aplicada al movimiento humano. La fuerza es el resultado de la interacción entre los filamentos de actina y miosina durante el proceso de

ISBN
978-9942-595-19-5

contracción muscular, pero su magnitud también depende de factores mecánicos como el área de sección transversal fisiológica del músculo, la arquitectura de sus fibras, el nivel de activación neuromuscular y las condiciones externas de carga. Desde la biomecánica, la fuerza muscular se interpreta como la capacidad de generar tensión suficiente para vencer resistencias internas y externas, permitiendo ejecutar acciones como caminar, correr, levantar objetos o mantener la postura. Además, la producción de fuerza está influenciada por la sincronización de las unidades motoras y por la frecuencia de descarga neuronal, elementos que determinan la eficiencia con la que el sistema neuromuscular transforma la energía química en trabajo mecánico. Estudios biomecánicos han demostrado que una adecuada coordinación entre estos factores mejora significativamente el rendimiento funcional y reduce el gasto energético durante el movimiento (Enoka & Duchateau, 2017; Hamill et al., 2022).

Uno de los conceptos esenciales en biomecánica muscular corresponde al funcionamiento de las palancas biológicas. Los huesos actúan como barras rígidas, las articulaciones funcionan como puntos de apoyo o fulcros y los músculos representan la fuerza aplicada para generar movimiento. Aunque este sistema presenta una aparente desventaja mecánica debido a que la mayoría de los músculos se insertan muy cerca del eje articular, dicha disposición proporciona una ventaja funcional al favorecer movimientos rápidos, precisos y con amplios rangos articulares. El cuerpo humano utiliza principalmente palancas de tercer género, en las cuales la fuerza muscular se aplica entre el punto de apoyo y la resistencia, priorizando la velocidad y la amplitud del movimiento sobre la ventaja mecánica. Esta organización anatómica explica la elevada capacidad del ser humano para realizar movimientos complejos, característica esencial para actividades deportivas y tareas de la vida diaria. Según McGinnis (2020), el estudio de las palancas corporales constituye uno de los pilares para comprender la eficiencia mecánica del sistema musculoesquelético y optimizar el análisis funcional del movimiento.

La relación longitud-tensión representa otro principio biomecánico determinante para comprender la función muscular. Esta relación establece que la capacidad de un músculo para generar fuerza depende directamente de la longitud inicial de sus fibras antes de iniciar la contracción. Cuando el músculo se encuentra en

una longitud óptima, existe un máximo número de puentes cruzados entre los filamentos de actina y miosina, favoreciendo una producción elevada de tensión. Por el contrario, si el músculo está excesivamente acortado o excesivamente elongado, disminuye el número de interacciones entre los filamentos y, en consecuencia, la fuerza desarrollada es menor. Desde el punto de vista biomecánico, este principio explica por qué determinadas posiciones articulares permiten desarrollar mayores niveles de fuerza durante ejercicios de resistencia o movimientos funcionales. Asimismo, constituye la base para el diseño de programas de entrenamiento orientados a mejorar el rendimiento muscular y prevenir lesiones asociadas con sobrecargas mecánicas (Neumann, 2017; Lieber, 2010).

La relación fuerza-velocidad describe la influencia que ejerce la velocidad de contracción sobre la magnitud de fuerza que un músculo puede desarrollar. Durante las contracciones concéntricas, el incremento de la velocidad de acortamiento produce una disminución progresiva de la fuerza generada, debido a que los puentes cruzados disponen de menos tiempo para establecer interacciones efectivas entre los filamentos contráctiles. En contraste, durante las contracciones excéntricas, el músculo puede desarrollar fuerzas considerablemente superiores mientras se alarga bajo tensión, gracias a la participación de componentes elásticos y estructurales que contribuyen al soporte de la carga. Este comportamiento constituye uno de los fundamentos biomecánicos del entrenamiento de fuerza moderna, especialmente en programas orientados al desarrollo de la potencia muscular, la prevención de lesiones y la rehabilitación funcional. La comprensión de esta relación permite seleccionar velocidades de ejecución adecuadas según los objetivos terapéuticos o deportivos, optimizando la adaptación neuromuscular y la eficiencia mecánica (Hill, 1938; Zatsiorsky & Prilutsky, 2012).

El momento de fuerza o torque constituye una variable biomecánica indispensable para explicar la eficacia con la que un músculo produce movimiento alrededor de una articulación. El torque depende simultáneamente de la magnitud de la fuerza muscular y de la distancia perpendicular existente entre la línea de acción de dicha fuerza y el eje de rotación articular, conocida como brazo de momento. Pequeñas modificaciones en este brazo pueden

ISBN
978-9942-595-19-5

incrementar o disminuir considerablemente la capacidad mecánica del músculo, incluso cuando la fuerza desarrollada permanece constante. Este principio explica las variaciones observadas durante diferentes posiciones articulares en ejercicios como las flexiones de codo, las extensiones de rodilla o las elevaciones de hombro. Asimismo, el análisis del torque resulta esencial para comprender el funcionamiento de prótesis, órtesis y dispositivos de asistencia biomecánica diseñados para restaurar la función motora en personas con discapacidad. Winter (2009) destaca que el cálculo de los momentos articulares constituye una de las herramientas más importantes para el análisis cuantitativo del movimiento humano y la evaluación funcional del sistema musculoesquelético.

Las propiedades mecánicas del tejido muscular incluyen características como la elasticidad, la viscosidad, la rigidez y la capacidad de almacenar y liberar energía durante el movimiento. Estas propiedades convierten al músculo en un tejido viscoelástico cuyo comportamiento depende tanto de la velocidad como de la magnitud de las cargas aplicadas. Los componentes elásticos, representados principalmente por los tendones y proteínas estructurales como la titina, permiten almacenar energía mecánica durante la fase de estiramiento y reutilizarla posteriormente durante la contracción, aumentando la eficiencia energética del movimiento. Este fenómeno resulta especialmente evidente en actividades como la carrera, los saltos y los lanzamientos, donde el ciclo de estiramiento-acortamiento mejora significativamente la producción de potencia muscular. La comprensión de estas propiedades biomecánicas ha permitido desarrollar programas de entrenamiento pliométrico, estrategias avanzadas de rehabilitación y modelos computacionales cada vez más precisos sobre el funcionamiento del sistema musculoesquelético. En conjunto, estas características evidencian que la función muscular no depende exclusivamente de los procesos fisiológicos de contracción, sino también de complejas propiedades mecánicas que determinan la eficiencia y el desempeño del movimiento humano (Lieber, 2010; Hamill et al., 2022).

La biomecánica aplicada a la función muscular desempeña un papel fundamental en el análisis del movimiento humano, ya que permite comprender cómo las fuerzas generadas por los músculos interactúan con el sistema esquelético para producir desplazamientos coordinados y eficientes. El

movimiento resulta de la integración entre los sistemas nervioso, muscular y esquelético, donde cada componente contribuye al control de la postura, la estabilidad y la locomoción. Desde el enfoque biomecánico, el estudio del movimiento considera tanto las características anatómicas de los segmentos corporales como las fuerzas internas y externas que actúan sobre ellos. Este análisis facilita la identificación de patrones motores normales y alterados, proporcionando información valiosa para la evaluación funcional, la prevención de lesiones y el diseño de programas de entrenamiento físico y rehabilitación. Además, la comprensión de la interacción entre fuerza, velocidad, aceleración y control neuromuscular permite optimizar la eficiencia mecánica del movimiento en diferentes contextos clínicos y deportivos. Según Hamill, Knutzen y Derrick (2022), la biomecánica del movimiento humano constituye una herramienta indispensable para explicar la relación entre la producción muscular de fuerza y la ejecución eficiente de tareas funcionales.

Dentro del análisis biomecánico, la cinemática estudia las características del movimiento sin considerar las fuerzas que lo producen, describiendo variables como la posición, el desplazamiento, la velocidad, la aceleración y los ángulos articulares. Estas mediciones permiten evaluar la calidad del movimiento y detectar alteraciones que pueden comprometer la función muscular o incrementar el riesgo de lesión. La incorporación de tecnologías como la captura tridimensional del movimiento, los sistemas optoelectrónicos y los sensores inerciales ha permitido obtener registros altamente precisos de la cinemática corporal durante actividades cotidianas, deportivas y terapéuticas. Dichos análisis son ampliamente utilizados para evaluar la técnica deportiva, estudiar alteraciones de la marcha y diseñar programas de intervención personalizados. La información cinemática también facilita la validación de modelos computacionales capaces de simular el comportamiento del sistema musculoesquelético bajo diferentes condiciones funcionales. Winter (2009) destaca que el análisis cinemático constituye uno de los procedimientos más importantes para comprender la organización espacial y temporal del movimiento humano.

Complementariamente, la cinética analiza las fuerzas responsables del movimiento y su interacción con el sistema musculoesquelético. Este enfoque

considera variables como las fuerzas de reacción del suelo, los momentos articulares, la potencia mecánica, el trabajo muscular y las cargas transmitidas a los tejidos durante la actividad física. La cinética permite determinar cómo las fuerzas externas modifican el comportamiento de las estructuras corporales y cómo los músculos responden para mantener la estabilidad y generar movimiento. El empleo de plataformas de fuerza, dinamómetros isocinéticos y sistemas de análisis computacional ha permitido cuantificar con gran precisión estas variables, contribuyendo al diagnóstico funcional y a la optimización del rendimiento deportivo. Asimismo, el estudio cinético resulta esencial para comprender los mecanismos biomecánicos implicados en lesiones por sobrecarga, caídas y alteraciones del equilibrio. De acuerdo con McGinnis (2020), la integración entre el análisis cinemático y cinético ofrece una comprensión integral del movimiento humano y de la función muscular en diferentes escenarios biomecánicos.

La coordinación neuromuscular representa otro componente esencial de la biomecánica aplicada a la función muscular, ya que determina la secuencia temporal y espacial con la que diferentes grupos musculares participan en la ejecución de un movimiento. La activación coordinada entre músculos agonistas, antagonistas, sinergistas y estabilizadores permite distribuir adecuadamente las cargas mecánicas, optimizando la eficiencia del movimiento y reduciendo el riesgo de lesiones. La electromiografía de superficie ha demostrado que incluso movimientos aparentemente simples requieren complejos patrones de activación neuromuscular regulados por el sistema nervioso central. La sincronización de las unidades motoras y el reclutamiento progresivo de fibras musculares permiten adaptar la producción de fuerza a las demandas específicas de cada tarea. En consecuencia, la coordinación neuromuscular constituye un factor determinante tanto en el rendimiento deportivo como en los procesos de rehabilitación funcional, donde la restauración de patrones motores adecuados representa uno de los principales objetivos terapéuticos (Enoka & Duchateau, 2017; Neumann, 2017).

La marcha humana constituye uno de los movimientos más estudiados dentro de la biomecánica debido a su importancia funcional y clínica. Este proceso implica una secuencia coordinada de contracciones musculares que permiten el

desplazamiento eficiente del centro de gravedad mientras se mantiene la estabilidad corporal. Durante el ciclo de la marcha participan activamente los músculos de la cadera, rodilla, tobillo y tronco, regulando la absorción de impactos, la propulsión y el equilibrio dinámico. El análisis biomecánico de la marcha ha permitido identificar alteraciones asociadas con enfermedades neurológicas, ortopédicas y musculoesqueléticas, facilitando el diseño de intervenciones terapéuticas específicas. Asimismo, la evaluación de variables como la longitud del paso, la velocidad, la cadencia y las fuerzas de reacción del suelo proporciona indicadores objetivos sobre el estado funcional del individuo. Winter (2009) señala que el análisis de la marcha constituye uno de los métodos más completos para estudiar la interacción entre la biomecánica muscular y el control neuromotor durante la locomoción humana.

La biomecánica de la carrera y del rendimiento deportivo amplía estos principios al analizar movimientos caracterizados por mayores velocidades, fuerzas e impactos mecánicos. Durante la carrera, la función muscular debe responder a elevadas demandas de potencia, elasticidad y coordinación, aprovechando el ciclo de estiramiento-acortamiento para optimizar el rendimiento y disminuir el gasto energético. El análisis biomecánico permite evaluar parámetros como el tiempo de contacto con el suelo, la longitud y frecuencia de la zancada, la rigidez musculotendinosa y la distribución de las cargas articulares. Estos conocimientos son fundamentales para perfeccionar la técnica deportiva, prevenir lesiones por sobreuso y diseñar programas de entrenamiento individualizados. Además, disciplinas como el atletismo, el fútbol, el baloncesto y la gimnasia utilizan rutinariamente evaluaciones biomecánicas para optimizar la eficiencia del movimiento y maximizar el rendimiento competitivo. Según Zatsiorsky y Prilutsky (2012), la integración entre biomecánica, fisiología y entrenamiento deportivo constituye uno de los enfoques más eficaces para mejorar el desempeño físico mediante intervenciones científicamente fundamentadas.

La biomecánica aplicada a la función muscular desempeña un papel estratégico en el ámbito deportivo, ya que proporciona herramientas objetivas para analizar la eficiencia de los gestos técnicos y optimizar el rendimiento físico. Mediante el estudio de variables como la producción de fuerza, la velocidad de ejecución, la

potencia muscular y la coordinación intersegmentaria, los especialistas pueden identificar factores que limitan el desempeño o incrementan el riesgo de lesión. El análisis biomecánico permite, por ejemplo, evaluar la técnica de un corredor para reducir el tiempo de contacto con el suelo, mejorar la mecánica del salto vertical o perfeccionar la secuencia de movimiento durante un lanzamiento. Asimismo, la información obtenida facilita la individualización de los programas de entrenamiento, considerando las características antropométricas, neuromusculares y funcionales de cada deportista. Este enfoque favorece el desarrollo de intervenciones basadas en evidencia que incrementan la eficiencia mecánica y el rendimiento competitivo sin comprometer la integridad del sistema musculoesquelético (McGinnis, 2020; Hamill et al., 2022).

La prevención de lesiones constituye una de las aplicaciones más relevantes de la biomecánica muscular. Numerosas investigaciones han demostrado que patrones inadecuados de movimiento, desequilibrios musculares, deficiencias en el control neuromuscular y una distribución incorrecta de las cargas mecánicas aumentan significativamente la probabilidad de desarrollar lesiones agudas o por sobreuso. El análisis biomecánico permite identificar estos factores de riesgo mediante la evaluación de la alineación corporal, los momentos articulares, las fuerzas de reacción del suelo y la activación muscular durante diferentes tareas funcionales. Con base en estos hallazgos, es posible implementar programas preventivos enfocados en mejorar la estabilidad articular, fortalecer grupos musculares específicos y corregir patrones técnicos deficientes. En disciplinas deportivas de alta exigencia, esta estrategia ha demostrado disminuir la incidencia de lesiones como rupturas del ligamento cruzado anterior, tendinopatías, fracturas por estrés y lesiones musculares recurrentes. Según Bahr y Krosshaug (2005), la comprensión de los mecanismos biomecánicos que originan las lesiones constituye un requisito indispensable para desarrollar programas preventivos verdaderamente eficaces.

En el contexto de la rehabilitación física, la biomecánica aplicada a la función muscular permite diseñar procesos terapéuticos orientados a recuperar la movilidad, la fuerza y la funcionalidad después de una lesión o intervención quirúrgica. La evaluación biomecánica proporciona información objetiva sobre las limitaciones del paciente, permitiendo establecer metas terapéuticas

individualizadas y monitorear la evolución del tratamiento. Variables como la amplitud de movimiento, la simetría de la marcha, el equilibrio dinámico, la producción de fuerza y la coordinación muscular son utilizadas para valorar la recuperación funcional y ajustar progresivamente las cargas de entrenamiento. Además, el empleo de tecnologías como la electromiografía, las plataformas de fuerza y los sistemas de análisis tridimensional facilita la identificación de compensaciones motoras que podrían retrasar la recuperación o favorecer nuevas lesiones. Neumann (2017) sostiene que la integración de los principios biomecánicos en los programas de rehabilitación mejora la eficacia de las intervenciones clínicas y contribuye al restablecimiento seguro de la función musculoesquelética.

La ergonomía representa otra importante área de aplicación de la biomecánica muscular, especialmente en el ámbito laboral. El análisis biomecánico permite evaluar las demandas físicas asociadas con diferentes actividades ocupacionales, identificando posturas inadecuadas, movimientos repetitivos y sobrecargas mecánicas que pueden generar trastornos musculoesqueléticos. A partir de esta información, es posible rediseñar herramientas, estaciones de trabajo y procedimientos laborales con el objetivo de disminuir la fatiga muscular, mejorar la eficiencia del trabajo y reducir la incidencia de enfermedades ocupacionales. La implementación de criterios ergonómicos basados en principios biomecánicos también contribuye a optimizar la productividad y la seguridad de los trabajadores. Asimismo, el desarrollo de exoesqueletos industriales y dispositivos de asistencia biomecánica representa una innovación importante para disminuir las cargas físicas durante actividades que implican manipulación manual de cargas o movimientos repetitivos. Según Chaffin, Andersson y Martin (2006), la biomecánica ocupacional constituye una herramienta esencial para adaptar el entorno laboral a las capacidades funcionales del ser humano.

El desarrollo tecnológico ha transformado profundamente la investigación en biomecánica muscular. Actualmente, la combinación de plataformas de fuerza, sistemas de captura tridimensional del movimiento, sensores inerciales, electromiografía de alta resolución, ultrasonografía musculoesquelética y modelos computacionales permite analizar con gran precisión el comportamiento

ISBN
978-9942-595-19-5

mecánico del sistema musculoesquelético durante actividades estáticas y dinámicas. Estas tecnologías generan información cuantitativa sobre la activación muscular, la distribución de cargas, los momentos articulares y las fuerzas internas que actúan durante el movimiento, muchas de las cuales no pueden medirse directamente mediante procedimientos convencionales. Además, la incorporación de inteligencia artificial y aprendizaje automático ha facilitado el procesamiento de grandes volúmenes de datos biomecánicos, favoreciendo el desarrollo de modelos predictivos capaces de anticipar riesgos de lesión y optimizar el rendimiento funcional. Zatsiorsky y Prilutsky (2012) destacan que la integración entre ingeniería, informática y biomecánica está impulsando una nueva generación de investigaciones orientadas a comprender con mayor precisión el funcionamiento del sistema musculoesquelético.

La investigación científica en biomecánica aplicada a la función muscular continúa ampliando el conocimiento sobre la interacción entre las propiedades estructurales del músculo, el control neuromotor y las demandas mecánicas impuestas por el entorno. Los avances recientes incluyen el desarrollo de modelos musculoesqueléticos personalizados, simulaciones computacionales de alta fidelidad y herramientas de análisis predictivo que permiten estimar el comportamiento de músculos y articulaciones en diferentes escenarios clínicos y deportivos. Estos enfoques favorecen la medicina personalizada, al posibilitar intervenciones adaptadas a las características anatómicas y funcionales de cada individuo. Asimismo, la investigación biomecánica contribuye al diseño de prótesis inteligentes, órtesis funcionales, robots de rehabilitación y dispositivos de asistencia que mejoran la calidad de vida de personas con limitaciones motoras. En conjunto, estos avances evidencian que la biomecánica aplicada a la función muscular constituye una disciplina dinámica e interdisciplinaria, cuyo impacto se extiende desde la investigación básica hasta la práctica clínica, la salud pública, el deporte de alto rendimiento y la innovación tecnológica. Como señalan Lieber (2010) y Winter (2009), el futuro de la biomecánica dependerá de la integración de conocimientos provenientes de las ciencias biológicas, la ingeniería y las ciencias de la computación para comprender con mayor profundidad la complejidad del movimiento humano.

Las tendencias actuales en biomecánica aplicada a la función muscular se orientan hacia la integración de tecnologías digitales capaces de analizar el movimiento humano con un nivel de precisión sin precedentes. La utilización de inteligencia artificial, aprendizaje automático, sensores portátiles, sistemas de captura tridimensional del movimiento y dispositivos de monitoreo en tiempo real ha permitido evaluar el comportamiento muscular tanto en ambientes de laboratorio como en condiciones reales de entrenamiento, trabajo o actividades de la vida diaria. Estas herramientas facilitan la identificación temprana de alteraciones funcionales, permiten personalizar programas de ejercicio y contribuyen al desarrollo de estrategias preventivas basadas en evidencia científica. Además, la combinación de datos biomecánicos con información fisiológica y clínica favorece una comprensión más integral del funcionamiento del sistema musculoesquelético, fortaleciendo la toma de decisiones en medicina deportiva, fisioterapia y ciencias del ejercicio (Hamill et al., 2022; Zatsiorsky & Prilutsky, 2012).

Otra línea de investigación con gran proyección corresponde al desarrollo de modelos musculoesqueléticos personalizados mediante simulaciones computacionales avanzadas. Estos modelos integran información anatómica obtenida por imágenes médicas, datos cinemáticos, registros electromiográficos y parámetros biomecánicos individuales para estimar con alta precisión las fuerzas internas generadas por músculos, tendones y articulaciones durante el movimiento. Esta metodología resulta especialmente útil en la planificación quirúrgica, el diseño de prótesis y órtesis, la rehabilitación personalizada y la optimización del rendimiento deportivo. Asimismo, los modelos predictivos permiten evaluar diferentes escenarios antes de aplicar una intervención clínica, reduciendo riesgos y mejorando los resultados terapéuticos. Según Winter (2009), la simulación computacional representa una de las herramientas más prometedoras para comprender la complejidad de la función muscular y sus adaptaciones frente a distintas demandas mecánicas.

La biomecánica aplicada a la función muscular también desempeñará un papel decisivo en el contexto del envejecimiento poblacional y de las enfermedades crónicas. La disminución progresiva de la masa muscular, la pérdida de fuerza y el deterioro del equilibrio incrementan el riesgo de caídas, discapacidad y

dependencia funcional en los adultos mayores. En este escenario, la evaluación biomecánica permite identificar tempranamente alteraciones del movimiento, cuantificar la capacidad funcional y diseñar programas de ejercicio terapéutico adaptados a las necesidades de cada individuo. Del mismo modo, pacientes con enfermedades neurológicas, metabólicas u ortopédicas pueden beneficiarse de intervenciones fundamentadas en principios biomecánicos que favorezcan la recuperación de la movilidad y la independencia funcional. Estas aplicaciones evidencian que la biomecánica no solo contribuye al alto rendimiento deportivo, sino también a la promoción de la salud y al mejoramiento de la calidad de vida de diferentes poblaciones (Neumann, 2017; Lieber, 2010).

La consolidación de la biomecánica como disciplina interdisciplinaria ha fortalecido la colaboración entre profesionales de diversas áreas, incluyendo médicos, fisioterapeutas, ingenieros biomédicos, preparadores físicos, terapeutas ocupacionales y especialistas en ciencias del deporte. Esta interacción favorece el desarrollo de investigaciones más completas y la implementación de soluciones innovadoras para problemas relacionados con la función muscular y el movimiento humano. La incorporación de herramientas de análisis de datos, impresión tridimensional, robótica asistencial y dispositivos inteligentes está transformando la manera en que se evalúan y tratan las alteraciones musculoesqueléticas. Además, la formación de equipos multidisciplinarios permite integrar diferentes perspectivas científicas para diseñar intervenciones más eficaces, seguras y personalizadas. En consecuencia, la biomecánica aplicada a la función muscular continuará evolucionando como un campo estratégico para la investigación, la innovación tecnológica y la atención integral en salud (Chaffin et al., 2006; McGinnis, 2020).

La biomecánica aplicada a la función muscular constituye una disciplina esencial para comprender los mecanismos que regulan el movimiento humano desde una perspectiva científica e interdisciplinaria. El análisis de variables como la producción de fuerza, la relación longitud-tensión, la relación fuerza-velocidad, los momentos articulares, las propiedades viscoelásticas del músculo y la coordinación neuromuscular permite explicar cómo el sistema musculoesquelético responde a las demandas funcionales impuestas por las actividades cotidianas, deportivas y clínicas. Asimismo, la integración entre

biomecánica, fisiología, anatomía e ingeniería ha impulsado importantes avances en la prevención de lesiones, la rehabilitación, la ergonomía y el rendimiento deportivo. La incorporación de tecnologías avanzadas de evaluación y modelización computacional continúa ampliando las posibilidades diagnósticas y terapéuticas, consolidando a la biomecánica como una herramienta indispensable para el desarrollo de intervenciones basadas en evidencia científica.

En síntesis, el estudio de la biomecánica aplicada a la función muscular demuestra que el movimiento humano es el resultado de una interacción altamente compleja entre procesos biológicos, neurológicos y mecánicos. Comprender estas relaciones permite optimizar la eficiencia del movimiento, reducir el riesgo de lesiones y mejorar la calidad de vida de personas sanas y pacientes con alteraciones musculoesqueléticas. Los avances tecnológicos y científicos continúan fortaleciendo esta disciplina, ofreciendo nuevas oportunidades para el desarrollo de tratamientos personalizados, estrategias preventivas y programas de entrenamiento más efectivos. En el futuro, la integración de inteligencia artificial, simulaciones biomecánicas y tecnologías portátiles permitirá alcanzar niveles aún mayores de precisión en la evaluación de la función muscular, consolidando a la biomecánica como uno de los pilares fundamentales de las ciencias del movimiento humano y de la salud.



CAPITULO IV
CONTROL NEUROMUSCULAR Y MOVIMIENTO HUMANO

El control neuromuscular constituye uno de los procesos fisiológicos más importantes para la ejecución eficiente del movimiento humano, al integrar la información proveniente del sistema nervioso central y periférico con la actividad del sistema musculoesquelético. Este mecanismo permite planificar, coordinar y ajustar continuamente la activación muscular necesaria para mantener la postura, el equilibrio y la realización de movimientos voluntarios e involuntarios. La interacción entre receptores sensoriales, vías aferentes y eferentes, centros superiores de procesamiento y unidades motoras posibilita respuestas motoras precisas frente a las demandas internas y externas del organismo. En la actualidad, el estudio del control neuromuscular se ha fortalecido gracias al desarrollo de técnicas como la electromiografía, el análisis tridimensional del movimiento, la estimulación magnética transcraneal y la neuroimagen funcional, herramientas que han permitido comprender con mayor profundidad los mecanismos responsables del aprendizaje motor, la adaptación funcional y la recuperación después de lesiones neurológicas o musculoesqueléticas. Asimismo, este conocimiento posee amplias aplicaciones en la medicina, la fisioterapia, el deporte, la rehabilitación y la ingeniería biomédica, favoreciendo el diseño de intervenciones basadas en evidencia científica. El presente trabajo analiza los fundamentos fisiológicos y biomecánicos del control neuromuscular, su relación con el movimiento humano y sus principales aplicaciones clínicas, deportivas y tecnológicas.

El movimiento humano representa una de las funciones biológicas más complejas del organismo y depende de la interacción coordinada entre el sistema nervioso, el sistema muscular y el sistema esquelético. Esta integración permite ejecutar acciones tan simples como mantener la postura o caminar, así como movimientos altamente especializados requeridos en actividades deportivas, laborales y artísticas. El control neuromuscular constituye el conjunto de mecanismos mediante los cuales el sistema nervioso organiza, regula y adapta la actividad muscular para responder de manera eficiente a las demandas del entorno. Este proceso implica la recepción de información sensorial, su procesamiento en diferentes niveles del sistema nervioso central y la generación de respuestas motoras precisas mediante la activación secuencial de unidades motoras. Según Enoka y Duchateau (2017), el rendimiento motor humano

ISBN
978-9942-595-19-5

depende de la interacción dinámica entre los procesos neurales y las propiedades mecánicas del sistema musculoesquelético.

Desde la perspectiva fisiológica, el control neuromuscular involucra múltiples estructuras anatómicas que trabajan de forma integrada para garantizar la precisión del movimiento. La corteza motora cerebral participa en la planificación y ejecución de movimientos voluntarios, mientras que los ganglios basales intervienen en la selección y automatización de patrones motores. Por su parte, el cerebelo desempeña un papel fundamental en la coordinación, el equilibrio y la corrección de errores durante la ejecución del movimiento, ajustando continuamente la actividad muscular a partir de la información sensorial recibida. A nivel periférico, la médula espinal actúa como centro integrador de reflejos y vías de comunicación entre el sistema nervioso central y la musculatura esquelética. La interacción coordinada entre estas estructuras garantiza respuestas motoras eficientes frente a cambios constantes del entorno y de las condiciones biomecánicas del cuerpo (Kandel et al., 2021).

El desarrollo del control neuromuscular comienza durante las primeras etapas de la vida y continúa perfeccionándose mediante procesos de maduración neurológica, experiencia motora y aprendizaje. A medida que el individuo interactúa con su entorno, el sistema nervioso desarrolla estrategias más eficientes para coordinar la actividad muscular, optimizando la precisión, la velocidad y el gasto energético del movimiento. Este fenómeno, conocido como aprendizaje motor, depende de la capacidad del sistema nervioso para modificar sus conexiones sinápticas mediante procesos de plasticidad neuronal. La repetición de tareas motoras favorece la consolidación de patrones de movimiento cada vez más automáticos y eficientes, permitiendo mejorar el rendimiento funcional en actividades cotidianas y deportivas. Schmidt, Lee y Winstein (2019) señalan que el aprendizaje motor constituye un proceso continuo de adquisición y perfeccionamiento de habilidades basado en la práctica y en la adaptación a nuevas condiciones ambientales.

La importancia clínica del control neuromuscular se evidencia en numerosas enfermedades y trastornos que afectan el movimiento humano. Alteraciones neurológicas como el accidente cerebrovascular, la enfermedad de Parkinson, la

esclerosis múltiple, la lesión medular y diversas neuropatías producen modificaciones significativas en la coordinación muscular, el equilibrio y la ejecución de movimientos voluntarios. Asimismo, lesiones musculoesqueléticas como rupturas ligamentarias, tendinopatías o inestabilidad articular pueden alterar los mecanismos de control neuromuscular al modificar la información propioceptiva proveniente de los receptores sensoriales. Estas alteraciones incrementan el riesgo de nuevas lesiones y limitan la capacidad funcional del individuo, razón por la cual la rehabilitación moderna incorpora estrategias orientadas a restaurar el control neuromuscular mediante ejercicios específicos de coordinación, equilibrio y entrenamiento sensoriomotor (Shumway-Cook & Woollacott, 2017).

En el ámbito deportivo, el control neuromuscular constituye uno de los principales determinantes del rendimiento físico y de la prevención de lesiones. Los atletas de alto nivel presentan patrones de activación muscular altamente eficientes que les permiten ejecutar movimientos rápidos, precisos y coordinados con un menor consumo energético. La sincronización entre músculos agonistas, antagonistas y estabilizadores optimiza la producción de fuerza y mejora la estabilidad articular durante acciones explosivas como saltos, cambios de dirección, lanzamientos o aceleraciones. Diversos programas de entrenamiento neuromuscular han demostrado mejorar significativamente el equilibrio dinámico, la capacidad reactiva y el control postural, reduciendo la incidencia de lesiones deportivas, especialmente en articulaciones como la rodilla y el tobillo. De acuerdo con Myer, Faigenbaum, Ford y Hewett (2011), el entrenamiento neuromuscular representa una estrategia eficaz para optimizar el rendimiento funcional y disminuir el riesgo de lesiones en deportistas de diferentes niveles competitivos.

En las últimas décadas, los avances tecnológicos han revolucionado el estudio del control neuromuscular y del movimiento humano. Herramientas como la electromiografía de superficie, la captura tridimensional del movimiento, los sensores inerciales, la estimulación magnética transcraneal, la resonancia magnética funcional y los modelos computacionales permiten analizar con gran precisión la interacción entre la actividad neural y la respuesta muscular durante diferentes tareas motoras. Estas tecnologías han ampliado las posibilidades diagnósticas y terapéuticas en áreas como la neurorehabilitación, la

biomecánica, la robótica asistencial y el diseño de prótesis inteligentes. Además, la incorporación de inteligencia artificial y análisis de datos ha favorecido el desarrollo de modelos predictivos capaces de personalizar programas de rehabilitación y entrenamiento según las características funcionales de cada individuo. En este contexto, el control neuromuscular se consolida como uno de los pilares fundamentales para comprender el movimiento humano desde una perspectiva interdisciplinaria, integrando conocimientos provenientes de la neurociencia, la fisiología, la biomecánica y las ciencias del ejercicio (Latash, 2020).

La coordinación motora constituye una de las principales manifestaciones del control neuromuscular y puede definirse como la capacidad del sistema nervioso para organizar la activación secuencial y sincronizada de diferentes grupos musculares con el propósito de ejecutar movimientos precisos, eficientes y adaptados a las condiciones del entorno. Este proceso implica la integración continua de información sensorial, la planificación de la respuesta motora y la regulación de la intensidad y el tiempo de activación de los músculos agonistas, antagonistas, sinergistas y estabilizadores. La adecuada coordinación motora permite optimizar el gasto energético, disminuir las cargas innecesarias sobre las articulaciones y mejorar la calidad del movimiento durante actividades cotidianas y deportivas. Además, constituye un componente esencial para el desarrollo de habilidades complejas que requieren precisión temporal y espacial, como escribir, manipular objetos, correr o ejecutar gestos deportivos de alta exigencia. De acuerdo con Schmidt, Lee y Winstein (2019), la coordinación motora es el resultado de procesos de aprendizaje y adaptación que permiten al sistema nervioso seleccionar estrategias de movimiento cada vez más eficientes frente a diferentes desafíos funcionales.

El control postural representa otro componente fundamental del control neuromuscular, ya que garantiza la estabilidad corporal durante posiciones estáticas y dinámicas. Mantener el equilibrio requiere una integración permanente entre los sistemas visual, vestibular y somatosensorial, cuyos receptores proporcionan información continua acerca de la posición del cuerpo respecto al entorno y de los cambios que ocurren durante el movimiento. El sistema nervioso procesa esta información y genera respuestas musculares

automáticas que permiten conservar el centro de gravedad dentro de la base de sustentación, evitando caídas y favoreciendo la estabilidad funcional. La activación coordinada de la musculatura del tronco, la pelvis y las extremidades inferiores resulta indispensable para responder rápidamente a perturbaciones internas o externas. Alteraciones en cualquiera de estos sistemas pueden comprometer el equilibrio y aumentar el riesgo de caídas, especialmente en adultos mayores o pacientes con enfermedades neurológicas. Según Shumway-Cook y Woollacott (2017), el control postural constituye un proceso dinámico que depende de la interacción permanente entre la información sensorial y las respuestas motoras adaptativas.

La marcha humana constituye uno de los ejemplos más representativos del funcionamiento del control neuromuscular. Durante este proceso intervienen múltiples estructuras del sistema nervioso que coordinan la activación rítmica y secuencial de diferentes grupos musculares para producir un desplazamiento eficiente, estable y energéticamente económico. La locomoción requiere la sincronización entre movimientos de las extremidades inferiores, la estabilización del tronco y la adaptación continua frente a irregularidades del terreno o cambios en la velocidad de desplazamiento. La médula espinal participa mediante generadores centrales de patrones motores, mientras que el cerebelo y la corteza cerebral ajustan continuamente la ejecución del movimiento de acuerdo con la retroalimentación sensorial recibida. El análisis de la marcha ha demostrado que pequeñas alteraciones en la coordinación neuromuscular pueden modificar significativamente la eficiencia mecánica del desplazamiento y favorecer el desarrollo de lesiones o trastornos funcionales. Winter (2009) destaca que la marcha constituye uno de los modelos experimentales más utilizados para comprender la interacción entre control neuromuscular, biomecánica y aprendizaje motor.

El aprendizaje motor constituye un proceso fundamental mediante el cual el sistema nervioso adquiere, perfecciona y automatiza habilidades de movimiento a través de la práctica y la experiencia. Durante este proceso se producen modificaciones funcionales y estructurales en las redes neuronales responsables del control motor, favoreciendo una ejecución más precisa, rápida y eficiente de las tareas aprendidas. Inicialmente, el aprendizaje requiere una elevada

participación de procesos cognitivos y atención consciente; sin embargo, con la repetición sistemática de la práctica, los movimientos se automatizan y demandan un menor esfuerzo mental. La retroalimentación sensorial desempeña un papel decisivo durante este proceso, ya que permite identificar errores, corregir patrones motores y consolidar nuevas estrategias de movimiento. Estos principios son ampliamente utilizados en la rehabilitación neurológica y en el entrenamiento deportivo para acelerar la adquisición de habilidades funcionales y optimizar el rendimiento motor. Schmidt et al. (2019) señalan que el aprendizaje motor representa una adaptación relativamente permanente de la capacidad para ejecutar movimientos como resultado de la práctica sistemática.

La adaptación neuromuscular al entrenamiento constituye uno de los fenómenos más estudiados en las ciencias del ejercicio debido a su impacto sobre el rendimiento físico y la prevención de lesiones. Durante las primeras semanas de entrenamiento de fuerza, las mejoras observadas en el desempeño muscular se atribuyen principalmente a adaptaciones neurales antes que a cambios estructurales del músculo. Estas adaptaciones incluyen un mayor reclutamiento de unidades motoras, incremento en la frecuencia de descarga neuronal, mejor sincronización entre unidades motoras y reducción de la coactivación innecesaria de músculos antagonistas. Como consecuencia, el individuo desarrolla una mayor capacidad para producir fuerza con un menor costo energético y una mejor coordinación del movimiento. Posteriormente, estas adaptaciones neurales se complementan con procesos de hipertrofia muscular y remodelación del tejido conectivo, consolidando mejoras funcionales de largo plazo. Enoka y Duchateau (2017) indican que las adaptaciones neuromusculares inducidas por el entrenamiento representan uno de los principales mecanismos responsables del incremento del rendimiento físico.

El control neuromuscular también desempeña un papel esencial en la capacidad del organismo para adaptarse a diferentes condiciones ambientales y demandas funcionales. Actividades como caminar sobre superficies inestables, modificar la velocidad de desplazamiento, responder a perturbaciones inesperadas o ejecutar movimientos deportivos complejos requieren una reorganización constante de los patrones de activación muscular. Esta flexibilidad funcional

demuestra que el sistema nervioso no emplea programas motores rígidos, sino estrategias dinámicas capaces de ajustarse continuamente mediante procesos de retroalimentación y anticipación motora. Asimismo, la experiencia previa, el nivel de entrenamiento, la edad y el estado de salud influyen significativamente sobre la capacidad de adaptación neuromuscular. La comprensión de estos mecanismos ha permitido desarrollar programas de entrenamiento funcional, ejercicios propioceptivos y protocolos de rehabilitación orientados a mejorar la estabilidad, la coordinación y la eficiencia del movimiento en diferentes poblaciones. Según Latash (2020), la variabilidad del movimiento constituye una característica funcional del control neuromuscular que favorece la adaptación del organismo frente a las múltiples exigencias del entorno.

El control neuromuscular constituye uno de los pilares fundamentales de la rehabilitación clínica, debido a que la recuperación funcional después de una lesión o enfermedad depende, en gran medida, de la capacidad del sistema nervioso para reorganizar los patrones de activación muscular. En pacientes con lesiones ortopédicas, neurológicas o musculoesqueléticas, las alteraciones del control motor suelen manifestarse mediante disminución de la coordinación, pérdida del equilibrio, retraso en la activación muscular y patrones compensatorios que limitan la funcionalidad. Los programas de rehabilitación modernos incorporan ejercicios específicos orientados a restaurar la propiocepción, mejorar la estabilidad dinámica y favorecer el reaprendizaje de movimientos funcionales mediante tareas progresivas y adaptadas a las necesidades del paciente. La evidencia científica demuestra que el entrenamiento neuromuscular mejora la calidad del movimiento, acelera el retorno a las actividades cotidianas y disminuye la probabilidad de recaídas funcionales. Según Shumway-Cook y Woollacott (2017), la rehabilitación basada en principios de control motor promueve una recuperación más eficiente al estimular mecanismos de plasticidad neuronal y reorganización funcional del sistema nervioso.

La prevención de lesiones deportivas constituye otra de las aplicaciones más relevantes del control neuromuscular. Numerosos estudios han demostrado que las deficiencias en la coordinación muscular, el equilibrio dinámico, la estabilidad articular y el control postural incrementan significativamente el riesgo de lesiones

ISBN
978-9942-595-19-5

como rupturas del ligamento cruzado anterior, esguinces de tobillo, lesiones musculares y tendinopatías. Los programas de entrenamiento neuromuscular incluyen ejercicios de equilibrio, estabilidad, fortalecimiento funcional, cambios de dirección, aterrizajes controlados y tareas propioceptivas que mejoran la capacidad del sistema nervioso para responder eficazmente ante situaciones de alta demanda mecánica. Estas intervenciones favorecen una activación muscular anticipatoria, reducen las cargas articulares excesivas y optimizan los patrones de movimiento durante la práctica deportiva. Diversas revisiones sistemáticas han evidenciado que la implementación de estos programas disminuye de manera significativa la incidencia de lesiones, especialmente en deportes que implican saltos, aceleraciones y cambios bruscos de dirección (Myer et al., 2011; Hewett, Ford, & Myer, 2006).

En el ámbito del rendimiento deportivo, el entrenamiento del control neuromuscular permite optimizar la eficiencia de los gestos técnicos y mejorar la capacidad del deportista para responder a situaciones cambiantes durante la competencia. La adecuada sincronización entre músculos agonistas, antagonistas y estabilizadores facilita una transmisión más eficiente de la fuerza a través de las cadenas cinéticas, incrementando la velocidad, la precisión y la potencia de los movimientos. Asimismo, el entrenamiento neuromuscular favorece el desarrollo de la agilidad, el tiempo de reacción, la coordinación intermuscular y la capacidad de anticipación frente a estímulos externos. Estas adaptaciones resultan esenciales en disciplinas como el fútbol, el baloncesto, el voleibol, el atletismo y la gimnasia, donde el éxito deportivo depende de la capacidad para ejecutar movimientos complejos bajo condiciones de alta exigencia física y cognitiva. Enoka y Duchateau (2017) sostienen que las adaptaciones neurales representan uno de los principales factores responsables de las mejoras iniciales observadas en el rendimiento muscular tras programas sistemáticos de entrenamiento.

El desarrollo de tecnologías avanzadas ha revolucionado la evaluación del control neuromuscular mediante herramientas capaces de registrar con alta precisión la actividad del sistema nervioso y del aparato locomotor. La electromiografía de superficie permite analizar el patrón temporal y la intensidad de activación muscular durante diferentes tareas funcionales, facilitando la

identificación de alteraciones en la coordinación motora. De igual manera, las plataformas de fuerza cuantifican variables relacionadas con el equilibrio, la estabilidad y la distribución de cargas durante la marcha, el salto o la bipedestación. Los sistemas tridimensionales de captura del movimiento y los sensores inerciales complementan esta información mediante el análisis detallado de la cinemática corporal, permitiendo evaluar la calidad del movimiento en contextos clínicos, deportivos y de investigación. La integración de estas tecnologías proporciona una evaluación objetiva y reproducible que facilita el diagnóstico funcional, el seguimiento de los tratamientos y la planificación de programas individualizados de rehabilitación y entrenamiento (Winter, 2009; Hamill et al., 2022).

La incorporación de la robótica, la inteligencia artificial y la ingeniería biomédica ha ampliado significativamente las aplicaciones del control neuromuscular en el ámbito de la salud. Actualmente, los robots de rehabilitación permiten asistir la ejecución repetitiva de movimientos terapéuticos, favoreciendo la recuperación funcional en pacientes con accidentes cerebrovasculares, lesiones medulares y enfermedades neurodegenerativas. Paralelamente, las prótesis inteligentes y los exoesqueletos robóticos utilizan señales electromiográficas y algoritmos de aprendizaje automático para interpretar la intención motora del usuario y generar movimientos cada vez más naturales y coordinados. Estas innovaciones también se aplican en sistemas de interfaces cerebro-computadora, capaces de traducir la actividad eléctrica cerebral en comandos que controlan dispositivos externos. La integración entre neurociencia, biomecánica e inteligencia artificial representa uno de los avances más importantes en la medicina de rehabilitación contemporánea, al ofrecer nuevas oportunidades para restaurar la independencia funcional y mejorar la calidad de vida de personas con discapacidad motora (Latash, 2020; Kandel et al., 2021).

La investigación científica continúa ampliando el conocimiento sobre los mecanismos que regulan el control neuromuscular y su influencia sobre el movimiento humano. Los avances en neuroimagen funcional, estimulación cerebral no invasiva, análisis computacional y modelización musculoesquelética han permitido comprender con mayor precisión la interacción entre la actividad cerebral, la función muscular y la biomecánica del movimiento. Estas

investigaciones han evidenciado que el control motor no depende de una única estructura nerviosa, sino de redes neuronales altamente interconectadas que se reorganizan continuamente mediante procesos de plasticidad y aprendizaje. Asimismo, los estudios actuales buscan desarrollar biomarcadores que permitan detectar precozmente alteraciones del control neuromuscular y diseñar estrategias terapéuticas cada vez más personalizadas. En conjunto, estos avances consolidan al control neuromuscular como un campo de investigación interdisciplinario con importantes repercusiones en la medicina, la fisioterapia, las ciencias del deporte y la ingeniería biomédica. Como señalan Bear et al. (2020) y Latash (2020), el futuro de esta disciplina dependerá de la integración entre la investigación básica, la innovación tecnológica y la aplicación clínica basada en evidencia científica.

Las tendencias actuales en el estudio del control neuromuscular están orientadas hacia el desarrollo de sistemas de evaluación cada vez más precisos, portátiles e integrados, capaces de registrar simultáneamente variables neurológicas, biomecánicas y fisiológicas durante el movimiento humano. La incorporación de sensores inerciales, electromiografía inalámbrica, plataformas de fuerza portátiles y dispositivos de monitoreo continuo permite analizar la función neuromuscular en escenarios reales, más allá del entorno controlado de los laboratorios. Estas innovaciones facilitan la evaluación funcional de deportistas, pacientes en rehabilitación y adultos mayores, proporcionando información objetiva para diseñar programas personalizados de entrenamiento y tratamiento. Además, la integración de estas tecnologías con plataformas digitales favorece el seguimiento remoto del progreso funcional y la toma de decisiones clínicas fundamentadas en datos cuantitativos. Según Hamill, Knutzen y Derrick (2022), la aplicación de tecnologías inteligentes representa uno de los principales avances en la evaluación contemporánea del movimiento humano y del control neuromuscular.

La inteligencia artificial y el aprendizaje automático están transformando significativamente la investigación sobre control neuromuscular al permitir el análisis de grandes volúmenes de información obtenidos mediante dispositivos biomédicos. Los algoritmos predictivos son capaces de identificar patrones complejos de activación muscular, anticipar el riesgo de lesiones y estimar la

evolución funcional de pacientes sometidos a procesos de rehabilitación. Asimismo, estas herramientas facilitan la personalización de programas terapéuticos y deportivos al considerar variables individuales como edad, condición física, antecedentes clínicos y características biomecánicas. En el ámbito de la ingeniería biomédica, la inteligencia artificial también participa en el desarrollo de prótesis inteligentes, interfaces cerebro-computadora y exoesqueletos robóticos que responden de manera adaptativa a la intención motora del usuario. Latash (2020) destaca que la combinación entre neurociencia computacional e inteligencia artificial constituye una de las áreas con mayor potencial para mejorar la comprensión y aplicación del control neuromuscular en las próximas décadas.

El envejecimiento poblacional representa uno de los principales desafíos para las ciencias del movimiento humano y ha incrementado el interés por comprender las modificaciones del control neuromuscular asociadas con la edad. El deterioro progresivo de la función sensorial, la disminución de la fuerza muscular, la reducción de la velocidad de conducción nerviosa y la pérdida de unidades motoras afectan significativamente la estabilidad postural y la capacidad para ejecutar movimientos coordinados. Como consecuencia, aumenta el riesgo de caídas, fracturas y pérdida de independencia funcional en la población adulta mayor. La evidencia científica demuestra que programas específicos de entrenamiento neuromuscular, equilibrio, fortalecimiento muscular y ejercicios propioceptivos contribuyen a mejorar el control motor, reducir la incidencia de caídas y preservar la autonomía funcional. En este contexto, el estudio del control neuromuscular adquiere una importancia creciente dentro de las estrategias de promoción de la salud y envejecimiento saludable (Shumway-Cook & Woollacott, 2017; Kandel et al., 2021).

El futuro del control neuromuscular dependerá de la consolidación de enfoques interdisciplinarios que integren conocimientos provenientes de la neurociencia, la fisiología, la biomecánica, la ingeniería biomédica, la informática y las ciencias del ejercicio. Esta integración permitirá desarrollar modelos predictivos más precisos sobre el comportamiento del sistema nervioso y muscular durante diferentes actividades funcionales, facilitando intervenciones terapéuticas y preventivas altamente individualizadas. Asimismo, la expansión de tecnologías

ISBN
978-9942-595-19-5

como la realidad virtual, la realidad aumentada, la robótica asistencial y la estimulación cerebral no invasiva ofrecerá nuevas posibilidades para optimizar el aprendizaje motor y acelerar los procesos de rehabilitación neurológica y musculoesquelética. Estos avances contribuirán a fortalecer la medicina personalizada y la rehabilitación basada en evidencia, ampliando las oportunidades para mejorar la calidad de vida de personas con diferentes condiciones de salud. De acuerdo con Bear, Connors y Paradiso (2020), la integración entre neurociencia y tecnología representa uno de los principales motores del desarrollo futuro de las ciencias del movimiento humano.

El control neuromuscular constituye un proceso fisiológico complejo que permite integrar la información sensorial con la actividad motora para producir movimientos coordinados, eficientes y adaptativos. La participación conjunta de la corteza cerebral, los ganglios basales, el cerebelo, la médula espinal y el sistema nervioso periférico garantiza la regulación precisa de la actividad muscular durante acciones voluntarias e involuntarias. Asimismo, mecanismos como la propiocepción, los reflejos, el reclutamiento de unidades motoras y la plasticidad neuronal desempeñan funciones esenciales en el mantenimiento del equilibrio, la coordinación, el aprendizaje motor y la adaptación funcional. Los avances científicos han demostrado que el entrenamiento neuromuscular mejora significativamente el rendimiento físico, favorece la recuperación funcional y disminuye el riesgo de lesiones, consolidando esta disciplina como un componente esencial de la fisioterapia, la medicina deportiva y las ciencias del ejercicio.

En conclusión, el estudio del control neuromuscular y del movimiento humano constituye una herramienta indispensable para comprender la interacción entre el sistema nervioso y el sistema musculoesquelético desde una perspectiva científica e interdisciplinaria. La incorporación de tecnologías avanzadas, modelos computacionales e inteligencia artificial continúa ampliando las posibilidades diagnósticas, terapéuticas y preventivas en múltiples áreas de la salud y el deporte. De igual manera, el fortalecimiento de la investigación permitirá desarrollar intervenciones cada vez más precisas y personalizadas para optimizar la función motora, promover la independencia funcional y mejorar la calidad de vida de personas de todas las edades. En consecuencia, el control

neuromuscular continuará consolidándose como uno de los pilares fundamentales para el estudio del movimiento humano y para el desarrollo de estrategias innovadoras en rehabilitación, rendimiento deportivo y medicina basada en evidencia.

ISBN
978-9942-595-19-5



doi.org/10.33262/cde.63



CAPITULO V
FUNDAMENTOS DE LA EVALUACIÓN FÍSICA FUNCIONAL

ISBN
978-9942-595-19-5

La evaluación física funcional constituye uno de los pilares fundamentales de las ciencias de la salud, especialmente en disciplinas como la fisioterapia, la medicina del deporte, la rehabilitación, la educación física y las ciencias del ejercicio. Su propósito principal consiste en identificar el nivel de funcionamiento del individuo mediante un proceso sistemático que integra la observación clínica, la valoración biomecánica, el análisis del movimiento y la medición objetiva de variables relacionadas con la capacidad física. A diferencia de una evaluación centrada exclusivamente en el diagnóstico anatómico o estructural, la evaluación funcional busca comprender cómo las alteraciones del sistema musculoesquelético, neurológico, cardiovascular y respiratorio repercuten sobre la ejecución de las actividades cotidianas, laborales, recreativas y deportivas. Este enfoque permite reconocer que una misma lesión puede generar diferentes niveles de discapacidad dependiendo de factores individuales, ambientales y psicosociales, por lo que la valoración debe contemplar una visión integral del paciente. Además, la evaluación física funcional constituye la base para la planificación del tratamiento, el establecimiento de objetivos terapéuticos, el seguimiento de la evolución clínica y la toma de decisiones fundamentadas en evidencia científica (American Physical Therapy Association [APTA], 2023; Kisner, Colby & Borstad, 2022).

El desarrollo de la evaluación física funcional ha evolucionado significativamente durante las últimas décadas como consecuencia del avance de las ciencias biomédicas y del creciente reconocimiento del movimiento humano como un indicador esencial del estado de salud. En sus inicios, las evaluaciones se limitaban a describir signos clínicos y alteraciones estructurales observables; sin embargo, con el progreso de la biomecánica, la neurofisiología y la fisiología del ejercicio surgieron procedimientos más precisos para cuantificar la capacidad funcional. La incorporación de pruebas estandarizadas, escalas validadas, análisis cinemáticos, plataformas de fuerza, dinamometría, electromiografía y sistemas computarizados de captura del movimiento permitió obtener información objetiva sobre el desempeño físico de los individuos. Paralelamente, la publicación de la Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud (CIF) promovida por la Organización Mundial de la Salud transformó la comprensión del proceso evaluativo al enfatizar que la salud

debe analizarse considerando la interacción entre funciones corporales, actividades, participación y contexto ambiental, superando el modelo exclusivamente biomédico (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2001; Neumann, 2017).

Desde una perspectiva conceptual, la evaluación física funcional puede definirse como el proceso científico mediante el cual se identifican, cuantifican e interpretan las capacidades físicas y funcionales de una persona con el propósito de determinar su nivel de desempeño y establecer estrategias de intervención apropiadas. Este proceso integra la recopilación de información subjetiva mediante la entrevista clínica, la inspección física, la palpación, las mediciones antropométricas, la valoración articular, muscular, neurológica y cardiorrespiratoria, así como la aplicación de pruebas específicas relacionadas con el equilibrio, la coordinación, la marcha, la resistencia, la fuerza, la flexibilidad y la capacidad funcional global. La evaluación no constituye un evento aislado, sino un procedimiento continuo que acompaña todas las etapas del proceso terapéutico y permite verificar la eficacia de las intervenciones implementadas. Asimismo, proporciona indicadores cuantitativos y cualitativos indispensables para establecer pronósticos clínicos y modificar oportunamente los programas de rehabilitación cuando la evolución del paciente así lo requiere (Magee, 2021; Hall & Brody, 2019).

La calidad de una evaluación física funcional depende del cumplimiento de principios científicos que garantizan la confiabilidad y validez de los resultados obtenidos. Entre estos principios destacan la objetividad, la estandarización, la reproducibilidad, la sensibilidad y la especificidad de las pruebas empleadas. La objetividad implica minimizar la influencia del evaluador mediante protocolos claramente definidos; la estandarización asegura que todos los procedimientos se desarrollen bajo condiciones similares; la reproducibilidad permite obtener resultados consistentes cuando la evaluación es repetida por diferentes examinadores o en distintos momentos; la sensibilidad facilita detectar cambios pequeños pero clínicamente relevantes durante la evolución del paciente; mientras que la especificidad permite identificar con precisión la presencia o ausencia de una determinada alteración funcional. Estos principios constituyen la base metodológica de la práctica clínica basada en evidencia, ya que

favorecen la comparación entre estudios científicos y permiten interpretar adecuadamente la eficacia de los programas de intervención física y rehabilitación (Portney & Watkins, 2020; Domholdt, 2020).

El movimiento humano representa la principal manifestación externa del funcionamiento integrado de los sistemas musculoesquelético, nervioso, cardiovascular, respiratorio y metabólico. Por esta razón, la evaluación física funcional considera el análisis del movimiento como uno de sus componentes centrales. La observación de patrones motores durante actividades como caminar, levantarse de una silla, subir escaleras, correr, lanzar objetos o mantener el equilibrio proporciona información relevante acerca de la coordinación neuromuscular, la estabilidad articular, el control postural, la movilidad segmentaria y la eficiencia biomecánica. Las alteraciones identificadas en estos movimientos frecuentemente reflejan déficits que no pueden detectarse únicamente mediante pruebas aisladas de fuerza o amplitud de movimiento. En consecuencia, la evaluación funcional integra múltiples dimensiones del desempeño motor para comprender cómo interactúan los diferentes sistemas fisiológicos durante la realización de tareas reales, permitiendo diseñar intervenciones individualizadas orientadas a restaurar la funcionalidad y prevenir futuras lesiones (Shumway-Cook & Woollacott, 2017; Neumann, 2017).

En la actualidad, la evaluación física funcional constituye una herramienta indispensable en múltiples escenarios asistenciales, deportivos y comunitarios. En fisioterapia orienta el diseño de programas de rehabilitación personalizados; en medicina deportiva facilita la identificación de factores de riesgo asociados con lesiones; en geriatría permite valorar la pérdida de independencia funcional relacionada con el envejecimiento; en neurología cuantifica las limitaciones derivadas de enfermedades del sistema nervioso; mientras que en el ámbito ocupacional contribuye a determinar la capacidad laboral y prevenir trastornos musculoesqueléticos relacionados con el trabajo. Además, la evaluación funcional posee un papel relevante en la promoción de la salud, ya que permite detectar tempranamente disminuciones del rendimiento físico antes de que aparezcan manifestaciones clínicas importantes. Este enfoque preventivo favorece la implementación de estrategias dirigidas a mejorar la condición física, optimizar la calidad del movimiento y reducir el riesgo de discapacidad futura. La

integración de conocimientos provenientes de la anatomía, fisiología, biomecánica, neurociencia y ciencias del ejercicio convierte a la evaluación física funcional en un proceso multidimensional que responde a las necesidades actuales de una atención centrada en la persona y basada en evidencia científica (American College of Sports Medicine [ACSM], 2022; APTA, 2023).

La evaluación física funcional comprende un conjunto de componentes organizados de manera sistemática que permiten obtener una visión integral del estado funcional del individuo. Estos componentes incluyen la anamnesis, la inspección clínica, la palpación, la evaluación de la postura, la valoración de la movilidad articular, la medición de la fuerza muscular, el análisis del equilibrio, la coordinación, la marcha, la capacidad cardiorrespiratoria y la ejecución de pruebas funcionales específicas. Cada uno aporta información complementaria que, al integrarse, permite comprender la interacción entre las funciones corporales y las actividades que realiza la persona en su entorno habitual. La evaluación no debe limitarse a identificar déficits físicos aislados, sino que debe interpretar cómo dichos déficits afectan la capacidad para desempeñar actividades de la vida diaria, tareas laborales o deportivas. Asimismo, la selección de los procedimientos evaluativos debe responder a las características clínicas del paciente, considerando factores como la edad, el sexo, el nivel de actividad física, las comorbilidades, el contexto sociocultural y los objetivos terapéuticos. Una valoración estructurada y completa favorece la elaboración de un diagnóstico funcional preciso, elemento indispensable para planificar intervenciones individualizadas y fundamentadas en evidencia científica (Magee, 2021; Kisner, Colby & Borstad, 2022).

La anamnesis representa la primera etapa de la evaluación física funcional y constituye una fuente esencial de información para comprender la condición clínica del paciente antes de iniciar cualquier exploración física. Durante esta fase se recopilan datos relacionados con el motivo de consulta, los antecedentes personales y familiares, enfermedades previas, intervenciones quirúrgicas, tratamientos farmacológicos, hábitos de vida, nivel de actividad física, ocupación, mecanismos de lesión, evolución de los síntomas y limitaciones funcionales percibidas por el propio individuo. Además de aportar información médica relevante, la anamnesis permite establecer una relación terapéutica basada en

la comunicación, la confianza y la escucha activa, aspectos fundamentales para lograr una adecuada adherencia al tratamiento. En el enfoque contemporáneo, esta entrevista incorpora también la percepción del paciente sobre su calidad de vida, sus expectativas, objetivos personales y barreras para la recuperación, integrando así el modelo biopsicosocial propuesto por la Organización Mundial de la Salud. Diversos estudios han demostrado que una anamnesis bien estructurada puede orientar significativamente el diagnóstico funcional y reducir la necesidad de procedimientos complementarios innecesarios, favoreciendo decisiones clínicas más precisas y eficientes (OMS, 2001; Hall & Brody, 2019).

La inspección clínica constituye la primera aproximación objetiva al estado físico del paciente y permite identificar alteraciones visibles que orientan el proceso de evaluación funcional. Esta fase comprende la observación sistemática de la postura, la simetría corporal, la alineación de los segmentos, la presencia de deformidades, edema, cambios de coloración, cicatrices, atrofias musculares, hipertrofias, alteraciones cutáneas y patrones de movimiento espontáneo. La observación debe realizarse tanto en posición estática como durante la ejecución de movimientos funcionales, ya que muchas alteraciones biomecánicas solo se manifiestan durante la actividad. El evaluador analiza además la expresión facial, el comportamiento motor, la velocidad de los desplazamientos, la utilización de ayudas técnicas y las estrategias compensatorias empleadas para realizar tareas específicas. Esta información inicial orienta la selección de pruebas complementarias y permite formular hipótesis clínicas que posteriormente serán confirmadas mediante procedimientos más específicos. La experiencia del profesional resulta determinante para interpretar adecuadamente los hallazgos observacionales, aunque el uso de registros fotográficos, videográficos y sistemas digitales de análisis del movimiento ha incrementado notablemente la objetividad de esta etapa del proceso evaluativo (Neumann, 2017; Magee, 2021).

La evaluación postural constituye uno de los procedimientos más importantes dentro de la valoración física funcional debido a que la postura refleja la interacción dinámica entre los sistemas musculoesquelético, neurológico y sensorial. Una postura adecuada permite distribuir eficientemente las cargas mecánicas sobre las diferentes estructuras corporales, optimizando el gasto energético y disminuyendo el riesgo de lesiones. Durante la valoración se

analizan las curvaturas fisiológicas de la columna vertebral, la posición de la cabeza, la alineación de hombros, pelvis, rodillas y pies, así como la simetría entre ambos hemicuerpos. Las desviaciones posturales, como la hipercifosis, hiperlordosis, escoliosis funcional, genu valgo, genu varo o pronación excesiva del pie, pueden alterar significativamente los patrones de movimiento y predisponer a la aparición de dolor musculoesquelético. Sin embargo, la interpretación clínica de estas alteraciones debe realizarse con cautela, ya que no toda desviación anatómica implica necesariamente una limitación funcional o una condición patológica. En este sentido, la evaluación contemporánea reconoce que la postura debe analizarse en relación con la capacidad funcional del individuo y no únicamente desde parámetros estéticos o estructurales (Kendall, McCreary, Provance, Rodgers & Romani, 2005; Neumann, 2017).

La movilidad articular representa la capacidad que poseen las articulaciones para desplazarse dentro de un rango de movimiento fisiológico determinado por factores anatómicos, neuromusculares y biomecánicos. Su valoración constituye un componente esencial de la evaluación física funcional porque permite identificar restricciones que afectan el desempeño motor y la ejecución de actividades cotidianas. La medición del rango de movimiento puede realizarse de forma activa, cuando el paciente moviliza voluntariamente el segmento corporal, o pasiva, cuando el movimiento es realizado por el evaluador sin participación muscular del individuo. Para obtener mediciones objetivas se utilizan instrumentos como el goniómetro universal, el inclinómetro digital y aplicaciones tecnológicas validadas que incrementan la precisión de los registros. Paralelamente, la evaluación de la flexibilidad muscular permite determinar el grado de extensibilidad de músculos, tendones y tejidos conectivos, identificando acortamientos que modifican la mecánica del movimiento. La combinación de ambas mediciones proporciona información indispensable para establecer programas de estiramiento, fortalecimiento y reeducación funcional orientados a recuperar la movilidad y prevenir futuras limitaciones (Norkin & White, 2016; Reese & Bandy, 2017).

La valoración de la fuerza muscular constituye uno de los procedimientos de mayor relevancia dentro de la evaluación física funcional debido a que la capacidad para generar fuerza determina, en gran medida, la ejecución eficiente

del movimiento humano. La evaluación puede realizarse mediante pruebas manuales, dinamometría portátil, dinamometría isocinética o plataformas instrumentadas, dependiendo de los recursos disponibles y de los objetivos clínicos. El examen manual de la fuerza muscular continúa siendo ampliamente utilizado en la práctica clínica por su facilidad de aplicación y por permitir clasificar el rendimiento muscular utilizando escalas estandarizadas como la de Daniels y Worthingham. No obstante, los métodos instrumentales ofrecen mayor precisión para detectar cambios pequeños durante los procesos de rehabilitación o entrenamiento. La interpretación de la fuerza muscular no debe limitarse al valor máximo obtenido, sino que debe considerar aspectos relacionados con la resistencia muscular, la coordinación intermuscular, el control neuromotor y la capacidad para producir fuerza durante movimientos funcionales específicos. En consecuencia, la valoración de la fuerza se integra con otras pruebas funcionales para comprender de manera más completa el desempeño físico del individuo y establecer intervenciones terapéuticas acordes con sus necesidades particulares (Hislop, Avers & Brown, 2022; ACSM, 2022).

El equilibrio constituye una capacidad motora fundamental que permite mantener el centro de masa corporal dentro de la base de sustentación durante posiciones estáticas y dinámicas. Su adecuado funcionamiento depende de la integración coordinada de los sistemas vestibular, visual y somatosensorial, además de la respuesta eficiente del sistema neuromuscular. Durante la evaluación física funcional, el análisis del equilibrio proporciona información valiosa sobre la estabilidad postural, la capacidad de reacción ante perturbaciones externas y el riesgo potencial de caídas, especialmente en adultos mayores y pacientes con enfermedades neurológicas o musculoesqueléticas. Las pruebas clínicas más utilizadas incluyen el **Romberg**, el **Romberg sensibilizado**, el **Single Leg Stance Test**, el **Functional Reach Test**, la **Berg Balance Scale** y el **Y Balance Test**, cada una orientada a valorar diferentes dimensiones del control postural. Estas herramientas permiten identificar déficits que pueden comprometer la independencia funcional y orientar programas de intervención centrados en el entrenamiento del equilibrio, la propiocepción y la estabilidad dinámica. Diversas investigaciones han demostrado que la mejora del equilibrio reduce significativamente la incidencia de caídas, optimiza la movilidad y favorece la

participación activa del individuo en las actividades de la vida diaria, convirtiéndose en un indicador relevante del estado funcional y del pronóstico rehabilitador (Shumway-Cook & Woollacott, 2017; Berg et al., 1992).

La coordinación motora representa la capacidad del sistema nervioso para organizar de manera eficiente la activación muscular durante la ejecución de movimientos voluntarios. Este proceso implica la sincronización temporal y espacial de múltiples grupos musculares con el fin de producir movimientos precisos, fluidos y adaptados a las demandas del entorno. Dentro de la evaluación física funcional, el análisis de la coordinación permite identificar alteraciones derivadas de lesiones neurológicas, trastornos vestibulares, enfermedades degenerativas o deficiencias en el aprendizaje motor. El examinador puede utilizar pruebas como el dedo-nariz, talón-rodilla, movimientos alternantes rápidos, pruebas de seguimiento visual y actividades funcionales complejas que requieren coordinación intersegmentaria. Además de evaluar la precisión del movimiento, resulta importante analizar la velocidad de ejecución, la presencia de temblores, dismetría, asinergias, movimientos compensatorios y la capacidad para modificar patrones motores frente a estímulos cambiantes. Desde la perspectiva de la neuroplasticidad, la evaluación de la coordinación también permite monitorizar la recuperación funcional tras procesos de rehabilitación, facilitando la adaptación progresiva de los ejercicios terapéuticos de acuerdo con la evolución del paciente. En consecuencia, la coordinación constituye un indicador esencial de la eficiencia del control motor y del funcionamiento integrado del sistema nervioso central y periférico (Kandel et al., 2021; Shumway-Cook & Woollacott, 2017).

La marcha constituye una de las actividades funcionales más complejas del ser humano y representa un indicador integral del estado musculoesquelético, neurológico y cardiorrespiratorio. Su evaluación permite identificar alteraciones que afectan la movilidad, la independencia y la participación social del individuo. El análisis de la marcha comprende la observación de variables temporoespaciales como la velocidad, la longitud del paso, la cadencia, el tiempo de apoyo, la simetría, el ancho de la base de sustentación y la coordinación entre los miembros superiores e inferiores. Asimismo, se estudian las diferentes fases del ciclo de la marcha, incluyendo el apoyo inicial, la respuesta a la carga, el

apoyo medio, el apoyo terminal, el prebalanceo y la fase de oscilación. La identificación de patrones patológicos, como la marcha antálgica, espástica, atáxica, hemipléjica o parkinsoniana, proporciona información relevante para el diagnóstico funcional y la planificación del tratamiento. Actualmente, el análisis clínico puede complementarse mediante plataformas instrumentadas, sensores inerciales, sistemas optoelectrónicos y software especializado que permiten cuantificar con alta precisión las variables cinemáticas y cinéticas del movimiento. La integración de estas tecnologías incrementa la objetividad de la evaluación y facilita el seguimiento de los cambios funcionales durante los procesos de rehabilitación (Perry & Burnfield, 2010; Neumann, 2017).

La capacidad cardiorrespiratoria constituye un componente esencial de la condición física relacionada con la salud y refleja la eficiencia con la que los sistemas cardiovascular y respiratorio suministran oxígeno a los músculos durante la actividad física. En el contexto de la evaluación funcional, esta capacidad adquiere especial importancia debido a que condiciona la posibilidad de realizar actividades prolongadas sin experimentar fatiga excesiva. La valoración puede efectuarse mediante pruebas máximas o submáximas, dependiendo de las características clínicas del paciente y de los recursos disponibles. Entre las pruebas funcionales más utilizadas destacan la **prueba de caminata de seis minutos (6MWT)**, la **prueba de caminata incremental (ISWT)**, el **Step Test**, la medición del consumo máximo de oxígeno (VO_2máx) y diversas pruebas ergométricas adaptadas a poblaciones específicas. Durante estas evaluaciones también se monitorizan variables fisiológicas como la frecuencia cardíaca, la presión arterial, la saturación de oxígeno, la percepción subjetiva del esfuerzo y el tiempo de recuperación. Estos indicadores permiten estimar la tolerancia al ejercicio, establecer niveles seguros de entrenamiento y evaluar la eficacia de programas de rehabilitación cardiopulmonar, deportiva y geriátrica. Además, la capacidad cardiorrespiratoria se reconoce actualmente como uno de los mejores predictores de morbimortalidad y calidad de vida en diferentes poblaciones (ACSM, 2022; ATS Committee on Proficiency Standards for Clinical Pulmonary Function Laboratories, 2002).

Las pruebas funcionales estandarizadas constituyen herramientas fundamentales para cuantificar objetivamente la capacidad del individuo para

ejecutar tareas relacionadas con la vida diaria. Su principal ventaja radica en que evalúan el desempeño mediante actividades que reproducen situaciones funcionales reales, facilitando la interpretación clínica de los resultados. Entre las pruebas de mayor utilización se encuentran el **Timed Up and Go (TUG)**, el **Five Times Sit-to-Stand Test (5xSTS)**, el **30-Second Chair Stand Test**, el **Short Physical Performance Battery (SPPB)**, el **Functional Movement Screen (FMS)** y la **Escala de Equilibrio de Berg**. Estas pruebas permiten valorar aspectos como la movilidad, la velocidad de desplazamiento, la fuerza de los miembros inferiores, el equilibrio dinámico, la coordinación y la capacidad para realizar transferencias funcionales. Asimismo, presentan adecuados niveles de confiabilidad, validez y sensibilidad para detectar cambios clínicamente significativos durante el seguimiento terapéutico. La selección de la prueba más apropiada depende del objetivo de la evaluación, la condición clínica del paciente y el contexto en el que se desarrolla la valoración. La utilización de protocolos estandarizados garantiza la comparabilidad de los resultados entre diferentes evaluadores e instituciones, fortaleciendo la práctica clínica basada en evidencia (Podsiadlo & Richardson, 1991; Guralnik et al., 1994).

El desarrollo tecnológico ha transformado profundamente la evaluación física funcional al incorporar herramientas capaces de medir con alta precisión variables biomecánicas, fisiológicas y neuromotoras que anteriormente solo podían estimarse mediante observación clínica. Actualmente, la utilización de dinamómetros digitales, plataformas de fuerza, sistemas tridimensionales de captura del movimiento, electromiografía de superficie, acelerómetros, sensores inerciales, dispositivos portátiles (*wearables*) y aplicaciones móviles permite registrar información objetiva sobre la fuerza muscular, el equilibrio, la marcha, la actividad física y la calidad del movimiento en diferentes contextos clínicos y deportivos. Paralelamente, la inteligencia artificial y el aprendizaje automático han comenzado a utilizarse para analizar grandes volúmenes de datos funcionales, identificar patrones de riesgo y predecir la evolución clínica de diversas patologías. Estas innovaciones favorecen una evaluación más precisa, reproducible y personalizada, además de facilitar el seguimiento remoto mediante programas de tele-rehabilitación y monitoreo domiciliario. No obstante, la incorporación de tecnologías avanzadas no sustituye el juicio clínico del

profesional, sino que actúa como un complemento que fortalece la toma de decisiones basada en evidencia. La combinación entre experiencia clínica, evaluación funcional estandarizada y herramientas tecnológicas representa actualmente uno de los principales avances en la atención moderna centrada en el paciente (Reiman & Manske, 2018; APTA, 2023).

La interpretación de los resultados constituye una de las etapas más relevantes dentro del proceso de evaluación física funcional, ya que transforma los datos obtenidos durante la exploración clínica en información útil para la toma de decisiones. Esta fase requiere integrar los hallazgos provenientes de la anamnesis, la observación, las mediciones antropométricas, la valoración musculoesquelética, las pruebas funcionales y los instrumentos de medición objetiva, evitando analizar cada resultado de manera aislada. El profesional debe identificar relaciones entre los diferentes componentes evaluados para comprender cómo las alteraciones estructurales y fisiológicas repercuten sobre la capacidad funcional del individuo. Además, la interpretación debe considerar factores como la edad, el sexo, el nivel de actividad física, las enfermedades asociadas, las demandas ocupacionales y deportivas, así como el contexto social y ambiental en el que se desenvuelve la persona. La comparación con valores normativos y con evaluaciones previas permite determinar la magnitud del déficit funcional, establecer un pronóstico y monitorizar la respuesta a las intervenciones terapéuticas. Este proceso exige un razonamiento clínico fundamentado en la evidencia científica y en la experiencia profesional, con el propósito de formular conclusiones objetivas que orienten la planificación del tratamiento y la educación del paciente (Portney & Watkins, 2020; Magee, 2021).

El diagnóstico funcional representa la síntesis clínica derivada de la evaluación física funcional y se diferencia del diagnóstico médico porque centra su atención en las limitaciones del movimiento, las restricciones para realizar actividades y las dificultades de participación que experimenta el individuo en su entorno cotidiano. Mientras el diagnóstico médico identifica la enfermedad o lesión responsable de la alteración, el diagnóstico funcional describe cómo dicha condición afecta el desempeño físico y la independencia del paciente. Este enfoque facilita la formulación de objetivos terapéuticos específicos, medibles, alcanzables, relevantes y delimitados en el tiempo, siguiendo el modelo SMART

ampliamente utilizado en rehabilitación. Dichos objetivos pueden orientarse a disminuir el dolor, mejorar la movilidad articular, incrementar la fuerza muscular, optimizar el equilibrio, restaurar la marcha, aumentar la resistencia física o recuperar la capacidad para desempeñar actividades laborales y deportivas. La definición de metas individualizadas favorece la participación activa del paciente en su proceso de recuperación y permite evaluar objetivamente los avances alcanzados mediante reevaluaciones periódicas. En este contexto, el diagnóstico funcional constituye un elemento dinámico que puede modificarse conforme evolucionan las condiciones clínicas y funcionales del individuo, garantizando la adaptación continua del plan terapéutico (APTA, 2023; Kisner, Colby & Borstad, 2022).

La planificación de la intervención terapéutica depende directamente de la calidad y profundidad de la evaluación física funcional realizada previamente. Un proceso evaluativo completo permite seleccionar estrategias de tratamiento ajustadas a las necesidades específicas del paciente, evitando intervenciones generalizadas que podrían resultar poco efectivas. En esta etapa, el profesional establece prioridades de intervención considerando la gravedad de las limitaciones funcionales, el riesgo de complicaciones, las expectativas del paciente y los recursos disponibles. Los programas pueden incluir ejercicios terapéuticos, fortalecimiento muscular, entrenamiento de la resistencia, reeducación de la marcha, ejercicios de equilibrio, flexibilización, control motor, entrenamiento propioceptivo, terapia manual, educación para el autocuidado y programas preventivos dirigidos a disminuir el riesgo de recaídas. La planificación también contempla la frecuencia, intensidad, duración y progresión de las intervenciones, respetando los principios de individualización, especificidad, sobrecarga progresiva y recuperación. Asimismo, resulta fundamental establecer indicadores objetivos que permitan valorar la eficacia del tratamiento mediante reevaluaciones periódicas, promoviendo un proceso continuo de ajuste terapéutico sustentado en la respuesta funcional del paciente y en los principios de la práctica clínica basada en evidencia (ACSM, 2022; Hall & Brody, 2019).

La aplicación de la evaluación física funcional requiere adaptaciones específicas cuando se realiza en poblaciones con características particulares, debido a que

las capacidades físicas, los riesgos clínicos y los objetivos terapéuticos varían considerablemente entre grupos de edad y condiciones de salud. En la población pediátrica, la evaluación debe considerar el crecimiento, el desarrollo motor y la adquisición progresiva de habilidades funcionales, utilizando instrumentos validados para cada etapa evolutiva. En los adultos mayores, el énfasis se dirige hacia la prevención de caídas, el mantenimiento de la independencia y la detección precoz de la fragilidad, incorporando pruebas de movilidad, equilibrio y fuerza de miembros inferiores. En deportistas, la evaluación funcional busca optimizar el rendimiento, identificar factores de riesgo de lesión y controlar el proceso de retorno seguro a la práctica deportiva tras una lesión. Asimismo, en personas con enfermedades neurológicas, cardiovasculares, respiratorias o reumatológicas, las pruebas deben adaptarse a las limitaciones clínicas individuales, garantizando la seguridad durante el procedimiento. La personalización de la evaluación permite obtener resultados válidos y clínicamente relevantes, favoreciendo intervenciones acordes con las necesidades específicas de cada población (American Geriatrics Society, 2022; ACSM, 2022).

La incorporación de la práctica basada en evidencia ha transformado profundamente la forma en que se desarrollan los procesos de evaluación física funcional. Este enfoque propone que las decisiones clínicas deben fundamentarse en la integración equilibrada de la mejor evidencia científica disponible, la experiencia del profesional y las preferencias, valores y expectativas del paciente. En consecuencia, la selección de pruebas funcionales debe sustentarse en investigaciones que demuestren adecuados niveles de confiabilidad, validez, sensibilidad y utilidad clínica. Paralelamente, la actualización permanente del conocimiento permite incorporar nuevos instrumentos de evaluación desarrollados a partir de avances en biomecánica, neurociencia, fisiología del ejercicio y tecnología aplicada al movimiento humano. La utilización de guías de práctica clínica, revisiones sistemáticas y metaanálisis fortalece el proceso de razonamiento clínico y favorece la implementación de intervenciones más eficaces. Además, la práctica basada en evidencia promueve la evaluación continua de los resultados obtenidos, facilitando la mejora de la calidad asistencial y la optimización de los recursos sanitarios. De

esta manera, la evaluación física funcional deja de ser un procedimiento exclusivamente descriptivo para convertirse en una herramienta estratégica orientada a la toma de decisiones clínicas fundamentadas científicamente (Sackett et al., 1996; Portney & Watkins, 2020).

La evaluación física funcional debe desarrollarse respetando rigurosamente los principios éticos que orientan el ejercicio de las profesiones de la salud. El respeto por la autonomía del paciente implica proporcionar información clara acerca de los procedimientos que serán realizados, obtener el consentimiento informado y garantizar el derecho a formular preguntas o rechazar determinadas pruebas cuando existan motivos justificados. Asimismo, los principios de beneficencia y no maleficencia obligan al profesional a seleccionar procedimientos seguros, evitando intervenciones que puedan incrementar el riesgo de lesión, dolor o complicaciones clínicas. La confidencialidad de la información obtenida durante la evaluación constituye otro aspecto fundamental, ya que los datos funcionales forman parte de la historia clínica y deben protegerse conforme a la legislación vigente y a los códigos deontológicos de cada profesión. Desde el punto de vista profesional, resulta indispensable mantener la competencia técnica mediante procesos continuos de educación, capacitación y actualización científica que permitan aplicar procedimientos evaluativos acordes con los avances del conocimiento. Finalmente, la ética profesional también exige actuar con objetividad, imparcialidad y respeto por la diversidad cultural, promoviendo una atención centrada en la persona y orientada a mejorar su calidad de vida mediante intervenciones basadas en evidencia científica y principios humanísticos (World Medical Association, 2013; APTA, 2023).

La evaluación física funcional constituye un proceso científico indispensable para comprender el estado de salud y el nivel de desempeño de un individuo desde una perspectiva integral. Su importancia radica en que trasciende la identificación de alteraciones estructurales, permitiendo analizar cómo estas repercuten sobre la ejecución de actividades y la participación en los diferentes contextos de la vida cotidiana. A través de la integración de la anamnesis, la observación clínica, la valoración musculoesquelética, las pruebas funcionales estandarizadas y las tecnologías de medición objetiva, el profesional obtiene

información confiable que orienta el diagnóstico funcional, la planificación terapéutica y el seguimiento de la evolución del paciente.

El desarrollo de modelos contemporáneos, como la Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud (CIF), ha fortalecido el enfoque biopsicosocial de la evaluación, reconociendo la interacción entre funciones corporales, factores personales y condiciones ambientales. Asimismo, la incorporación de herramientas tecnológicas, el uso de instrumentos validados y la aplicación de principios de práctica basada en evidencia han incrementado la precisión, confiabilidad y utilidad clínica de los procesos evaluativos en fisioterapia, medicina deportiva, rehabilitación y ciencias del ejercicio.

Finalmente, una evaluación física funcional rigurosa, ética y científicamente fundamentada constituye la base para diseñar intervenciones individualizadas orientadas a mejorar la movilidad, prevenir discapacidades, optimizar el rendimiento físico y favorecer la calidad de vida. La actualización permanente de los profesionales y la integración de los avances científicos continuarán fortaleciendo esta área del conocimiento, consolidándola como uno de los pilares esenciales de la atención en salud centrada en la persona.

CAPITULO VI
OBSERVACIÓN Y EVALUACIÓN POSTURAL

La observación y evaluación postural constituyen componentes esenciales del examen físico en fisioterapia, medicina del deporte, rehabilitación y ciencias de la actividad física, ya que permiten identificar alteraciones en la alineación corporal que pueden influir sobre la eficiencia del movimiento, el rendimiento físico y la aparición de trastornos musculoesqueléticos. En los últimos años, el desarrollo de modelos biomecánicos, herramientas tecnológicas y métodos de valoración estandarizados ha fortalecido la objetividad de la evaluación postural y su utilidad clínica. El propósito de esta revisión narrativa es analizar la evidencia científica disponible sobre los fundamentos de la alineación corporal, las alteraciones posturales más frecuentes, los principales instrumentos utilizados para su evaluación, los criterios de interpretación clínica y sus aplicaciones en los ámbitos educativo y deportivo. Se revisan conceptos relacionados con la biomecánica del control postural, la influencia de los sistemas musculoesquelético y neurosensorial en el mantenimiento de la postura, así como las ventajas y limitaciones de los métodos observacionales e instrumentales empleados actualmente. La evidencia consultada indica que la evaluación postural debe interpretarse desde un enfoque funcional y biopsicosocial, evitando asociar automáticamente las desviaciones anatómicas con la presencia de dolor o discapacidad. Asimismo, se destaca la importancia de integrar la observación postural con otras pruebas funcionales para mejorar la precisión diagnóstica y orientar intervenciones preventivas, educativas y terapéuticas sustentadas en evidencia científica (Neumann, 2017; American Physical Therapy Association [APTA], 2023).

La postura humana representa el resultado de una interacción compleja entre los sistemas musculoesquelético, neurológico, vestibular y sensorial, cuyo propósito principal es mantener el equilibrio corporal con el menor gasto energético posible durante actividades estáticas y dinámicas. Desde una perspectiva biomecánica, la alineación de los diferentes segmentos corporales influye directamente sobre la distribución de las cargas mecánicas, la estabilidad articular, la eficiencia muscular y la economía del movimiento. Debido a ello, la observación y evaluación postural constituyen procedimientos fundamentales dentro del examen clínico, permitiendo identificar patrones de movimiento, compensaciones y posibles factores asociados con el desarrollo de trastornos

musculoesqueléticos. Sin embargo, la evidencia científica contemporánea ha demostrado que muchas alteraciones posturales consideradas tradicionalmente como "anormales" pueden encontrarse en individuos completamente asintomáticos, lo que ha impulsado un cambio conceptual desde modelos estructuralistas hacia enfoques centrados en la función y el comportamiento motor (Claus et al., 2016; Lederman, 2011).

La importancia de la evaluación postural trasciende el ámbito clínico y se extiende hacia la educación, la ergonomía, la actividad física y el deporte. En el contexto escolar, la observación de la postura facilita la detección temprana de alteraciones relacionadas con el crecimiento y el desarrollo, permitiendo implementar estrategias preventivas orientadas a mejorar los hábitos posturales. En el deporte, el análisis postural contribuye a identificar desequilibrios musculares, restricciones de movilidad y patrones biomecánicos que pueden afectar el rendimiento o incrementar el riesgo de lesiones. De igual forma, en el ámbito laboral, la evaluación postural constituye una herramienta esencial para prevenir trastornos musculoesqueléticos asociados con posturas mantenidas, movimientos repetitivos y sobrecarga mecánica. Estas aplicaciones reflejan la necesidad de comprender la postura como un fenómeno multifactorial, influenciado por variables anatómicas, fisiológicas, psicológicas, ambientales y socioculturales (Kendall et al., 2005; ACSM, 2022).

En la actualidad, el análisis postural combina procedimientos tradicionales de observación clínica con tecnologías avanzadas que incrementan la precisión de las mediciones. Sistemas tridimensionales de captura del movimiento, fotogrametría digital, plataformas estabilométricas, aplicaciones móviles y programas de análisis biomecánico permiten cuantificar objetivamente la alineación corporal y el comportamiento postural durante diferentes actividades funcionales. No obstante, estas herramientas deben interpretarse dentro de un contexto clínico amplio y no como sustitutos del razonamiento profesional. La literatura enfatiza que la integración de datos instrumentales con la historia clínica, el examen físico y la evaluación funcional proporciona una visión más completa del estado del paciente, favoreciendo decisiones clínicas fundamentadas en evidencia científica (Portney & Watkins, 2020; Reiman & Manske, 2018).

La alineación corporal hace referencia a la disposición espacial de los diferentes segmentos del cuerpo con respecto a la línea de gravedad, de manera que las cargas mecánicas se distribuyan eficientemente entre músculos, ligamentos, articulaciones y estructuras óseas. En condiciones ideales, esta organización favorece la estabilidad postural, disminuye el gasto energético necesario para mantener la posición erguida y optimiza la ejecución de los movimientos funcionales. La alineación no constituye una posición completamente rígida, sino un estado dinámico en constante adaptación frente a las demandas del entorno, las variaciones del terreno, la ejecución de tareas motoras y las respuestas sensoriales del organismo. Por esta razón, el concepto moderno de buena postura ha evolucionado desde una perspectiva puramente estática hacia un modelo funcional que reconoce la capacidad del individuo para modificar continuamente su posición corporal sin comprometer la eficiencia del movimiento (Neumann, 2017; Shumway-Cook & Woollacott, 2017).

Desde el punto de vista anatómico, una adecuada alineación corporal depende de la relación armónica entre las curvaturas fisiológicas de la columna vertebral, la posición de la pelvis, la orientación de las extremidades inferiores y la distribución equilibrada del peso corporal sobre la base de sustentación. En el plano sagital, la línea de gravedad debería aproximarse al lóbulo de la oreja, atravesar el acromion, situarse ligeramente anterior a las vértebras lumbares, pasar por detrás del eje de la cadera y de la rótula y finalizar ligeramente por delante del maléolo lateral. Aunque este modelo constituye una referencia ampliamente aceptada en biomecánica clínica, debe interpretarse con flexibilidad debido a la variabilidad anatómica existente entre individuos sanos. Factores como la edad, el sexo, la composición corporal, la práctica deportiva y las adaptaciones funcionales pueden modificar la alineación sin que ello implique necesariamente una condición patológica (Kendall et al., 2005; Magee, 2021).

El mantenimiento de la alineación corporal depende de la interacción coordinada entre los sistemas musculoesquelético y neurosensorial. La información procedente de los receptores propioceptivos, el sistema vestibular y el sistema visual es integrada por el sistema nervioso central para generar respuestas musculares que permiten conservar el equilibrio y controlar la posición del cuerpo frente a perturbaciones internas o externas. Este proceso requiere una activación

precisa de la musculatura estabilizadora profunda y de los músculos responsables del movimiento voluntario, garantizando la estabilidad necesaria para ejecutar tareas funcionales con seguridad y eficiencia. Las alteraciones en cualquiera de estos componentes pueden modificar la estrategia de control postural y favorecer la aparición de compensaciones biomecánicas que incrementen la carga sobre determinadas estructuras anatómicas. En consecuencia, la evaluación de la alineación corporal debe considerar tanto los aspectos estructurales como los mecanismos neuromusculares responsables del control postural (Kandel et al., 2021; Shumway-Cook & Woollacott, 2017).

La alineación corporal constituye uno de los principios fundamentales de la biomecánica y de la evaluación funcional del movimiento, ya que describe la disposición óptima de los diferentes segmentos corporales con respecto a la línea de gravedad. En condiciones ideales, la postura erguida permite que las estructuras óseas soporten la mayor parte de las cargas mecánicas, reduciendo la demanda sobre músculos, ligamentos y cápsulas articulares. Desde una perspectiva biomecánica, una correcta alineación favorece la distribución homogénea de las fuerzas de compresión, tensión y cizallamiento que actúan sobre el organismo durante el mantenimiento de la postura y la ejecución del movimiento. Cuando esta alineación se altera, aumenta el esfuerzo muscular necesario para mantener el equilibrio, incrementándose el gasto energético y el riesgo de desarrollar procesos degenerativos o dolor musculoesquelético (Kendall, McCreary, Provance, Rodgers & Romani, 2005). Asimismo, la alineación corporal depende de la interacción entre factores anatómicos, neuromusculares y ambientales, lo que implica que las adaptaciones posturales pueden modificarse a lo largo del ciclo vital y responder tanto a estímulos fisiológicos como patológicos. Diversos estudios han demostrado que una postura correctamente alineada mejora la eficiencia mecánica, optimiza el rendimiento funcional y disminuye la incidencia de lesiones relacionadas con sobrecargas repetitivas (Neumann, 2017).

La línea de gravedad representa un eje imaginario que atraviesa el centro de masa corporal y cuya posición determina la estabilidad mecánica del individuo. En condiciones normales, esta línea pasa ligeramente por delante del maléolo lateral, atraviesa el centro aproximado de la rodilla, se ubica ligeramente

posterior al eje de la cadera, cruza el cuerpo vertebral lumbar y continúa hacia las vértebras cervicales hasta alcanzar el conducto auditivo externo. Esta disposición minimiza el momento de fuerza generado sobre las articulaciones y permite que los músculos posturales trabajen con un bajo nivel de activación para conservar el equilibrio. No obstante, pequeñas modificaciones en la posición del centro de gravedad pueden incrementar considerablemente las demandas mecánicas sobre determinados grupos musculares, generando compensaciones que, mantenidas en el tiempo, favorecen la aparición de alteraciones posturales. La biomecánica moderna considera que el equilibrio no depende únicamente de factores estructurales, sino también de la integración sensorial entre los sistemas visual, vestibular y somatosensorial, cuya información es procesada por el sistema nervioso central para ajustar continuamente la posición corporal (Shumway-Cook & Woollacott, 2017). En consecuencia, la evaluación de la alineación debe contemplar tanto la disposición anatómica como la eficiencia del control neuromuscular que mantiene la estabilidad.

La columna vertebral constituye el principal eje mecánico del cuerpo humano y desempeña funciones esenciales relacionadas con el soporte del peso corporal, la movilidad y la protección del sistema nervioso central. Su configuración fisiológica comprende curvas normales de lordosis cervical, cifosis torácica, lordosis lumbar y cifosis sacra, cuya alternancia permite distribuir eficientemente las cargas durante las actividades estáticas y dinámicas. Estas curvaturas funcionan como un sistema de amortiguación capaz de absorber impactos y reducir el estrés mecánico sobre los discos intervertebrales y las superficies articulares. La estabilidad vertebral depende del equilibrio entre las estructuras pasivas (huesos, discos, ligamentos), activas (músculos estabilizadores profundos y superficiales) y del control neural que coordina su funcionamiento. Alteraciones mínimas en cualquiera de estos componentes modifican la biomecánica espinal y pueden desencadenar compensaciones en segmentos adyacentes, afectando la postura global del individuo. Según Neumann (2017), la correcta alineación vertebral favorece una distribución uniforme de las cargas compresivas, disminuye la fatiga muscular y optimiza la eficiencia funcional durante actividades laborales, educativas y deportivas.

La pelvis representa el principal punto de transición entre el tronco y las extremidades inferiores, razón por la cual desempeña un papel determinante en la alineación corporal. Su orientación influye directamente sobre la posición de la columna lumbar, la cadera, las rodillas y los pies, condicionando la distribución de cargas en toda la cadena cinética. La inclinación pélvica anterior suele asociarse con un incremento de la lordosis lumbar y acortamiento de la musculatura flexora de la cadera, mientras que la inclinación posterior favorece la rectificación lumbar y limita la movilidad funcional del complejo lumbopélvico. Estos cambios modifican la longitud funcional de múltiples grupos musculares y alteran la eficiencia del movimiento. Desde el punto de vista biomecánico, la pelvis actúa como un centro de transmisión de fuerzas entre el tronco y los miembros inferiores, participando activamente en acciones como la marcha, la carrera, el salto y los cambios de dirección. Una adecuada estabilidad pélvica mejora la coordinación intersegmentaria y reduce la probabilidad de lesiones por sobreuso, especialmente en deportistas sometidos a elevadas demandas mecánicas (Kibler, Press & Sciascia, 2006). Por ello, la evaluación clínica de la postura debe considerar siempre la posición pélvica como uno de los principales indicadores de equilibrio musculoesquelético.

El mantenimiento de una postura adecuada depende del equilibrio dinámico existente entre músculos agonistas, antagonistas, estabilizadores y sinergistas. La teoría de los desequilibrios musculares propuesta por Janda explica que la combinación de músculos hipertónicos y acortados con músculos inhibidos o debilitados produce patrones de movimiento compensatorios que alteran progresivamente la alineación corporal. Dichos desequilibrios afectan especialmente las cadenas musculares que participan en el control postural, como los extensores vertebrales, flexores cervicales profundos, glúteos, abdominales y musculatura estabilizadora escapular. Cuando estas alteraciones persisten, aumentan las fuerzas compresivas sobre las articulaciones, disminuye la eficiencia del movimiento y se incrementa el riesgo de desarrollar dolor crónico. Diversas investigaciones han demostrado que los programas de fortalecimiento del core, entrenamiento propioceptivo y ejercicios de control motor contribuyen significativamente a restaurar la alineación corporal y mejorar la función musculoesquelética (Hodges & Richardson, 1997; Page, Frank &

Lardner, 2010). En consecuencia, la evaluación postural debe complementarse con el análisis del estado funcional de la musculatura estabilizadora para comprender el origen biomecánico de las alteraciones observadas.

La adecuada alineación corporal constituye un determinante esencial del rendimiento físico, la prevención de lesiones y la eficiencia del movimiento humano. En el ámbito deportivo, una postura equilibrada favorece la correcta transmisión de fuerzas a lo largo de la cadena cinética, mejora la coordinación neuromuscular y optimiza la ejecución técnica de gestos específicos como correr, lanzar, saltar o levantar cargas. Por el contrario, las desalineaciones incrementan las compensaciones mecánicas, alteran los patrones motores y elevan el riesgo de lesiones por sobreuso, especialmente en disciplinas que implican movimientos repetitivos o altas exigencias biomecánicas. En el contexto educativo, la identificación temprana de alteraciones en escolares permite implementar programas preventivos orientados a promover hábitos posturales saludables, disminuir la aparición de dolor musculoesquelético y favorecer un adecuado desarrollo físico durante las etapas de crecimiento. Actualmente, la evidencia científica respalda la incorporación de evaluaciones posturales periódicas en instituciones educativas, centros de rehabilitación y programas de entrenamiento deportivo como estrategia para mejorar la salud funcional y optimizar el desempeño motor (American College of Sports Medicine, 2022; Shumway-Cook & Woollacott, 2017). En consecuencia, la alineación corporal debe entenderse como un indicador integral del equilibrio biomecánico y neuromuscular, cuya valoración resulta indispensable dentro de cualquier proceso de evaluación funcional.

Las alteraciones posturales comprenden modificaciones persistentes en la alineación normal de los segmentos corporales que afectan la distribución de las cargas mecánicas y la eficiencia del movimiento humano. Estas desviaciones pueden originarse por factores congénitos, procesos degenerativos, enfermedades neuromusculares, traumatismos, hábitos posturales inadecuados, sedentarismo, sobrecarga ocupacional o práctica deportiva específica. En la actualidad, la literatura científica reconoce que la mayoría de las alteraciones posturales presentan una etiología multifactorial, en la cual interactúan componentes biomecánicos, neurológicos, musculares, psicológicos

y ambientales (Kendall et al., 2005). Durante la infancia y la adolescencia, las etapas de crecimiento acelerado representan períodos críticos para el desarrollo de desviaciones posturales, especialmente cuando se combinan con escasa actividad física, uso prolongado de dispositivos electrónicos y mobiliario escolar inadecuado. En adultos, las exigencias laborales repetitivas, el mantenimiento de posturas estáticas prolongadas y el envejecimiento favorecen la aparición de compensaciones musculoesqueléticas que modifican progresivamente la postura. Desde la perspectiva clínica, la identificación temprana de estas alteraciones permite implementar estrategias preventivas y terapéuticas orientadas a evitar la progresión hacia trastornos funcionales de mayor complejidad (Neumann, 2017).

Entre las alteraciones posturales más frecuentes destacan la hiperlordosis lumbar y la hipercifosis torácica, ambas caracterizadas por modificaciones exageradas de las curvaturas fisiológicas de la columna vertebral. La hiperlordosis lumbar consiste en un incremento de la concavidad lumbar asociado generalmente con inclinación anterior de la pelvis, acortamiento de los flexores de cadera y debilidad de la musculatura abdominal y glútea. Este patrón altera la distribución de cargas sobre las articulaciones intervertebrales, incrementa la presión en las facetas articulares y favorece el desarrollo de lumbalgia mecánica (McGill, 2016). Por su parte, la hipercifosis torácica se caracteriza por un aumento de la convexidad dorsal acompañado de protracción escapular, adelantamiento de la cabeza y acortamiento de la musculatura pectoral. Esta alteración disminuye la movilidad torácica, compromete la función respiratoria y modifica la mecánica del complejo escapulohumeral, incrementando el riesgo de lesiones del hombro. Diversos estudios evidencian que ambas alteraciones repercuten negativamente sobre el equilibrio, la estabilidad dinámica y la eficiencia funcional durante actividades de la vida diaria y el desempeño deportivo (Kendall et al., 2005; Neumann, 2017).

La escoliosis constituye una deformidad tridimensional de la columna vertebral caracterizada por una desviación lateral superior a 10 grados acompañada de rotación vertebral. Aunque puede clasificarse como congénita, neuromuscular, degenerativa o idiopática, esta última representa aproximadamente el 80 % de los casos diagnosticados durante la adolescencia (Weinstein et al., 2008). Desde

el punto de vista biomecánico, la escoliosis modifica significativamente la distribución de cargas sobre los discos intervertebrales, altera la simetría muscular y condiciona compensaciones en la pelvis y las extremidades inferiores. Estas adaptaciones afectan la eficiencia del movimiento y pueden generar dolor, limitación funcional y disminución de la capacidad física cuando la deformidad progresa. La evaluación clínica incluye inspección postural, prueba de Adams, medición del ángulo de Cobb mediante radiografía y análisis funcional del equilibrio muscular. La evidencia científica señala que la detección temprana y la implementación de programas de ejercicios específicos, combinados con seguimiento clínico, pueden disminuir la progresión de determinadas curvas escolióticas y mejorar la calidad de vida de los pacientes (Negrini et al., 2018).

El adelantamiento de la cabeza, conocido como *forward head posture*, constituye una de las alteraciones posturales más prevalentes en la población contemporánea debido al uso prolongado de computadores, teléfonos inteligentes y otros dispositivos electrónicos. Esta condición desplaza el centro de gravedad hacia anterior, incrementando la carga mecánica soportada por la columna cervical y exigiendo una mayor activación de la musculatura extensora del cuello. Diversas investigaciones estiman que por cada incremento de inclinación cervical aumenta considerablemente la carga transmitida sobre las estructuras cervicales, favoreciendo dolor, cefaleas tensionales, rigidez muscular y disminución de la movilidad (Kapandji, 2019). Paralelamente, la protracción de los hombros y la disfunción escapular modifican la biomecánica del complejo glenohumeral, alterando la coordinación muscular durante movimientos de elevación y lanzamiento. Estas alteraciones representan factores de riesgo para el síndrome de pinzamiento subacromial, tendinopatías del manguito rotador y limitaciones funcionales del miembro superior, especialmente en deportistas que realizan gestos repetitivos por encima de la cabeza. La evaluación integral debe incluir el análisis estático y dinámico del complejo cervicoescapular para establecer intervenciones correctivas individualizadas.

Las extremidades inferiores desempeñan un papel determinante en el mantenimiento del equilibrio y la transmisión de fuerzas durante la locomoción. Alteraciones como el genu valgo, genu varo, genu recurvatum, pie plano, pie cavo y excesiva pronación o supinación modifican la alineación de toda la cadena

cinética inferior y repercuten sobre estructuras proximales como la rodilla, la pelvis y la columna vertebral. Desde la biomecánica funcional, cualquier modificación en la base de sustentación genera adaptaciones compensatorias ascendentes que afectan la distribución de cargas articulares y la eficiencia del movimiento. En deportistas, estas alteraciones incrementan el riesgo de lesiones como síndrome femoropatelar, fascitis plantar, tendinopatía aquílea, lesiones meniscales y ruptura del ligamento cruzado anterior (Powers, 2010). Por esta razón, la evaluación postural debe complementarse con el análisis de la marcha, la carrera y los patrones funcionales de movimiento, permitiendo identificar compensaciones dinámicas que no siempre son evidentes durante la inspección estática. La integración entre evaluación estructural y funcional mejora considerablemente la precisión diagnóstica y la planificación de programas preventivos.

Las alteraciones posturales producen efectos que trascienden el ámbito estético, comprometiendo múltiples sistemas fisiológicos y funcionales. Desde la perspectiva musculoesquelética, favorecen la aparición de dolor crónico, disminución del rango de movimiento, fatiga muscular, pérdida de estabilidad y deterioro del rendimiento físico. A nivel biomecánico, las desalineaciones modifican los vectores de fuerza, incrementan las cargas articulares y reducen la eficiencia energética durante actividades cotidianas y deportivas. Asimismo, diversos estudios han relacionado las alteraciones posturales con disminución del equilibrio, mayor incidencia de caídas en adultos mayores y limitaciones funcionales que afectan la calidad de vida (Shumway-Cook & Woollacott, 2017). En el ámbito educativo, la detección precoz permite implementar programas de higiene postural, fortalecimiento muscular y ergonomía escolar orientados a prevenir la progresión de las desviaciones. En el deporte, la evaluación postural constituye un componente esencial de los programas de prevención de lesiones y optimización del rendimiento, ya que facilita la identificación de factores de riesgo modificables y la individualización del entrenamiento. En consecuencia, la evidencia científica respalda la incorporación sistemática de la valoración postural dentro de los procesos de evaluación clínica, fisioterapéutica, educativa y deportiva como una herramienta indispensable para promover la salud

musculoesquelética y mejorar el desempeño funcional (American College of Sports Medicine, 2022).

La evaluación postural requiere el empleo de instrumentos válidos y confiables que permitan identificar desviaciones de la alineación corporal, cuantificar su magnitud y analizar su repercusión funcional. La selección del instrumento depende del objetivo de la valoración, la población evaluada y el contexto clínico, educativo o deportivo. En términos generales, los métodos de evaluación pueden clasificarse en técnicas observacionales, instrumentos manuales, herramientas digitales, sistemas fotogramétricos, plataformas de análisis biomecánico y tecnologías tridimensionales. La combinación de estas estrategias incrementa la precisión diagnóstica y facilita la elaboración de planes de intervención personalizados (Portney & Watkins, 2020). Además, la evidencia científica enfatiza que ningún instrumento debe utilizarse de forma aislada; por el contrario, los resultados deben integrarse con la historia clínica, el examen físico, la evaluación funcional y el análisis del movimiento para obtener una visión integral del estado postural del individuo. Este enfoque multidimensional permite diferenciar adaptaciones fisiológicas de alteraciones patológicas y mejora la toma de decisiones clínicas fundamentadas en la evidencia.

La observación clínica constituye el procedimiento inicial y uno de los métodos más utilizados para valorar la postura debido a su bajo costo, facilidad de aplicación y utilidad en diferentes escenarios profesionales. Esta técnica consiste en inspeccionar al individuo desde los planos anterior, posterior y lateral, comparando la posición de referencias anatómicas como cabeza, hombros, escápulas, pelvis, rodillas y pies con una línea de referencia vertical. Para optimizar la objetividad del examen, es recomendable utilizar una plomada postural, cuadrículas de alineación o fondos milimetrados que faciliten la identificación de asimetrías corporales (Kendall et al., 2005). Durante la exploración también deben evaluarse aspectos como la distribución del peso corporal, la simetría muscular, las curvaturas vertebrales y la presencia de compensaciones dinámicas durante movimientos funcionales básicos. Aunque la observación depende de la experiencia del evaluador y presenta cierto grado de subjetividad, diversos estudios han demostrado que, cuando se realiza mediante protocolos estandarizados y evaluadores entrenados, alcanza

adecuados niveles de confiabilidad inter e intraobservador (Portney & Watkins, 2020). Por ello, continúa siendo una herramienta esencial en fisioterapia, medicina deportiva, educación física y rehabilitación.

El desarrollo tecnológico ha impulsado la incorporación de herramientas digitales que incrementan la precisión y reproducibilidad de la evaluación postural. Entre ellas destacan la fotogrametría computarizada, los sistemas de análisis tridimensional del movimiento, los inclinómetros electrónicos, los goniómetros digitales, las plataformas estabilométricas y los escáneres corporales en tres dimensiones. La fotogrametría digital permite analizar ángulos corporales mediante imágenes obtenidas con cámaras de alta resolución y software especializado, reduciendo el margen de error asociado a la observación visual (Furlanetto et al., 2016). Por su parte, los sistemas tridimensionales basados en marcadores ópticos ofrecen información detallada sobre la cinemática corporal, siendo ampliamente utilizados en investigación biomecánica y laboratorios de análisis del movimiento. Asimismo, las plataformas de fuerza permiten estudiar el comportamiento del centro de presión y cuantificar el control postural durante tareas estáticas y dinámicas, aportando indicadores objetivos sobre equilibrio y estabilidad. Estas tecnologías han mejorado significativamente la capacidad diagnóstica de los profesionales de la salud y el deporte, facilitando el seguimiento evolutivo de los pacientes y la evaluación de la eficacia de las intervenciones terapéuticas.

La evaluación postural moderna no se limita al análisis estático de la alineación corporal, sino que incorpora pruebas funcionales que permiten identificar alteraciones del movimiento relacionadas con déficits de movilidad, estabilidad y control neuromuscular. Entre las pruebas más utilizadas se encuentran el *Functional Movement Screen* (FMS), el *Y Balance Test*, la prueba de sentadilla profunda (*Overhead Squat Assessment*), el *Star Excursion Balance Test* y diversas pruebas de control motor del complejo lumbopélvico. Estas herramientas permiten detectar patrones compensatorios que pueden pasar desapercibidos durante la inspección convencional y aportan información relevante para la prevención de lesiones y la planificación del entrenamiento (Cook, Burton, Hoogenboom, & Voight, 2014). En el ámbito deportivo, la integración entre evaluación postural y pruebas funcionales facilita la

identificación de factores de riesgo biomecánicos asociados con lesiones por sobreuso, mientras que en rehabilitación permite monitorizar la recuperación funcional de los pacientes. La evidencia actual respalda un enfoque integral que combine valoración estructural, análisis dinámico y evaluación del rendimiento funcional para comprender adecuadamente las alteraciones posturales.

La interpretación clínica constituye una etapa fundamental dentro del proceso de evaluación postural, ya que implica analizar los hallazgos obtenidos considerando las características individuales del paciente, sus antecedentes, nivel de actividad física, edad, ocupación y objetivos funcionales. La presencia de una desviación postural no debe interpretarse automáticamente como un trastorno patológico, debido a que muchas variaciones representan adaptaciones funcionales normales o respuestas específicas a determinadas actividades deportivas y laborales (Lederman, 2011). En consecuencia, el profesional debe valorar la magnitud de la alteración, la existencia de síntomas asociados, la repercusión sobre la función y la capacidad de compensación del organismo antes de establecer un diagnóstico clínico. La interpretación también debe integrar variables relacionadas con el dolor, la movilidad articular, la fuerza muscular, el equilibrio y la coordinación motora, permitiendo identificar la relación entre las alteraciones estructurales y el desempeño funcional. Este enfoque evita intervenciones innecesarias y favorece la implementación de tratamientos individualizados basados en la evidencia científica.

La utilidad clínica de cualquier instrumento de evaluación depende de sus propiedades psicométricas, especialmente su validez, confiabilidad, sensibilidad y capacidad para detectar cambios a lo largo del tiempo. Diversas investigaciones han demostrado que la confiabilidad mejora significativamente cuando los procedimientos de evaluación siguen protocolos estandarizados, utilizan referencias anatómicas claramente definidas y son ejecutados por evaluadores debidamente capacitados (Portney & Watkins, 2020). Asimismo, la repetición periódica de las mediciones permite monitorear la evolución clínica, valorar la efectividad de programas de ejercicio terapéutico y ajustar oportunamente las estrategias de intervención. En fisioterapia, la evaluación postural orienta el diseño de programas de reeducación postural, fortalecimiento muscular y entrenamiento del control motor. En medicina deportiva facilita la

prevención de lesiones y la optimización del rendimiento físico, mientras que en el ámbito educativo contribuye a la implementación de programas de higiene postural y promoción de hábitos saludables desde edades tempranas. En conjunto, la evidencia científica demuestra que la evaluación postural representa una herramienta indispensable para la prevención, diagnóstico, seguimiento y tratamiento de alteraciones musculoesqueléticas, consolidándose como un componente esencial de la práctica clínica contemporánea (American College of Sports Medicine, 2022; Neumann, 2017).

La evaluación postural constituye una estrategia preventiva de gran relevancia dentro del sistema educativo, especialmente durante la infancia y la adolescencia, etapas caracterizadas por un acelerado crecimiento osteomuscular y una elevada plasticidad del sistema musculoesquelético. Diversas investigaciones han demostrado que la permanencia prolongada en posiciones sedentes, el uso inadecuado del mobiliario escolar, el transporte excesivo de mochilas y el incremento del tiempo frente a dispositivos electrónicos favorecen la aparición de alteraciones posturales que pueden persistir hasta la edad adulta (Cardon & Balagué, 2004). En este contexto, la observación sistemática de la postura permite identificar precozmente desviaciones de la alineación corporal y establecer programas de intervención dirigidos a corregir hábitos inadecuados antes de que evolucionen hacia trastornos estructurales. Las instituciones educativas desempeñan un papel fundamental en la promoción de la salud postural mediante la implementación de programas de higiene postural, pausas activas, educación ergonómica y fortalecimiento de la musculatura estabilizadora. La integración de estas estrategias dentro del currículo escolar favorece el desarrollo de hábitos saludables, mejora la conciencia corporal y contribuye al bienestar físico y funcional de los estudiantes a largo plazo.

En el ámbito deportivo, la evaluación postural representa una herramienta indispensable para optimizar el rendimiento, prevenir lesiones y diseñar programas de entrenamiento individualizados. La correcta alineación corporal favorece la transmisión eficiente de fuerzas a través de la cadena cinética, optimiza la coordinación neuromuscular y reduce el gasto energético durante la ejecución de gestos deportivos. Por el contrario, las alteraciones posturales

modifican los patrones de movimiento, incrementan las cargas articulares y aumentan la probabilidad de lesiones por sobreuso, especialmente en disciplinas que requieren movimientos repetitivos de alta intensidad (Kibler et al., 2006). La evidencia científica respalda la incorporación de evaluaciones posturales periódicas dentro de los procesos de valoración funcional de los deportistas, ya que permiten identificar factores de riesgo biomecánicos antes de la aparición de síntomas clínicos. Asimismo, la información obtenida facilita la prescripción de ejercicios correctivos, entrenamiento del control motor, fortalecimiento del core y programas de movilidad específicos que contribuyen a mejorar la eficiencia mecánica y prolongar la vida deportiva del atleta.

La educación postural constituye uno de los pilares fundamentales para la prevención de los trastornos musculoesqueléticos en diferentes grupos poblacionales. Más allá de la corrección de desviaciones estructurales, la educación postural busca desarrollar en las personas la capacidad de reconocer y mantener posiciones corporales adecuadas durante las actividades de la vida diaria, el trabajo, el estudio y la práctica deportiva. Diversos programas preventivos han demostrado que la combinación de educación ergonómica, ejercicio físico terapéutico, entrenamiento propioceptivo y fortalecimiento muscular reduce significativamente la incidencia de dolor cervical y lumbar, mejora la funcionalidad y disminuye el ausentismo laboral relacionado con trastornos musculoesqueléticos (World Health Organization, 2022). En el contexto educativo, estas intervenciones fomentan estilos de vida activos y promueven una cultura de autocuidado desde edades tempranas. En el ámbito ocupacional y deportivo, favorecen la adopción de estrategias que minimizan la exposición a factores de riesgo biomecánicos y mejoran la calidad de vida de los individuos.

Durante la última década, la evaluación postural ha experimentado importantes avances gracias al desarrollo de tecnologías digitales aplicadas a las ciencias del movimiento humano. El empleo de sistemas de captura tridimensional, inteligencia artificial, visión computacional, sensores inerciales portátiles y plataformas de análisis biomecánico ha permitido obtener mediciones más objetivas, reproducibles y precisas de la alineación corporal y del comportamiento cinemático durante el movimiento (Furlanetto et al., 2016).

Estas innovaciones facilitan la detección temprana de alteraciones funcionales, el seguimiento de los procesos de rehabilitación y la evaluación de la eficacia de programas de intervención. Además, el desarrollo de aplicaciones móviles y plataformas de teleevaluación ha ampliado el acceso a la valoración postural en comunidades con limitaciones geográficas o escasez de recursos especializados. Sin embargo, la evidencia científica enfatiza que estas tecnologías deben complementar, y no sustituir, el razonamiento clínico del profesional, quien continúa siendo responsable de interpretar los resultados dentro del contexto biopsicosocial de cada individuo.

La observación y evaluación postural constituyen componentes esenciales dentro de la valoración integral del movimiento humano y representan herramientas fundamentales para la prevención, el diagnóstico y el tratamiento de alteraciones musculoesqueléticas. La evidencia científica demuestra que una adecuada alineación corporal favorece la eficiencia biomecánica, disminuye la sobrecarga articular, optimiza el control neuromuscular y mejora el desempeño funcional tanto en la población general como en deportistas. Asimismo, la utilización de instrumentos clínicos y tecnológicos, combinada con una interpretación basada en la evidencia, incrementa la precisión diagnóstica y facilita la elaboración de programas individualizados de intervención. La integración de la evaluación postural en los ámbitos clínico, educativo, deportivo y ocupacional contribuye significativamente a la promoción de la salud, la prevención de lesiones y el mejoramiento de la calidad de vida. En consecuencia, la valoración postural debe entenderse como un proceso dinámico, multidimensional y continuo que requiere actualización permanente de los profesionales y la incorporación de enfoques interdisciplinarios para responder a las necesidades actuales de la atención en salud y las ciencias del ejercicio.

El estudio científico de la postura humana ha evolucionado desde modelos exclusivamente estructurales hacia enfoques integrales que consideran la interacción entre los sistemas musculoesquelético, neurológico, sensorial y psicológico. Esta perspectiva reconoce que la postura no corresponde únicamente a una posición estática, sino a un proceso dinámico de adaptación continua frente a las demandas del entorno y del movimiento. En este sentido, la observación y evaluación postural adquieren un papel estratégico en la

ISBN
978-9942-595-19-5

investigación, la práctica clínica, la educación física, la fisioterapia y el entrenamiento deportivo, al proporcionar información objetiva para la toma de decisiones fundamentadas en la evidencia científica. Los avances tecnológicos y metodológicos continuarán fortaleciendo la precisión de los procesos de evaluación; sin embargo, su efectividad dependerá de la adecuada integración entre el conocimiento biomecánico, la experiencia clínica y las características individuales de cada persona. Finalmente, promover una cultura de evaluación postural periódica y de educación para la salud permitirá disminuir la carga de los trastornos musculoesqueléticos, favorecer el envejecimiento saludable y contribuir al desarrollo de sociedades más activas, funcionales y conscientes de la importancia del movimiento humano.

CAPITULO VII
VALORACIÓN DEL RANGO DE MOVIMIENTO

La valoración del rango de movimiento (ROM, por sus siglas en inglés *Range of Motion*) constituye uno de los procedimientos fundamentales dentro de la evaluación funcional del sistema musculoesquelético, ya que permite determinar la amplitud con la que una articulación puede desplazarse durante un movimiento específico. Esta medición representa un indicador objetivo del estado funcional de los tejidos articulares, musculares, tendinosos y ligamentarios, siendo ampliamente utilizada en fisioterapia, medicina deportiva, rehabilitación, ortopedia, educación física y ciencias del movimiento humano. La evaluación del ROM no solamente facilita el diagnóstico de limitaciones funcionales, sino que también permite establecer objetivos terapéuticos, monitorear la evolución clínica y valorar la eficacia de diferentes intervenciones de rehabilitación (Norkin & White, 2016). En la actualidad, el análisis del rango articular constituye una herramienta indispensable para la toma de decisiones clínicas basadas en evidencia científica.

El rango de movimiento se define como el arco máximo de desplazamiento que una articulación puede realizar entre dos posiciones anatómicas determinadas sin producir lesión en las estructuras involucradas. Dicho desplazamiento depende de múltiples factores anatómicos y fisiológicos, entre ellos la forma de las superficies articulares, la elasticidad capsular, la longitud muscular, la tensión ligamentaria y el control neuromuscular. Desde el punto de vista biomecánico, cada articulación posee límites fisiológicos específicos determinados por su morfología y función, razón por la cual existen valores de referencia considerados normales para cada movimiento corporal (Neumann, 2017). La comprensión de estos principios resulta esencial para interpretar adecuadamente los hallazgos obtenidos durante la exploración clínica.

La evaluación del rango de movimiento posee una enorme relevancia clínica debido a que las alteraciones articulares representan uno de los principales factores asociados con discapacidad funcional, dolor musculoesquelético y disminución del rendimiento físico. Una reducción del ROM puede indicar la presencia de procesos inflamatorios, fibrosis, rigidez capsular, retracciones musculares, alteraciones neurológicas o lesiones traumáticas. De igual manera, una movilidad excesiva puede reflejar hiperlaxitud ligamentaria o inestabilidad articular, condiciones que aumentan el riesgo de lesiones recurrentes. Por ello,

la medición sistemática del ROM constituye un componente indispensable dentro de la valoración física integral del paciente (American Academy of Orthopaedic Surgeons [AAOS], 1965; Norkin & White, 2016).

El comportamiento del rango de movimiento depende directamente de la anatomía funcional de cada articulación. Las articulaciones sinoviales, responsables de la mayoría de los movimientos corporales, presentan diferentes configuraciones estructurales que determinan la dirección y amplitud del movimiento. Las articulaciones esferoideas, como la glenohumeral y la coxofemoral, permiten movimientos multiplanares, mientras que las articulaciones trocleares, como el codo, presentan movimientos predominantemente uniaxiales. La congruencia articular, la profundidad de las superficies óseas, el grosor del cartílago y la disposición de los ligamentos contribuyen significativamente a establecer los límites fisiológicos del movimiento (Neumann, 2017). Estos elementos anatómicos deben ser considerados durante la interpretación clínica de cualquier medición goniométrica.

Diversos factores fisiológicos modifican la amplitud articular durante la vida. Entre ellos destacan la edad, el sexo, el nivel de actividad física, la temperatura corporal, el estado hormonal, la composición del tejido conectivo y la presencia de enfermedades sistémicas. En individuos jóvenes suele observarse una mayor elasticidad capsuloligamentaria y muscular, mientras que el envejecimiento produce cambios degenerativos asociados con disminución progresiva del ROM. Asimismo, el entrenamiento físico regular favorece el mantenimiento de la movilidad articular mediante adaptaciones musculares y neuromusculares que incrementan la flexibilidad funcional (Kisner, Colby, & Borstad, 2018). Estos factores explican las variaciones individuales observadas durante la evaluación clínica.

En el ámbito de la rehabilitación, la valoración del rango de movimiento constituye uno de los principales indicadores para establecer el pronóstico funcional del paciente y diseñar programas terapéuticos personalizados. La comparación entre las mediciones iniciales y las obtenidas durante el seguimiento permite determinar objetivamente la recuperación funcional tras

ISBN
978-9942-595-19-5

lesiones deportivas, intervenciones quirúrgicas o enfermedades neuromusculares. En el deporte de alto rendimiento, el análisis del ROM también contribuye a optimizar la técnica deportiva, prevenir lesiones por sobreuso e identificar desequilibrios biomecánicos susceptibles de corrección mediante programas específicos de movilidad y fortalecimiento. Por esta razón, numerosas guías clínicas internacionales consideran la medición del ROM como una evaluación esencial dentro de la práctica basada en evidencia (American Physical Therapy Association, 2021; Kisner et al., 2018).

La biomecánica del rango de movimiento constituye el fundamento científico para comprender cómo las articulaciones producen desplazamientos coordinados en respuesta a fuerzas internas y externas. El movimiento articular resulta de la interacción entre las superficies óseas, los cartílagos articulares, la cápsula sinovial, los ligamentos, los músculos y el sistema nervioso. Desde la perspectiva biomecánica, cada movimiento se desarrolla mediante una combinación de rodamiento (*rolling*), deslizamiento (*gliding*) y giro (*spinning*), mecanismos descritos en la artrocinemática y fundamentales para garantizar una movilidad eficiente y minimizar el desgaste de las superficies articulares (Neumann, 2017). Cuando alguno de estos mecanismos se altera por lesión, inflamación o degeneración, el rango de movimiento disminuye y aparecen compensaciones funcionales que pueden desencadenar dolor y disfunción. La comprensión de estos principios permite al profesional de la salud interpretar con mayor precisión las limitaciones observadas durante la evaluación clínica y seleccionar estrategias terapéuticas dirigidas a restaurar la movilidad fisiológica.

Párrafo 8. Planos y ejes anatómicos del movimiento

La valoración del rango de movimiento requiere conocer los planos y ejes anatómicos que describen la dirección de los desplazamientos corporales. El plano sagital permite movimientos de flexión y extensión alrededor de un eje transversal; el plano frontal comprende los movimientos de abducción y aducción alrededor de un eje anteroposterior; mientras que el plano transversal facilita las rotaciones internas y externas alrededor del eje longitudinal del segmento corporal (Norkin & White, 2016). Esta organización tridimensional facilita la estandarización de las mediciones goniométricas y garantiza la reproducibilidad

entre diferentes evaluadores. Además, el conocimiento de los planos anatómicos permite identificar patrones de movimiento compensatorio que podrían pasar inadvertidos durante una observación superficial. En el ámbito clínico y deportivo, la correcta alineación del goniómetro con los ejes anatómicos constituye un requisito indispensable para obtener mediciones válidas y confiables.

Párrafo 9. Rango de movimiento activo y pasivo

El rango de movimiento puede clasificarse en activo y pasivo, dependiendo de la participación del sistema muscular durante la ejecución del movimiento. El rango activo corresponde a la amplitud alcanzada mediante la contracción voluntaria de los músculos agonistas, reflejando simultáneamente la movilidad articular, la fuerza muscular, el control neuromotor y la coordinación motora. En contraste, el rango pasivo se obtiene cuando un evaluador moviliza la articulación sin participación activa del paciente, permitiendo valorar principalmente la integridad de las estructuras capsulares, ligamentarias y musculares (Kisner et al., 2018). En condiciones normales, el rango pasivo suele superar ligeramente al rango activo debido a la ausencia de limitaciones relacionadas con la fuerza muscular. La comparación entre ambas mediciones proporciona información diagnóstica relevante para diferenciar restricciones de origen muscular, neurológico o articular, facilitando la elaboración de un diagnóstico funcional más preciso.

Párrafo 10. Factores biomecánicos limitantes del rango de movimiento

La amplitud articular se encuentra condicionada por diversos factores biomecánicos que actúan como elementos limitantes fisiológicos o patológicos. Entre los principales determinantes destacan la tensión de los músculos antagonistas, la rigidez de la cápsula articular, la resistencia ligamentaria, el contacto entre superficies óseas, la presencia de edema, el dolor y las alteraciones del tejido conectivo. Asimismo, procesos degenerativos como la osteoartritis, enfermedades inflamatorias como la artritis reumatoide y lesiones traumáticas pueden reducir significativamente la movilidad mediante cambios estructurales permanentes (Magee, 2021). Desde el punto de vista fisiológico, el sistema nervioso también participa regulando el tono muscular mediante reflejos de protección que limitan el movimiento cuando existe riesgo de lesión. Por ello,

la interpretación del ROM debe considerar tanto las características mecánicas de la articulación como la respuesta neuromuscular del individuo durante la exploración.

Párrafo 11. Valores normales del rango de movimiento

La existencia de valores de referencia constituye un aspecto esencial para interpretar adecuadamente las mediciones del rango de movimiento. Diversas organizaciones científicas han establecido rangos considerados fisiológicos para las principales articulaciones del cuerpo humano mediante procedimientos estandarizados de medición. Por ejemplo, la flexión del hombro alcanza aproximadamente 180°, la extensión 60°, la abducción 180° y la rotación externa alrededor de 90°. En la rodilla, la flexión suele oscilar entre 135° y 150°, mientras que la extensión completa corresponde a 0°. La cadera presenta aproximadamente 120° de flexión, 30° de extensión, 45° de abducción y cerca de 45° de rotación interna y externa. Sin embargo, estos valores pueden variar según la edad, el sexo, la constitución corporal, el nivel de entrenamiento físico y las características antropométricas individuales (Norkin & White, 2016; American Academy of Orthopaedic Surgeons, 1965). En consecuencia, la comparación con el lado contralateral y con la historia clínica del paciente resulta indispensable para una adecuada interpretación clínica.

Párrafo 12. Relación entre flexibilidad, movilidad y rendimiento funcional

Aunque los términos flexibilidad y movilidad suelen utilizarse indistintamente, desde el punto de vista científico representan conceptos complementarios, pero no equivalentes. La flexibilidad hace referencia a la capacidad de los tejidos blandos para elongarse y permitir el movimiento articular, mientras que la movilidad comprende la integración entre la amplitud articular, la estabilidad dinámica, el control neuromuscular y la capacidad funcional durante actividades específicas (Behm et al., 2016). Un individuo puede presentar una excelente flexibilidad pasiva sin demostrar una movilidad funcional adecuada si carece del control muscular necesario para estabilizar la articulación durante el movimiento. En el ámbito deportivo, la optimización de la movilidad funcional se asocia con mejoras en la eficiencia mecánica, reducción del gasto energético y disminución del riesgo de lesiones musculoesqueléticas. Por ello, la valoración

contemporánea del rango de movimiento trasciende la simple medición angular y se integra con pruebas funcionales que permiten comprender el comportamiento dinámico del sistema locomotor durante actividades de la vida diaria y del rendimiento deportivo.

La valoración del rango de movimiento puede realizarse mediante diferentes métodos clínicos e instrumentales, cuya selección depende del objetivo de la evaluación, el contexto asistencial y los recursos disponibles. Tradicionalmente, la inspección visual constituye el primer acercamiento para identificar restricciones evidentes de movilidad; sin embargo, este procedimiento presenta limitaciones relacionadas con la subjetividad del observador y la baja precisión cuantitativa. Por esta razón, las mediciones instrumentales han adquirido un papel predominante en la práctica clínica y en la investigación, ya que permiten cuantificar objetivamente la amplitud articular y comparar los resultados con valores normativos previamente establecidos. Entre los métodos más utilizados destacan la goniometría universal, la inclinometría, la fleximetría, los sistemas digitales de análisis del movimiento y las tecnologías tridimensionales de captura cinemática (Norkin & White, 2016). La elección del método debe fundamentarse en criterios de validez, confiabilidad, sensibilidad al cambio y factibilidad clínica, garantizando que los resultados obtenidos reflejen con precisión el estado funcional del paciente.

La goniometría constituye el procedimiento más empleado para la medición del rango de movimiento en la práctica clínica debido a su simplicidad, bajo costo y elevada confiabilidad cuando es aplicada por evaluadores entrenados. El goniómetro universal está compuesto por un eje central, un brazo fijo y un brazo móvil, los cuales se alinean con referencias anatómicas específicas para determinar el ángulo generado durante el movimiento articular. La correcta identificación de los puntos anatómicos de referencia resulta indispensable para minimizar errores de medición y mejorar la reproducibilidad de los resultados. Diversos estudios han demostrado que la goniometría presenta altos índices de confiabilidad intraevaluador e interevaluador cuando se siguen protocolos estandarizados y existe una adecuada capacitación del profesional (American Academy of Orthopaedic Surgeons, 1965; Norkin & White, 2016). Debido a estas

características, el goniómetro continúa siendo considerado el instrumento de referencia en fisioterapia, medicina física, ortopedia y ciencias del deporte.

El desarrollo tecnológico ha favorecido la incorporación de nuevos instrumentos para la valoración del rango de movimiento, ampliando las posibilidades diagnósticas y mejorando la precisión de las mediciones. La inclinometría utiliza sensores gravitacionales para medir la inclinación de un segmento corporal respecto a la vertical o la horizontal, siendo especialmente útil en la evaluación de la movilidad de la columna vertebral. La fleximetría, por su parte, emplea dispositivos específicos que permiten registrar de manera rápida la amplitud angular de diversas articulaciones. En los últimos años, la utilización de aplicaciones móviles con acelerómetros, giroscopios y sensores inerciales ha mostrado resultados comparables a los obtenidos mediante goniometría convencional, especialmente en contextos clínicos y deportivos donde se requiere una evaluación rápida y portátil (Kolber & Hanney, 2012). Asimismo, los sistemas de captura tridimensional del movimiento ofrecen una evaluación altamente precisa de la cinemática articular, aunque su elevado costo limita su utilización principalmente a laboratorios de investigación y centros especializados.

La precisión de la valoración del rango de movimiento depende en gran medida del cumplimiento de procedimientos estandarizados durante la exploración física. Antes de iniciar la medición, el paciente debe adoptar una posición anatómica adecuada que garantice la alineación correcta de los segmentos corporales y minimice la aparición de movimientos compensatorios. Posteriormente, el evaluador identifica los puntos anatómicos de referencia y coloca el instrumento siguiendo el eje de rotación de la articulación evaluada. Durante la ejecución del movimiento, es fundamental estabilizar los segmentos corporales adyacentes para evitar desplazamientos accesorios que puedan modificar el resultado final. Además, se recomienda realizar varias mediciones consecutivas y registrar el promedio obtenido para disminuir el error asociado a la variabilidad biológica y técnica (Magee, 2021). La aplicación rigurosa de protocolos estandarizados mejora la comparabilidad de los resultados entre diferentes evaluadores y fortalece la utilidad clínica de las mediciones.

La utilidad clínica de cualquier procedimiento de evaluación depende de sus propiedades psicométricas, especialmente de la confiabilidad, la validez y la precisión. La confiabilidad hace referencia a la capacidad de un instrumento para producir resultados consistentes cuando la medición se repite en condiciones similares, mientras que la validez expresa el grado en que el instrumento realmente mide el fenómeno que pretende evaluar. Numerosas investigaciones han demostrado que la goniometría y otros métodos instrumentales presentan elevados coeficientes de confiabilidad cuando las mediciones son realizadas por profesionales entrenados y bajo protocolos estandarizados (Kolber & Hanney, 2012). No obstante, factores como la identificación incorrecta de referencias anatómicas, la experiencia limitada del evaluador, la presencia de dolor, la espasticidad muscular o la falta de cooperación del paciente pueden incrementar el error de medición. En consecuencia, la formación continua del personal sanitario constituye un elemento esencial para garantizar la calidad y reproducibilidad de las evaluaciones funcionales.

La interpretación de los resultados obtenidos durante la valoración del rango de movimiento debe realizarse de manera integral, considerando tanto los valores angulares registrados como las características clínicas del paciente. Una disminución del ROM no siempre implica la existencia de una lesión estructural, ya que factores como el dolor, el miedo al movimiento, la fatiga, la rigidez muscular transitoria o la inmovilización prolongada también pueden limitar la amplitud articular. Del mismo modo, valores superiores a los rangos fisiológicos pueden observarse en individuos con hipermovilidad constitucional o en deportistas sometidos a entrenamientos específicos de flexibilidad, sin que ello represente necesariamente una condición patológica (Behm et al., 2016). Por esta razón, la valoración del rango de movimiento debe complementarse con otras pruebas clínicas, como la evaluación de la fuerza muscular, la estabilidad articular, el equilibrio, el control neuromuscular y el análisis funcional del movimiento. Este enfoque integral permite establecer diagnósticos más precisos, diseñar programas de intervención individualizados y realizar un seguimiento objetivo de la evolución del paciente en diferentes contextos clínicos, deportivos y educativos.

ISBN
978-9942-595-19-5

La valoración del rango de movimiento constituye una herramienta indispensable dentro del proceso de evaluación fisioterapéutica y de rehabilitación funcional. Su aplicación permite identificar restricciones articulares asociadas con traumatismos, cirugías ortopédicas, enfermedades neurológicas, procesos inflamatorios y trastornos degenerativos del sistema musculoesquelético. La cuantificación objetiva del ROM facilita el establecimiento de una línea base a partir de la cual es posible diseñar programas terapéuticos individualizados y monitorizar la evolución clínica del paciente a lo largo del tratamiento. Asimismo, la comparación periódica de las mediciones permite determinar la eficacia de técnicas como la movilización articular, los ejercicios terapéuticos, los estiramientos, la terapia manual y los programas de fortalecimiento muscular. En el contexto de la práctica basada en la evidencia, la valoración sistemática del ROM favorece la toma de decisiones clínicas fundamentadas en datos objetivos y contribuye a optimizar los resultados funcionales (Kisner et al., 2018; Magee, 2021). De esta manera, el seguimiento continuo de la movilidad articular se convierte en un indicador esencial de recuperación y calidad asistencial.

En ortopedia y traumatología, la medición del rango de movimiento representa uno de los principales criterios para valorar la gravedad de una lesión y determinar el pronóstico funcional del paciente. Después de fracturas, luxaciones, lesiones ligamentarias o procedimientos quirúrgicos, la recuperación progresiva de la movilidad constituye un objetivo prioritario del proceso rehabilitador. La limitación persistente del ROM puede indicar complicaciones como fibrosis periarticular, adherencias capsulares, rigidez postquirúrgica, consolidación viciosa o procesos inflamatorios crónicos que requieren intervenciones específicas (American Academy of Orthopaedic Surgeons, 1965). Además, la evaluación periódica de la movilidad facilita la identificación temprana de alteraciones mecánicas que podrían comprometer la función articular a largo plazo. En consecuencia, la goniometría y otros métodos de medición forman parte de los protocolos clínicos utilizados para evaluar la evolución de pacientes sometidos a reconstrucciones ligamentarias, artroplastias, osteosíntesis y otras intervenciones ortopédicas.

Las enfermedades neurológicas producen alteraciones significativas en la movilidad articular debido a cambios en el tono muscular, la coordinación motora

y el control del movimiento voluntario. En pacientes con accidente cerebrovascular, lesión medular, enfermedad de Parkinson, esclerosis múltiple, parálisis cerebral o neuropatías periféricas, la valoración del rango de movimiento permite identificar contracturas, espasticidad, rigidez y limitaciones funcionales que afectan la independencia en las actividades de la vida diaria. La medición periódica del ROM también resulta fundamental para valorar la respuesta a programas de rehabilitación neurológica y para prevenir deformidades permanentes derivadas de posiciones mantenidas o desequilibrios musculares prolongados (Magee, 2021). En estos pacientes, la evaluación debe complementarse con escalas de tono muscular, pruebas de equilibrio, análisis de la marcha y valoraciones funcionales que permitan comprender de manera integral las repercusiones de la enfermedad sobre el movimiento humano.

En el ámbito de la medicina del deporte, la valoración del rango de movimiento desempeña un papel esencial tanto en la prevención como en el tratamiento de lesiones deportivas. La identificación de restricciones articulares, asimetrías bilaterales o patrones de movilidad alterados permite detectar factores de riesgo que incrementan la probabilidad de sufrir lesiones musculares, tendinosas y ligamentarias durante el entrenamiento o la competencia. Diversas investigaciones han demostrado que una movilidad insuficiente de determinadas articulaciones puede modificar la mecánica del movimiento y aumentar las cargas sobre estructuras adyacentes, favoreciendo la aparición de lesiones por sobreuso (Behm et al., 2016). Asimismo, la evaluación del ROM forma parte de los exámenes médicos preparticipativos realizados en deportistas de diferentes disciplinas, proporcionando información útil para diseñar programas preventivos basados en ejercicios de movilidad, fortalecimiento y control neuromuscular. El seguimiento continuo de estos parámetros permite optimizar el rendimiento físico sin comprometer la salud del atleta.

En los programas de educación física y entrenamiento deportivo, la valoración del rango de movimiento constituye un recurso pedagógico que facilita la planificación de actividades orientadas al desarrollo de la movilidad funcional y la flexibilidad. La evaluación inicial permite conocer las características individuales de los estudiantes o deportistas, identificar limitaciones específicas y adaptar las cargas de entrenamiento de acuerdo con las necesidades de cada

participante. Además, la incorporación periódica de mediciones del ROM posibilita evaluar el impacto de programas de acondicionamiento físico, entrenamiento de la flexibilidad y ejercicios correctivos sobre la capacidad funcional del sistema locomotor (Kisner et al., 2018). Desde una perspectiva educativa, estas evaluaciones promueven la comprensión de la importancia de la movilidad articular para la salud, favorecen la adopción de hábitos de actividad física segura y contribuyen al desarrollo de competencias relacionadas con el autocuidado y la prevención de lesiones.

Los avances tecnológicos han transformado significativamente la valoración del rango de movimiento durante la última década. Actualmente, el desarrollo de sensores inerciales portátiles, aplicaciones móviles, sistemas de captura tridimensional del movimiento, inteligencia artificial y plataformas de análisis biomecánico permite obtener mediciones cada vez más precisas, rápidas y reproducibles. Estas innovaciones favorecen la monitorización remota de pacientes mediante programas de telerehabilitación y facilitan el seguimiento continuo de la evolución funcional fuera del entorno hospitalario. Asimismo, la integración de tecnologías digitales con algoritmos de aprendizaje automático ofrece nuevas posibilidades para detectar patrones anormales de movimiento y personalizar las intervenciones terapéuticas (Kolber & Hanney, 2012). En este contexto, la valoración del rango de movimiento evoluciona desde una medición exclusivamente angular hacia una evaluación integral de la calidad del movimiento humano, incorporando variables biomecánicas, neuromusculares y funcionales que enriquecen la práctica clínica, la investigación científica y las ciencias del deporte.

La evidencia científica publicada durante las últimas décadas demuestra que la valoración del rango de movimiento constituye uno de los procedimientos más confiables para determinar el estado funcional del sistema musculoesquelético y establecer estrategias de intervención basadas en evidencia. Diversos estudios han confirmado que la medición objetiva del ROM presenta una elevada utilidad diagnóstica cuando se integra con la historia clínica, la exploración física, la valoración de la fuerza muscular y las pruebas funcionales. Además, la utilización de protocolos estandarizados incrementa la reproducibilidad de las mediciones y favorece la comparación de resultados entre diferentes profesionales e

instituciones. En investigación clínica, la cuantificación del rango de movimiento representa una variable ampliamente utilizada para evaluar la efectividad de programas de rehabilitación, procedimientos quirúrgicos, técnicas de terapia manual y protocolos de entrenamiento físico (Norkin & White, 2016; Kolber & Hanney, 2012). En consecuencia, el ROM continúa siendo un indicador fundamental para valorar la evolución funcional del paciente y la calidad de las intervenciones terapéuticas.

A pesar de los importantes avances metodológicos, la valoración del rango de movimiento enfrenta diversos desafíos relacionados con la variabilidad biológica y técnica de las mediciones. Factores como la experiencia del evaluador, la correcta identificación de referencias anatómicas, el posicionamiento del paciente, la presencia de dolor, la cooperación del individuo y las características propias de cada articulación pueden influir significativamente en los resultados obtenidos. Asimismo, existen diferencias fisiológicas asociadas con la edad, el sexo, el nivel de actividad física y la composición corporal que dificultan el establecimiento de valores universales aplicables a toda la población (Magee, 2021). Estos aspectos resaltan la necesidad de interpretar las mediciones dentro del contexto clínico individual y de fortalecer la capacitación profesional en técnicas de evaluación funcional. La estandarización internacional de protocolos y la actualización permanente de las guías clínicas representan estrategias fundamentales para mejorar la calidad de las evaluaciones.

El desarrollo de nuevas tecnologías ha ampliado considerablemente las posibilidades para la evaluación del rango de movimiento. Los sistemas de captura tridimensional del movimiento, los sensores inerciales portátiles, los dispositivos electrónicos de medición angular y las aplicaciones móviles han demostrado niveles de precisión comparables con los métodos convencionales en múltiples escenarios clínicos y deportivos. Además, la incorporación de inteligencia artificial y algoritmos de aprendizaje automático facilita el análisis automatizado de patrones de movimiento, permitiendo detectar alteraciones biomecánicas con un elevado grado de sensibilidad. Estas herramientas también favorecen la implementación de programas de telerehabilitación y seguimiento remoto, ampliando el acceso a los servicios de salud y optimizando la continuidad del tratamiento (Kolber & Hanney, 2012). Las investigaciones futuras

deberán centrarse en validar estas tecnologías en diferentes poblaciones y establecer protocolos estandarizados que permitan su integración sistemática en la práctica clínica.

La valoración del rango de movimiento posee implicaciones directas para múltiples disciplinas relacionadas con la salud y el deporte. En fisioterapia y medicina física, constituye un criterio esencial para establecer objetivos terapéuticos, monitorizar la recuperación funcional y determinar el momento adecuado para el retorno a las actividades cotidianas o deportivas. En el ámbito del alto rendimiento, la evaluación periódica del ROM facilita la identificación temprana de desequilibrios biomecánicos, restricciones articulares y alteraciones del control motor que pueden incrementar el riesgo de lesión o limitar el desempeño competitivo. Asimismo, en educación física y entrenamiento deportivo, estas mediciones permiten individualizar los programas de movilidad, flexibilidad y acondicionamiento físico de acuerdo con las necesidades específicas de cada persona (Behm et al., 2016). Por tanto, la valoración del ROM trasciende el ámbito diagnóstico y se convierte en una herramienta estratégica para promover la salud, optimizar el rendimiento y prevenir lesiones.

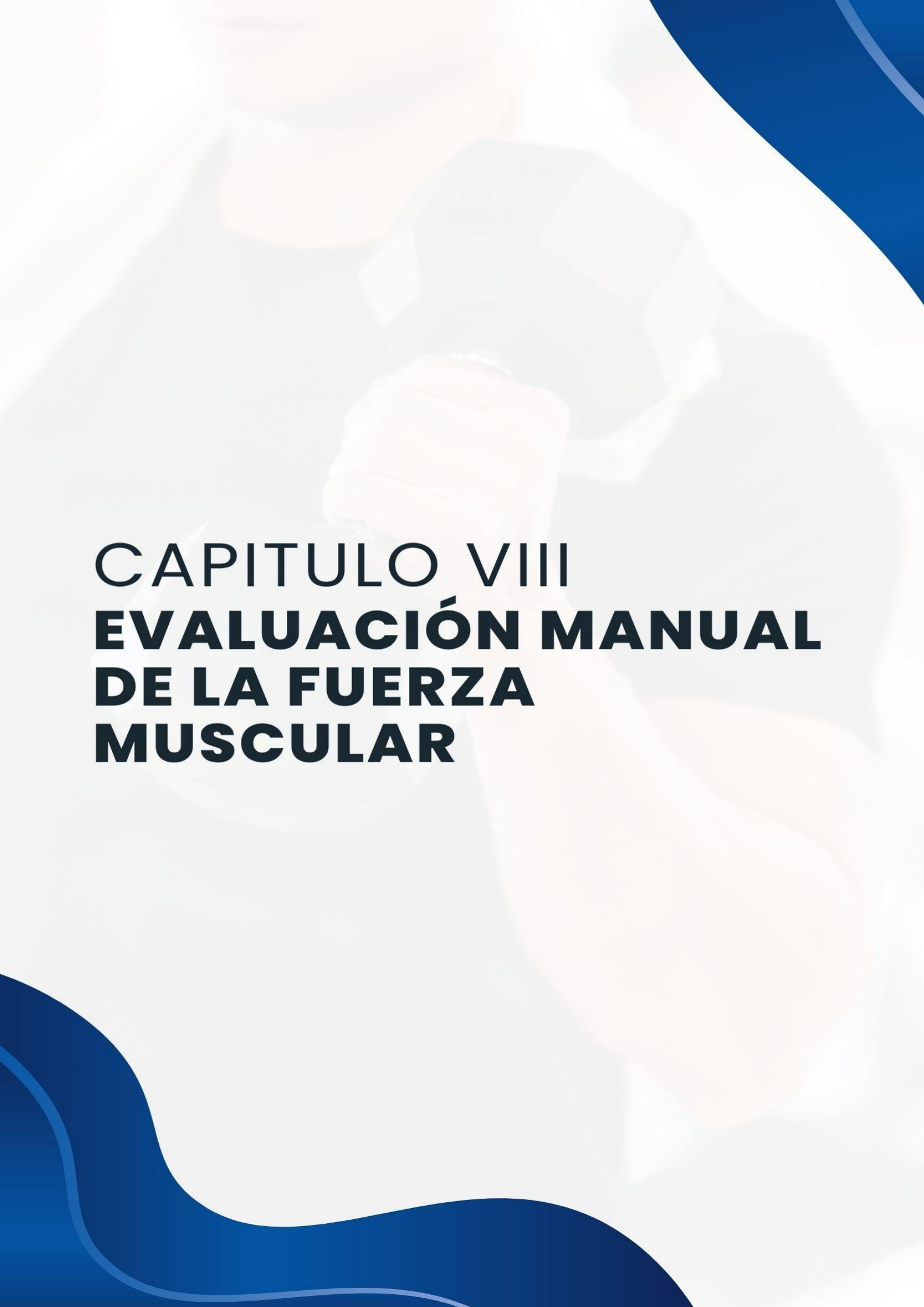
La valoración del rango de movimiento representa un componente esencial de la evaluación funcional del movimiento humano debido a su capacidad para cuantificar objetivamente la movilidad articular y proporcionar información relevante sobre el estado biomecánico, neuromuscular y funcional del individuo. La integración de conocimientos anatómicos, biomecánicos y clínicos permite interpretar adecuadamente las limitaciones de movilidad y establecer intervenciones terapéuticas fundamentadas en evidencia científica. La utilización de instrumentos confiables, protocolos estandarizados y procedimientos de evaluación sistemáticos fortalece la precisión diagnóstica y mejora el seguimiento de la evolución clínica. Del mismo modo, la incorporación de tecnologías digitales amplía las posibilidades de evaluación y favorece la personalización de los programas de rehabilitación y entrenamiento. En consecuencia, la medición del rango de movimiento continúa consolidándose como una herramienta indispensable para la práctica profesional en fisioterapia, medicina, ortopedia, rehabilitación, ciencias del ejercicio y deporte.

En un contexto caracterizado por el crecimiento de la medicina basada en la evidencia y el desarrollo constante de nuevas tecnologías, la valoración del rango de movimiento adquiere una relevancia cada vez mayor como indicador objetivo de salud funcional. Su aplicación sistemática favorece la detección precoz de alteraciones musculoesqueléticas, contribuye al diseño de intervenciones individualizadas y permite evaluar de manera objetiva la respuesta a diferentes tratamientos. Además, la integración del ROM con otras pruebas funcionales proporciona una visión más completa del movimiento humano, facilitando decisiones clínicas fundamentadas y estrategias preventivas eficaces. Finalmente, el fortalecimiento de la investigación científica, la actualización permanente de los profesionales y la adopción de metodologías estandarizadas serán factores determinantes para continuar mejorando la calidad de la evaluación funcional y optimizar la atención de personas de todas las edades y niveles de actividad física.

ISBN
978-9942-595-19-5



doi.org/10.33262/cde.63



CAPITULO VIII
EVALUACIÓN MANUAL DE LA FUERZA MUSCULAR

La evaluación manual de la fuerza muscular constituye uno de los procedimientos clínicos más utilizados en fisioterapia, medicina física y rehabilitación, neurología, ortopedia y ciencias del deporte para determinar la capacidad funcional del sistema neuromuscular. Su aplicación permite identificar deficiencias motoras, cuantificar el grado de debilidad muscular y establecer parámetros objetivos para el diagnóstico, la planificación terapéutica y el seguimiento de la evolución clínica del paciente. A pesar del desarrollo de tecnologías instrumentales como la dinamometría isocinética y la electromiografía, la evaluación manual continúa siendo una herramienta indispensable debido a su facilidad de aplicación, bajo costo, rapidez y adecuada utilidad clínica cuando es realizada por profesionales capacitados (Kendall et al., 2005; Hislop et al., 2014).

La fuerza muscular puede definirse como la capacidad que posee un músculo o grupo muscular para generar tensión con el propósito de vencer, sostener o controlar una resistencia externa durante la ejecución de un movimiento. Este fenómeno depende de la interacción entre los sistemas nervioso y musculoesquelético, los cuales coordinan la activación de las unidades motoras para producir contracciones eficientes. Desde una perspectiva biomecánica, la fuerza representa el resultado de procesos fisiológicos complejos que involucran la excitación neural, la transmisión del impulso nervioso, la liberación de calcio intracelular y la interacción entre los filamentos de actina y miosina dentro del sarcómero, constituyendo el fundamento de todo movimiento voluntario (Hall, 2021; Lieber, 2010).

La valoración manual de la fuerza muscular desempeña un papel fundamental en la identificación de alteraciones neuromusculares originadas por enfermedades ortopédicas, neurológicas, reumatológicas, traumáticas o degenerativas. La disminución de la fuerza puede reflejar lesiones del sistema nervioso central o periférico, inmovilización prolongada, procesos inflamatorios, desuso muscular, envejecimiento fisiológico o patologías musculares primarias. La información obtenida mediante esta evaluación permite establecer un diagnóstico funcional más preciso, determinar el nivel de discapacidad, seleccionar estrategias terapéuticas individualizadas y monitorizar la respuesta del paciente durante el proceso de rehabilitación. Asimismo, constituye un

indicador importante del pronóstico funcional y del grado de recuperación esperado (Magee, 2021).

El rendimiento muscular depende de múltiples factores anatómicos relacionados con la estructura del músculo esquelético. Entre ellos destacan el área de sección transversal fisiológica, la longitud de las fibras musculares, la disposición de los fascículos, el tipo de inserción tendinosa y la arquitectura muscular. Los músculos penniformes, por ejemplo, poseen una mayor capacidad para generar fuerza debido a la elevada cantidad de fibras contenidas en una misma sección transversal, mientras que los músculos fusiformes favorecen una mayor amplitud del movimiento. Además, la integridad de tendones, ligamentos, cápsulas articulares y superficies articulares influye directamente en la transmisión eficiente de la fuerza hacia el segmento corporal correspondiente (Neumann, 2017).

Desde el punto de vista fisiológico, la producción de fuerza muscular comienza con la generación del potencial de acción en la corteza motora cerebral, el cual viaja a través de las vías descendentes hasta alcanzar la motoneurona alfa localizada en la médula espinal. Posteriormente, el impulso nervioso llega a la unión neuromuscular, donde la liberación de acetilcolina desencadena la despolarización de la membrana muscular y la liberación de calcio desde el retículo sarcoplásmico. El calcio permite la formación de puentes cruzados entre la actina y la miosina, generando el deslizamiento de los filamentos y, en consecuencia, la contracción muscular. La intensidad de la fuerza producida depende del número de unidades motoras reclutadas, de la frecuencia de descarga neuronal y de la sincronización entre las fibras musculares activadas (Hall, 2021).

La evaluación manual de la fuerza muscular se fundamenta en la aplicación sistemática de resistencia por parte del examinador mientras el paciente intenta realizar un movimiento específico contra la gravedad o frente a una fuerza externa. Para garantizar resultados confiables es indispensable estandarizar la posición del paciente, estabilizar correctamente los segmentos corporales, evitar compensaciones biomecánicas y aplicar la resistencia de manera gradual y uniforme. Asimismo, el evaluador debe poseer un conocimiento profundo de la

anatomía funcional, de la biomecánica articular y de los patrones normales del movimiento humano, ya que pequeñas variaciones en la técnica pueden modificar significativamente la interpretación de los resultados. La correcta aplicación de estos principios convierte a la evaluación manual en un procedimiento altamente útil para valorar el estado funcional del sistema musculoesquelético y orientar la toma de decisiones clínicas (Kendall et al., 2005; Hislop et al., 2014).

La evaluación manual de la fuerza muscular evolucionó durante la primera mitad del siglo XX como respuesta a la necesidad de cuantificar objetivamente las secuelas motoras producidas por enfermedades neurológicas y traumatológicas, especialmente durante las epidemias de poliomielitis. Florence Kendall, Lucille Daniels y Catherine Worthingham desarrollaron un sistema estandarizado de valoración que posteriormente fue perfeccionado y ampliamente adoptado por fisioterapeutas, médicos rehabilitadores y terapeutas ocupacionales en todo el mundo. El denominado **Manual Muscle Testing (MMT)** permitió uniformar la exploración clínica mediante criterios claramente definidos, favoreciendo la comparación entre evaluaciones sucesivas y mejorando la comunicación entre profesionales de la salud. En la actualidad, este método continúa siendo considerado el estándar clínico para la valoración funcional inicial de la fuerza muscular, debido a su sencillez, reproducibilidad y utilidad en diferentes contextos asistenciales (Kendall et al., 2005; Hislop et al., 2014).

La Escala de Daniels y Worthingham constituye el sistema de clasificación más utilizado para graduar la fuerza muscular mediante la observación del movimiento y la aplicación de resistencia manual. Esta escala asigna un valor comprendido entre **0 y 5**, donde el grado **0** representa la ausencia total de contracción muscular detectable; el grado **1** corresponde a una contracción palpable sin movimiento articular; el grado **2** indica que el paciente realiza el movimiento completo eliminando el efecto de la gravedad; el grado **3** refleja la capacidad para completar el rango de movimiento contra la gravedad, sin resistencia adicional; el grado **4** identifica un músculo capaz de vencer una resistencia moderada aplicada por el examinador; mientras que el grado **5** representa fuerza muscular considerada normal, al resistir una fuerza máxima compatible con la edad, el sexo y la condición física del individuo. Aunque

ampliamente utilizada, esta clasificación debe interpretarse considerando las características individuales del paciente y el contexto clínico específico (Daniels & Worthingham, 2013; Hislop et al., 2014).

La aplicación adecuada de la evaluación manual requiere seguir una secuencia estandarizada que minimice los errores de medición. Inicialmente se realiza una observación del paciente para identificar deformidades, atrofias, edema, alteraciones posturales o movimientos compensatorios. Posteriormente se explica el procedimiento para favorecer la cooperación del evaluado y disminuir la ansiedad. El examinador posiciona correctamente el segmento corporal, estabiliza las articulaciones proximales y solicita la ejecución activa del movimiento correspondiente. Una vez comprobado que el paciente alcanza el rango articular esperado, se aplica resistencia manual en dirección opuesta a la acción muscular, incrementándola de manera progresiva hasta determinar la capacidad máxima del músculo para mantener la posición. Finalmente, el resultado se registra utilizando la escala estandarizada y se compara con el lado contralateral cuando este se encuentra sano, facilitando la identificación de asimetrías funcionales (Magee, 2021).

El posicionamiento correcto del paciente constituye uno de los factores más importantes para garantizar la validez de la evaluación manual. Cada grupo muscular posee posiciones específicas diseñadas para aislar la acción principal del músculo evaluado, eliminar movimientos accesorios y controlar la influencia de la gravedad. Dependiendo del objetivo de la prueba, el paciente puede colocarse en decúbito supino, decúbito prono, decúbito lateral, sedestación o bipedestación. La selección de la posición también depende de la condición clínica, el nivel funcional y la capacidad para mantener el equilibrio. Un posicionamiento inadecuado puede facilitar compensaciones mediante músculos sinérgicos o modificar la ventaja mecánica del grupo muscular, generando resultados poco confiables. Por esta razón, la estandarización de la postura es un requisito indispensable para obtener mediciones reproducibles entre diferentes evaluadores y en evaluaciones realizadas en distintos momentos del proceso de rehabilitación (Kendall et al., 2005).

La postura del examinador también influye significativamente en la precisión del procedimiento. El profesional debe ubicarse de forma que pueda observar claramente el movimiento, estabilizar el segmento corporal correspondiente y aplicar la resistencia utilizando el peso de su propio cuerpo en lugar de depender exclusivamente de la fuerza de los miembros superiores. Esta estrategia permite mantener una presión constante y uniforme durante toda la prueba, reduciendo la variabilidad entre mediciones. La resistencia debe aplicarse en el extremo distal del segmento evaluado, siguiendo una dirección perpendicular al movimiento realizado y evitando movimientos bruscos que puedan producir dolor o desencadenar mecanismos de protección muscular. Asimismo, el examinador debe mantener una adecuada ergonomía para disminuir la fatiga física, especialmente cuando realiza múltiples evaluaciones durante una jornada clínica (Hislop et al., 2014).

Aunque la evaluación manual de la fuerza muscular presenta elevados niveles de utilidad clínica, su confiabilidad puede verse influenciada por diversos factores relacionados con el paciente, el examinador y el entorno de evaluación. Entre los principales factores se encuentran la experiencia del evaluador, la correcta identificación anatómica del músculo, la intensidad y dirección de la resistencia aplicada, la motivación y cooperación del paciente, la presencia de dolor, espasticidad, fatiga, alteraciones cognitivas o limitaciones articulares. Asimismo, variables como la hora del día, el estado emocional, el consumo de medicamentos y la existencia de enfermedades sistémicas pueden modificar temporalmente el rendimiento muscular. Diversos estudios han demostrado que la capacitación estandarizada del personal sanitario mejora significativamente la confiabilidad intraevaluador e interevaluador, reforzando la importancia de seguir protocolos clínicos uniformes para obtener resultados válidos y reproducibles en la práctica profesional (Cuthbert & Goodheart, 2007; Bohannon, 2005).

La evaluación manual de los músculos del hombro constituye un componente esencial del examen físico debido a la complejidad biomecánica de esta articulación y a su participación en la mayoría de las actividades funcionales de la vida diaria. Los principales grupos musculares evaluados incluyen el deltoides, supraespinoso, infraespinoso, redondo menor, subescapular, pectoral mayor y dorsal ancho. Durante la exploración, el examinador debe estabilizar la escápula

y el tronco para evitar movimientos compensatorios que puedan alterar la interpretación de la fuerza real del músculo analizado. En el caso del deltoides medio, por ejemplo, el paciente realiza la abducción del hombro hasta aproximadamente 90° contra la gravedad, mientras el evaluador aplica resistencia en la cara lateral del brazo. Esta prueba permite identificar debilidad secundaria a lesiones del nervio axilar, patologías del manguito rotador o procesos degenerativos del hombro. La correcta interpretación requiere integrar los hallazgos con la movilidad articular, la presencia de dolor y la función neurológica, ya que estos factores pueden modificar el rendimiento muscular observado (Kendall et al., 2005; Magee, 2021).

La valoración de la fuerza en el codo, antebrazo y muñeca permite determinar la integridad funcional de músculos responsables de la flexión, extensión, pronación, supinación y estabilización distal del miembro superior. Entre los músculos evaluados destacan el bíceps braquial, braquial, braquiorradial, tríceps braquial, pronador redondo, supinador, flexores y extensores del carpo. Para cada prueba se requiere una adecuada estabilización del brazo y una resistencia aplicada en dirección opuesta al movimiento. Por ejemplo, durante la evaluación del bíceps braquial, el paciente flexiona el codo con el antebrazo en supinación mientras el examinador ejerce resistencia distal sobre el antebrazo. En el tríceps, la resistencia se aplica durante la extensión del codo, permitiendo valorar la función del nervio radial. La exploración de estos grupos musculares es especialmente relevante en pacientes con lesiones traumáticas, neuropatías periféricas, radiculopatías cervicales o alteraciones derivadas de enfermedades neuromusculares, donde pequeñas diferencias de fuerza pueden tener importantes implicaciones diagnósticas y funcionales (Hislop et al., 2014).

La mano representa la unidad funcional más especializada del sistema musculoesquelético, por lo que su evaluación manual exige un conocimiento detallado de la anatomía y biomecánica de los músculos intrínsecos y extrínsecos. La valoración comprende la fuerza de los flexores y extensores de los dedos, los músculos tenares e hipotenares, los lumbricales y los interóseos dorsales y palmares. Además de la fuerza global de prensión, el examinador analiza movimientos específicos como la oposición del pulgar, la abducción y aducción de los dedos y la estabilidad de las articulaciones metacarpofalángicas

e interfalángicas. Estas pruebas permiten detectar alteraciones relacionadas con lesiones de los nervios mediano, cubital y radial, así como enfermedades degenerativas, traumatismos de la mano o compresiones nerviosas, como el síndrome del túnel carpiano. Debido a la precisión requerida, la evaluación manual suele complementarse con pruebas funcionales y, cuando es necesario, con dinamometría de prensión para obtener una cuantificación más objetiva de la fuerza (Fess & Moran, 1981; Magee, 2021).

La valoración manual de los músculos de la cadera y el muslo proporciona información esencial sobre la estabilidad pélvica, la marcha y la capacidad funcional del individuo. Los principales músculos explorados incluyen el glúteo mayor, glúteo medio, glúteo menor, iliopsoas, aductores, isquiotibiales y cuádriceps femoral. La prueba del glúteo medio, por ejemplo, se realiza con el paciente en decúbito lateral efectuando la abducción de la cadera contra resistencia, permitiendo valorar la estabilidad de la pelvis durante la marcha. El cuádriceps se examina mediante la extensión de la rodilla, mientras que los isquiotibiales se evalúan durante la flexión de esta articulación. La debilidad de estos grupos musculares puede manifestarse mediante alteraciones funcionales como la marcha de Trendelenburg, dificultades para subir escaleras, levantarse de una silla o mantener el equilibrio durante actividades cotidianas. Por ello, la evaluación manual constituye una herramienta indispensable para planificar programas de fortalecimiento y rehabilitación individualizados (Neumann, 2017; Kendall et al., 2005).

La exploración manual de los músculos responsables del movimiento de la rodilla, el tobillo y el pie resulta fundamental para valorar la locomoción y el control postural. Entre los músculos evaluados destacan el cuádriceps femoral, los isquiotibiales, el tibial anterior, el tríceps sural, los peroneos y los músculos intrínsecos del pie. La evaluación del tibial anterior se realiza solicitando dorsiflexión e inversión del pie contra resistencia, siendo especialmente útil para detectar lesiones del nervio peroneo profundo. El tríceps sural se examina mediante la flexión plantar, tanto en descarga como durante elevaciones repetidas del talón en apoyo monopodal, procedimiento que permite valorar no solo la fuerza máxima, sino también la resistencia muscular. La identificación de debilidad en estos grupos musculares tiene gran importancia clínica en pacientes

con neuropatías periféricas, lesiones medulares, accidentes cerebrovasculares, enfermedades neurodegenerativas y trastornos ortopédicos que afectan la capacidad para caminar y mantener el equilibrio (Hislop et al., 2014; Magee, 2021).

La evaluación manual de la fuerza muscular no debe interpretarse como una serie de pruebas aisladas, sino como parte de un análisis integral del movimiento humano. La función muscular depende de la coordinación entre agonistas, antagonistas, sinergistas y estabilizadores, cuya interacción permite ejecutar movimientos precisos y eficientes. En consecuencia, una debilidad localizada puede generar patrones compensatorios que alteran la biomecánica global y aumentan el riesgo de lesiones o discapacidad funcional. Por ello, el examinador debe complementar la valoración de cada grupo muscular con la observación de actividades funcionales como la marcha, la transferencia de sedestación a bipedestación, el ascenso y descenso de escaleras, la manipulación de objetos y el mantenimiento del equilibrio. Este enfoque integral facilita una comprensión más completa del estado funcional del paciente y permite diseñar programas terapéuticos dirigidos no solo a recuperar la fuerza, sino también a restaurar la calidad del movimiento, la independencia funcional y la participación en las actividades de la vida diaria (Neumann, 2017; Hall, 2021).

La evaluación manual de la fuerza muscular posee una amplia aplicabilidad en múltiples especialidades de las ciencias de la salud, constituyéndose en una herramienta fundamental para el diagnóstico funcional y el seguimiento terapéutico. En fisioterapia se utiliza para establecer el nivel inicial de compromiso muscular, diseñar programas de rehabilitación individualizados y monitorizar la evolución del paciente durante las diferentes fases del tratamiento. En neurología permite identificar patrones característicos de debilidad asociados con lesiones del sistema nervioso central o periférico, tales como accidentes cerebrovasculares, lesiones medulares, neuropatías periféricas, radiculopatías, esclerosis múltiple y enfermedades de la motoneurona. En ortopedia y traumatología facilita la valoración funcional posterior a fracturas, luxaciones, lesiones ligamentarias, tendinopatías y procedimientos quirúrgicos, mientras que en medicina deportiva contribuye a detectar desequilibrios musculares, prevenir lesiones y orientar el retorno seguro a la actividad física. Estas múltiples

aplicaciones evidencian la versatilidad del método y su relevancia en la práctica clínica interdisciplinaria (Magee, 2021; Hislop et al., 2014).

Párrafo 20. Ventajas de la evaluación manual de la fuerza muscular

Entre las principales fortalezas de la evaluación manual destaca su facilidad de aplicación en diversos escenarios clínicos, desde hospitales de alta complejidad hasta centros comunitarios y consultas ambulatorias. No requiere equipamiento sofisticado, presenta un bajo costo operativo y puede realizarse en pocos minutos, permitiendo obtener información inmediata sobre el estado funcional del paciente. Además, favorece la interacción directa entre el profesional y el evaluado, posibilitando la identificación simultánea de dolor, fatiga, alteraciones del movimiento, compensaciones biomecánicas y limitaciones articulares. Otra ventaja importante radica en que puede repetirse con frecuencia sin riesgos para el paciente, lo que facilita el seguimiento continuo de la evolución clínica y la efectividad de las intervenciones terapéuticas. Cuando el procedimiento es ejecutado por profesionales entrenados y siguiendo protocolos estandarizados, la evaluación manual ofrece resultados suficientemente confiables para orientar la toma de decisiones clínicas en la mayoría de los contextos asistenciales (Kendall et al., 2005; Bohannon, 2005).

A pesar de sus múltiples beneficios, la evaluación manual presenta limitaciones que deben considerarse durante la interpretación de los resultados. Una de las principales es su naturaleza semicuantitativa, ya que la clasificación mediante la escala de 0 a 5 depende, en parte, del juicio clínico del evaluador y de su capacidad para aplicar una resistencia uniforme. Esto dificulta la detección de pequeños cambios en pacientes con fuerza cercana a la normalidad, especialmente entre los grados 4 y 5, donde la diferencia puede ser difícil de objetivar. Asimismo, factores como el dolor, la fatiga, la espasticidad, el miedo al movimiento, la cooperación del paciente y la experiencia del examinador pueden influir significativamente en el desempeño observado. En individuos con elevada masa muscular o gran capacidad de generar fuerza, el examinador puede no ser capaz de aplicar una resistencia suficiente para diferenciar adecuadamente el nivel real de rendimiento muscular. Estas limitaciones justifican la necesidad de complementar la evaluación manual con métodos instrumentales cuando se

requiere una cuantificación más precisa (Cuthbert & Goodheart, 2007; Bohannon, 2005).

La confiabilidad hace referencia a la capacidad de un procedimiento para producir resultados consistentes cuando es aplicado en condiciones similares. Diversas investigaciones han demostrado que la evaluación manual presenta niveles de confiabilidad intraevaluador e interevaluador de moderados a altos cuando los profesionales poseen entrenamiento específico y siguen protocolos estandarizados. La experiencia clínica desempeña un papel determinante, ya que permite identificar con mayor precisión los movimientos compensatorios, controlar la estabilización del segmento corporal y aplicar una resistencia homogénea durante la prueba. La utilización de posiciones anatómicas previamente definidas, instrucciones claras al paciente y criterios uniformes para la asignación de los grados de fuerza mejora considerablemente la reproducibilidad del método. No obstante, la confiabilidad puede disminuir cuando participan múltiples evaluadores con diferentes niveles de experiencia o cuando no existe una adecuada estandarización del procedimiento (Hislop et al., 2014; Bohannon, 2005).

La validez de la evaluación manual ha sido ampliamente estudiada mediante comparaciones con métodos instrumentales, especialmente la dinamometría manual e isocinética. Los estudios muestran una buena correlación entre ambas técnicas en pacientes con debilidad moderada o severa; sin embargo, la evaluación manual presenta menor sensibilidad para detectar variaciones pequeñas de fuerza en individuos sanos o altamente funcionales. La dinamometría proporciona mediciones objetivas expresadas en unidades de fuerza, permitiendo realizar análisis cuantitativos más precisos y detectar cambios mínimos durante el proceso de rehabilitación. A pesar de ello, la evaluación manual continúa siendo el método de elección para la exploración clínica inicial debido a su rapidez, accesibilidad y bajo costo. En la práctica profesional, ambos procedimientos deben considerarse complementarios: la evaluación manual aporta información funcional inmediata y la dinamometría ofrece una cuantificación objetiva que fortalece el seguimiento clínico y la investigación científica (Stark et al., 2011; Bohannon, 2019).

ISBN
978-9942-595-19-5

En la práctica clínica contemporánea, la evaluación manual de la fuerza muscular forma parte de un proceso integral de valoración funcional que incluye la anamnesis, la observación postural, la evaluación del rango de movimiento, las pruebas neurológicas, el análisis biomecánico y la aplicación de instrumentos de medición específicos. Dependiendo de la condición clínica, también puede complementarse con dinamometría, electromiografía de superficie, estudios de conducción nerviosa, análisis tridimensional del movimiento y escalas funcionales estandarizadas. La integración de estas herramientas permite comprender no solo la magnitud de la debilidad muscular, sino también sus causas fisiopatológicas y sus repercusiones sobre la capacidad funcional del individuo. Este enfoque multidimensional favorece la formulación de diagnósticos más precisos, la planificación de intervenciones basadas en evidencia y la evaluación objetiva de los resultados terapéuticos, fortaleciendo el papel de la evaluación manual como un componente esencial dentro del examen físico musculoesquelético y neurológico (Neumann, 2017; Hall, 2021).

La evaluación manual de la fuerza muscular constituye uno de los pilares fundamentales de la fisioterapia contemporánea, ya que proporciona información objetiva para establecer el diagnóstico funcional, formular objetivos terapéuticos y diseñar programas de intervención individualizados. En pacientes con lesiones musculoesqueléticas, enfermedades neurológicas o procesos posquirúrgicos, la determinación del grado de fuerza permite seleccionar ejercicios terapéuticos acordes con la capacidad funcional del individuo, evitando tanto la sobrecarga como la subestimulación muscular. Además, la evaluación periódica facilita el monitoreo de la evolución clínica y la modificación oportuna del plan de tratamiento según los cambios observados durante el proceso de recuperación. Su aplicación sistemática también favorece la documentación de resultados clínicos y la comunicación interdisciplinaria entre fisioterapeutas, médicos especialistas y demás profesionales involucrados en la atención del paciente, fortaleciendo la práctica basada en la evidencia (Magee, 2021; Hislop et al., 2014).

En el contexto de las ciencias del deporte, la evaluación manual de la fuerza muscular desempeña un papel importante en la identificación de desequilibrios musculares que pueden predisponer al deportista a lesiones o limitar su

rendimiento competitivo. Aunque los atletas de alto nivel suelen requerir métodos instrumentales para obtener mediciones altamente precisas, la evaluación manual continúa siendo una herramienta útil durante la valoración inicial, el seguimiento de procesos de rehabilitación y el retorno progresivo a la práctica deportiva. Asimismo, permite detectar déficits funcionales posteriores a lesiones ligamentarias, musculares o tendinosas, facilitando la implementación de programas específicos de fortalecimiento y control neuromuscular. Cuando se combina con pruebas funcionales, análisis biomecánico y dinamometría, la evaluación manual contribuye a optimizar el rendimiento físico, reducir el riesgo de recaídas y mejorar la eficiencia del movimiento durante la práctica deportiva (Kendall et al., 2005; Stark et al., 2011).

En neurología clínica, la evaluación manual de la fuerza muscular constituye un componente esencial del examen físico, ya que permite localizar lesiones dentro del sistema nervioso y establecer patrones característicos de compromiso motor. La distribución de la debilidad, su intensidad y la presencia de asimetrías proporcionan información relevante para el diagnóstico diferencial entre lesiones del sistema nervioso central, neuropatías periféricas, enfermedades de la unión neuromuscular y miopatías. En patologías como el accidente cerebrovascular, la esclerosis múltiple, la enfermedad de Parkinson, la esclerosis lateral amiotrófica y las distrofias musculares, la evaluación manual facilita el seguimiento de la progresión de la enfermedad y la valoración de la respuesta a los tratamientos farmacológicos y de rehabilitación. Su integración con pruebas neurológicas complementarias, estudios electrofisiológicos y escalas funcionales mejora significativamente la precisión diagnóstica y la planificación terapéutica (Hall, 2021; Bohannon, 2019).

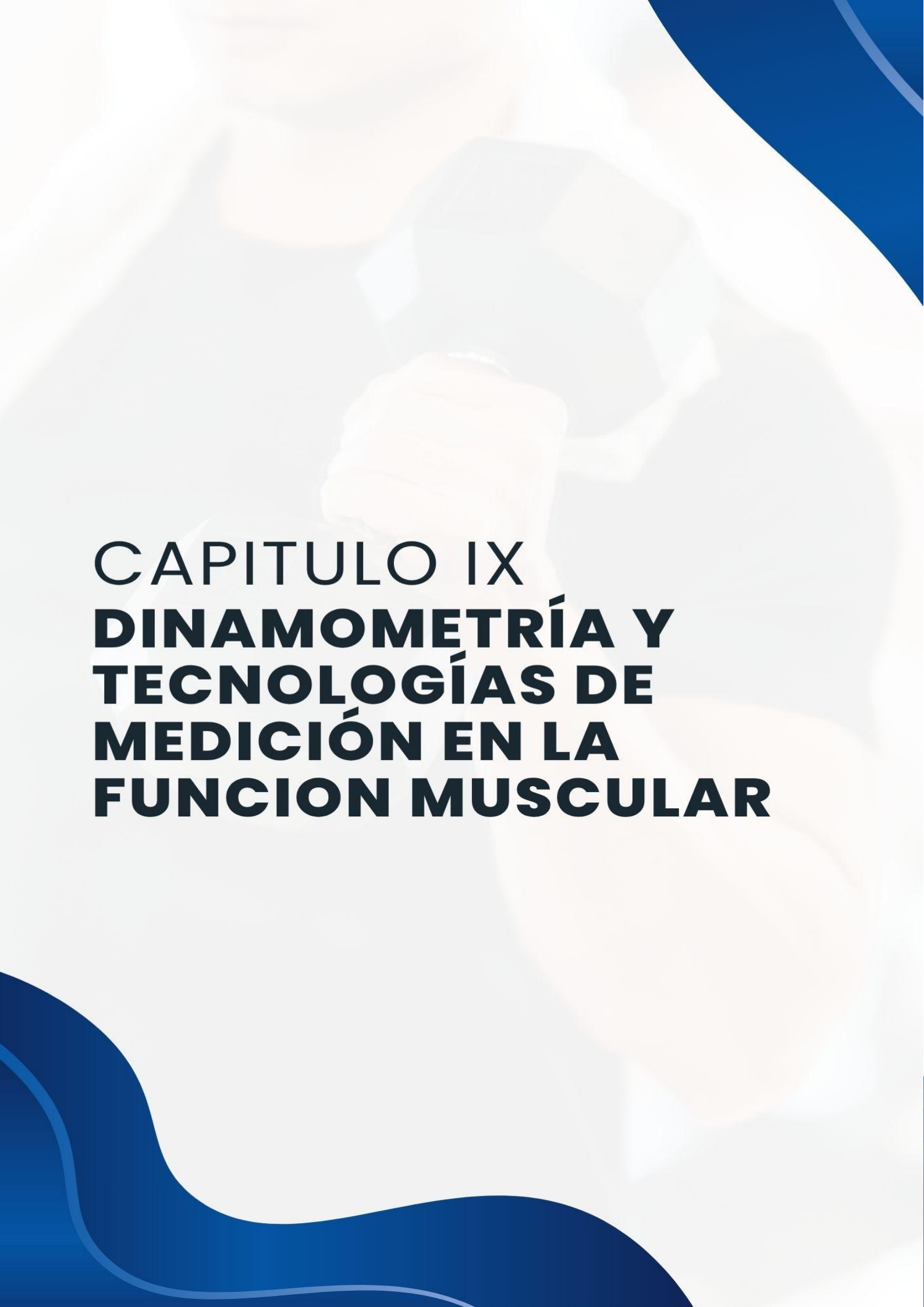
Los avances tecnológicos han impulsado el desarrollo de nuevas herramientas para la valoración objetiva de la fuerza muscular, incluyendo dinamómetros digitales, sistemas isocinéticos, electromiografía de superficie, sensores inerciales, plataformas de fuerza y dispositivos portátiles basados en inteligencia artificial. Estas tecnologías permiten obtener mediciones altamente precisas y reproducibles, así como analizar variables relacionadas con la velocidad de contracción, la potencia muscular y los patrones de activación neuromuscular. Sin embargo, la evaluación manual continúa siendo una herramienta

indispensable debido a su accesibilidad, rapidez y aplicabilidad en escenarios donde los recursos tecnológicos son limitados. En la actualidad, la tendencia clínica se orienta hacia un enfoque complementario, en el que la exploración manual constituye el primer nivel de valoración y los métodos instrumentales se utilizan para profundizar el análisis cuando la condición clínica o los objetivos de investigación lo requieren. Esta integración fortalece la precisión diagnóstica y favorece una atención centrada en las necesidades individuales del paciente (Neumann, 2017; Stark et al., 2011).

La evaluación manual de la fuerza muscular representa un procedimiento clínico de gran valor para el análisis funcional del sistema musculoesquelético y neurológico. Su aplicación adecuada permite identificar debilidad muscular, establecer diagnósticos funcionales, orientar programas de rehabilitación y monitorizar la evolución del paciente a lo largo del tiempo. Aunque presenta limitaciones relacionadas con su carácter semicuantitativo y la dependencia de la experiencia del evaluador, la evidencia científica demuestra que, cuando se realiza siguiendo protocolos estandarizados, ofrece niveles satisfactorios de confiabilidad y validez. Asimismo, su bajo costo, facilidad de aplicación y amplia disponibilidad justifican que continúe siendo una de las herramientas más utilizadas en fisioterapia, medicina física, neurología, ortopedia y ciencias del deporte. La combinación de la evaluación manual con tecnologías objetivas de medición representa actualmente la estrategia más sólida para optimizar el diagnóstico funcional y la toma de decisiones clínicas basadas en evidencia.

El estudio de la evaluación manual de la fuerza muscular trasciende la simple asignación de un grado en una escala clínica; implica comprender la interacción entre anatomía, fisiología, biomecánica, control neuromuscular y funcionalidad humana. La adecuada formación de los profesionales de la salud en este procedimiento favorece una exploración física más precisa, incrementa la calidad de la atención y mejora los resultados terapéuticos. En un contexto donde la medicina y la rehabilitación evolucionan hacia modelos de atención cada vez más personalizados, la evaluación manual mantiene su vigencia como una competencia clínica esencial, capaz de integrarse con métodos tecnológicos avanzados sin perder su relevancia diagnóstica. Por ello, su enseñanza, actualización y aplicación basada en evidencia continúan siendo aspectos

prioritarios en la formación de fisioterapeutas, médicos rehabilitadores y demás profesionales dedicados a la valoración del movimiento humano.



CAPITULO IX
DINAMOMETRÍA Y TECNOLOGÍAS DE MEDICIÓN EN LA FUNCION MUSCULAR

La evaluación objetiva de la función muscular constituye uno de los pilares fundamentales de la valoración clínica, la rehabilitación funcional, la medicina deportiva y la investigación en ciencias del movimiento humano. La capacidad para cuantificar la fuerza muscular permite identificar alteraciones funcionales, establecer diagnósticos precisos, diseñar programas de intervención individualizados y monitorizar la evolución de los pacientes y deportistas a lo largo del tiempo. Tradicionalmente, la evaluación manual de la fuerza muscular ha representado el procedimiento clínico más utilizado; sin embargo, el desarrollo de la dinamometría y de diversas tecnologías de medición ha permitido obtener datos cuantitativos con mayor precisión, sensibilidad y reproducibilidad. Estas herramientas facilitan la identificación de cambios mínimos en el rendimiento muscular, mejorando la toma de decisiones clínicas y la evaluación de la eficacia de las intervenciones terapéuticas. En consecuencia, la integración de métodos instrumentales representa un avance significativo hacia una práctica clínica basada en evidencia científica y en mediciones objetivas del desempeño muscular (Bohannon, 2019; Stark et al., 2011).

La función muscular comprende la capacidad del sistema neuromuscular para generar fuerza, potencia, resistencia y control motor con el propósito de producir movimientos eficientes y mantener la estabilidad articular durante las actividades funcionales. Esta capacidad depende de la interacción coordinada entre el sistema nervioso central, las motoneuronas, las unidades motoras, las fibras musculares, los tendones y las estructuras osteoarticulares. Cualquier alteración en alguno de estos componentes puede traducirse en disminución del rendimiento muscular y limitaciones funcionales. Debido a ello, la medición objetiva de la función muscular resulta indispensable para determinar la magnitud de las deficiencias, establecer el nivel de discapacidad y evaluar la respuesta al tratamiento. En la actualidad, los profesionales de la salud reconocen que la cuantificación precisa de la fuerza muscular constituye un indicador fundamental del estado funcional, la independencia física y el pronóstico clínico de pacientes con enfermedades neurológicas, musculoesqueléticas y sistémicas (Hall, 2021; Neumann, 2017).

La dinamometría es un procedimiento instrumental destinado a medir la fuerza ejercida por un músculo o grupo muscular mediante dispositivos capaces de

transformar la fuerza mecánica en valores numéricos expresados en unidades físicas, generalmente newtons (N), kilogramos-fuerza (kgf) o libras (lb). Su fundamento se basa en principios biomecánicos y físicos relacionados con la medición de cargas, deformaciones y momentos de fuerza mediante sensores mecánicos, hidráulicos, neumáticos o electrónicos. A diferencia de la evaluación manual, la dinamometría proporciona resultados cuantitativos continuos que permiten detectar pequeñas variaciones en el rendimiento muscular, incluso cuando estas no son perceptibles durante la exploración clínica convencional. Esta característica ha convertido a la dinamometría en una herramienta indispensable para la investigación científica, la valoración funcional y el seguimiento de programas de rehabilitación y entrenamiento deportivo, donde la objetividad y la precisión constituyen requisitos esenciales (Stark et al., 2011; Bohannon, 2019).

La medición de la fuerza muscular ha experimentado una notable evolución desde las primeras evaluaciones subjetivas realizadas mediante observación clínica hasta el desarrollo de sofisticados sistemas computarizados capaces de registrar múltiples variables biomecánicas en tiempo real. Durante las primeras décadas del siglo XX, la valoración se fundamentaba principalmente en pruebas manuales, las cuales ofrecían información cualitativa acerca de la capacidad funcional del paciente. Posteriormente surgieron los primeros dinamómetros mecánicos e hidráulicos, diseñados para cuantificar la fuerza de prensión manual y de diferentes grupos musculares. Con el avance de la ingeniería biomédica y la electrónica, estos dispositivos evolucionaron hacia dinamómetros digitales de alta precisión, sistemas isocinéticos computarizados y plataformas integradas con software especializado para el análisis biomecánico. Actualmente, la incorporación de sensores inerciales, inteligencia artificial, aprendizaje automático y tecnologías portátiles ha ampliado considerablemente las posibilidades de evaluación funcional, permitiendo obtener mediciones objetivas tanto en laboratorios especializados como en entornos clínicos y deportivos (Dvir, 2004; Neumann, 2017).

La cuantificación instrumental de la fuerza muscular se fundamenta en principios biomecánicos que explican la producción y transmisión de fuerzas durante el movimiento humano. Desde esta perspectiva, la fuerza generada por un músculo

depende de factores como el área de sección transversal fisiológica, la longitud de las fibras musculares, la velocidad de contracción, el tipo de fibras predominantes, el brazo de momento articular y la coordinación neuromuscular. Asimismo, el torque o momento de fuerza representa una variable especialmente relevante, ya que expresa la capacidad del músculo para producir rotación alrededor de una articulación. La dinamometría moderna permite medir no solo la fuerza máxima voluntaria, sino también variables relacionadas con la potencia, el trabajo mecánico, la resistencia muscular, la velocidad angular y la fatiga, proporcionando una visión integral del desempeño neuromuscular. Estas mediciones son esenciales para comprender las alteraciones funcionales asociadas con lesiones deportivas, enfermedades neurológicas y procesos degenerativos del sistema musculoesquelético (Winter, 2009; Neumann, 2017).

Las tecnologías contemporáneas de medición de la función muscular han transformado la práctica clínica y la investigación al proporcionar información objetiva, reproducible y altamente sensible sobre el rendimiento neuromuscular. Su utilización permite detectar déficits funcionales antes de que se manifiesten clínicamente, establecer programas de rehabilitación basados en parámetros cuantificables y evaluar la eficacia de intervenciones terapéuticas mediante indicadores precisos de recuperación. En el ámbito deportivo, estas herramientas facilitan la identificación de desequilibrios musculares, optimizan los programas de entrenamiento y contribuyen a prevenir lesiones mediante el análisis sistemático del rendimiento físico. En investigación, la dinamometría y las tecnologías asociadas constituyen instrumentos esenciales para validar protocolos terapéuticos, estudiar la fisiología muscular y desarrollar nuevas estrategias de intervención. En conjunto, estos avances fortalecen la medicina basada en evidencia y promueven una valoración integral de la función muscular orientada a mejorar la calidad de vida y el desempeño funcional de diferentes poblaciones (Bohannon, 2019; Stark et al., 2011; Hislop et al., 2014).

La dinamometría manual constituye una de las alternativas más utilizadas para cuantificar de manera objetiva la fuerza muscular durante la evaluación clínica. Los dinamómetros portátiles permiten al examinador registrar la fuerza ejercida por un músculo o grupo muscular mientras el paciente mantiene una posición determinada o realiza un movimiento contra resistencia. A diferencia de la

valoración manual tradicional, estos dispositivos proporcionan un valor numérico que puede registrarse, compararse entre ambos lados del cuerpo y utilizarse para monitorizar los cambios producidos durante la rehabilitación. Su tamaño reducido y facilidad de transporte favorecen su aplicación en hospitales, consultas externas, centros deportivos y entornos comunitarios. Sin embargo, el resultado puede estar condicionado por la capacidad del evaluador para estabilizar el segmento corporal y contrarrestar la fuerza generada por el paciente, especialmente cuando se examinan individuos con niveles elevados de fuerza. Por ello, la estandarización de la posición, la técnica y el procedimiento resulta fundamental para garantizar mediciones consistentes (Stark et al., 2011; Bohannon, 2019).

La fuerza de prensión manual constituye una de las variables más estudiadas dentro de la evaluación de la función muscular debido a su relación con la capacidad funcional general, la independencia y el estado físico del individuo. Los dinamómetros de prensión permiten medir la fuerza generada durante un agarre máximo voluntario y son utilizados ampliamente en rehabilitación de la mano, geriatría, medicina deportiva y valoración funcional. El resultado puede verse influenciado por factores como el tamaño del mango, la posición de la muñeca, el ángulo del codo, la motivación del participante y el número de intentos realizados. Por esta razón, los protocolos de medición deben establecer condiciones uniformes para facilitar la comparación entre evaluaciones. Además, la fuerza de prensión no debe interpretarse únicamente como una medida localizada de la musculatura de la mano, pues diferentes investigaciones la han relacionado con indicadores generales de capacidad física y rendimiento funcional. Su sencillez convierte a esta prueba en una herramienta de gran utilidad tanto clínica como epidemiológica (Bohannon, 2019; Roberts et al., 2011).

La dinamometría isométrica permite cuantificar la fuerza producida por un músculo o grupo muscular mientras la articulación permanece prácticamente inmóvil y el músculo desarrolla tensión sin producir un cambio apreciable en su longitud. Este procedimiento resulta particularmente útil para valorar la fuerza máxima voluntaria en condiciones controladas y para identificar diferencias entre extremidades o entre grupos musculares agonistas y antagonistas. Durante la

prueba, el paciente adopta una posición previamente determinada y ejerce su máxima contracción contra una resistencia fija conectada al sensor del dinamómetro. Entre sus principales ventajas se encuentran la facilidad de estandarización, la posibilidad de repetir las mediciones y la capacidad para analizar cambios pequeños durante un programa de rehabilitación. No obstante, la fuerza isométrica obtenida en un determinado ángulo articular no representa necesariamente el rendimiento muscular durante todo el rango de movimiento, por lo que debe interpretarse de acuerdo con el objetivo específico de la valoración (Brown & Weir, 2001; Dvir, 2004).

La dinamometría isocinética constituye una tecnología avanzada diseñada para evaluar la fuerza y el rendimiento muscular durante movimientos realizados a una velocidad angular constante. Los sistemas isocinéticos emplean mecanismos computarizados que modifican la resistencia de manera continua para impedir que la velocidad programada sea superada por el paciente. Esta característica permite evaluar la producción de torque a diferentes velocidades y durante todo el arco de movimiento articular, generando información detallada sobre el comportamiento de los músculos agonistas y antagonistas. Variables como torque máximo, trabajo total, potencia, relación agonista-antagonista y fatiga pueden analizarse mediante estos sistemas. Debido a su precisión y capacidad de generar grandes cantidades de datos, la dinamometría isocinética tiene especial importancia en la investigación, la rehabilitación de lesiones deportivas y la evaluación de pacientes sometidos a procedimientos quirúrgicos. Su principal limitación está relacionada con el elevado costo del equipamiento y la necesidad de personal especializado para su utilización e interpretación (Dvir, 2004; Kannus, 1994).

La confiabilidad de cualquier sistema dinamométrico depende en gran medida de la aplicación de protocolos estandarizados que controlen las condiciones en las que se realiza la medición. Antes de iniciar la prueba es necesario explicar claramente el procedimiento, comprobar que el paciente comprende las instrucciones y establecer una posición corporal que permita aislar adecuadamente el grupo muscular evaluado. También deben controlarse variables como el calentamiento previo, el tiempo de descanso entre intentos, la duración de la contracción, el número de repeticiones, la intensidad del esfuerzo

y el intervalo entre sesiones. La estabilización corporal constituye otro elemento esencial, porque movimientos accesorios pueden generar valores artificialmente elevados o disminuir la precisión de la medición. La aplicación sistemática de estas condiciones permite reducir el error de medición y facilita la comparación longitudinal de los resultados. En consecuencia, un protocolo cuidadosamente diseñado es tan importante como la calidad técnica del propio dispositivo (Brown & Weir, 2001; Stark et al., 2011).

La dinamometría moderna permite analizar numerosas variables relacionadas con la función muscular, superando ampliamente la simple medición de la fuerza máxima. Entre los parámetros más importantes se encuentran la fuerza máxima voluntaria, el torque máximo, el trabajo mecánico, la potencia, la velocidad de desarrollo de la fuerza, la resistencia muscular y los índices de fatiga. La fuerza máxima proporciona información sobre la capacidad absoluta para producir tensión, mientras que el torque considera la influencia del brazo de momento de la articulación. El trabajo representa la cantidad de energía mecánica producida durante un determinado movimiento, mientras que la potencia relaciona el trabajo realizado con el tiempo empleado. Por su parte, la velocidad de desarrollo de la fuerza permite analizar la rapidez con la que el sistema neuromuscular puede generar tensión, aspecto especialmente relevante en actividades deportivas y tareas funcionales que requieren respuestas rápidas. El análisis conjunto de estas variables ofrece una caracterización mucho más completa de la función muscular que la utilización de una única medida de fuerza (Dvir, 2004; Winter, 2009).

La dinamometría se ha consolidado como una herramienta de considerable utilidad en la evaluación clínica de pacientes con alteraciones musculoesqueléticas, neurológicas y funcionales. Su principal aporte consiste en transformar el rendimiento muscular en valores cuantificables que pueden compararse con mediciones anteriores, con la extremidad contralateral o con valores de referencia. En rehabilitación, esta información permite establecer una línea basal antes de iniciar el tratamiento y determinar objetivamente el grado de recuperación alcanzado posteriormente. Asimismo, puede utilizarse para identificar déficits de fuerza que no son suficientemente evidentes mediante la exploración visual o la evaluación manual. En pacientes sometidos a cirugía

ortopédica, por ejemplo, la medición dinamométrica puede contribuir a determinar la recuperación progresiva de la fuerza y orientar la transición entre diferentes fases de ejercicio terapéutico. Su aplicación, por tanto, favorece una práctica clínica basada en datos cuantitativos y facilita la individualización de las intervenciones (Bohannon, 2019; Stark et al., 2011).

En el campo de la neurología, las tecnologías de medición de fuerza tienen especial relevancia para cuantificar la pérdida de capacidad motora y analizar su evolución. En enfermedades neuromusculares progresivas, la disminución de la fuerza puede ser gradual y difícil de detectar mediante escalas clínicas convencionales, por lo que instrumentos con mayor sensibilidad pueden proporcionar información complementaria de gran valor. La dinamometría permite registrar cambios longitudinales en grupos musculares específicos y puede utilizarse para evaluar la evolución funcional asociada con enfermedades de la motoneurona, neuropatías periféricas, miopatías y otras condiciones que afectan la función neuromuscular. También puede contribuir a valorar la respuesta a programas de ejercicio y rehabilitación, siempre considerando las características fisiopatológicas de cada enfermedad. De esta manera, la medición cuantitativa de la fuerza facilita tanto el seguimiento clínico como la investigación de intervenciones destinadas a preservar o mejorar la capacidad funcional (Bohannon, 2019; Hogrel et al., 2006).

En ortopedia y traumatología, la dinamometría proporciona información objetiva acerca del impacto funcional producido por lesiones musculares, tendinosas, articulares y ligamentarias. Después de una intervención quirúrgica, la pérdida de fuerza puede representar una consecuencia importante de la inmovilización, el dolor, la inhibición muscular y el desuso, por lo que su seguimiento resulta fundamental para establecer la progresión de la rehabilitación. En lesiones de rodilla, hombro, cadera y tobillo, por ejemplo, las mediciones pueden utilizarse para comparar la capacidad muscular de la extremidad afectada con la contralateral y analizar la evolución de los músculos implicados en la estabilidad articular. La información obtenida permite al fisioterapeuta determinar si el paciente posee suficiente capacidad muscular para avanzar hacia actividades funcionales de mayor demanda. Además, la cuantificación objetiva puede contribuir a disminuir la dependencia de criterios exclusivamente subjetivos al

ISBN
978-9942-595-19-5

momento de decidir el retorno progresivo a determinadas actividades (Dvir, 2004; Stark et al., 2011).

En el ámbito deportivo, la dinamometría permite analizar con mayor precisión las características del rendimiento neuromuscular y detectar posibles desequilibrios entre grupos musculares. La identificación de diferencias relevantes entre extremidades o entre músculos agonistas y antagonistas puede aportar información para diseñar programas preventivos y de acondicionamiento específicos. La dinamometría isocinética, particularmente, permite estudiar el comportamiento del torque a diferentes velocidades angulares y establecer perfiles de rendimiento relacionados con las exigencias de una disciplina deportiva. También puede emplearse para valorar la recuperación después de una lesión y determinar si el deportista ha alcanzado niveles adecuados de fuerza antes de regresar progresivamente a la competición. Sin embargo, la decisión de retorno deportivo no debe depender exclusivamente de una variable dinamométrica, sino integrar criterios clínicos, funcionales, psicológicos y deportivos. Esta perspectiva multidimensional permite reducir el riesgo de interpretar de manera aislada una medición instrumental (Dvir, 2004; Kannus, 1994).

La confiabilidad constituye una propiedad esencial de cualquier instrumento destinado a medir la función muscular. Una prueba confiable debe producir resultados similares cuando se repite bajo condiciones equivalentes, siempre que el estado funcional del individuo permanezca estable. En dinamometría, la confiabilidad puede verse influenciada por factores relacionados con el instrumento, el protocolo, el examinador y el participante. La posición corporal, la estabilización, la familiarización con el procedimiento, el nivel de motivación, la velocidad de movimiento y el tiempo de recuperación entre intentos pueden modificar los resultados. Por ello, la utilización de procedimientos estandarizados y la capacitación de los evaluadores son fundamentales para reducir la variabilidad. Los estudios sobre dinamometría manual y sistemas instrumentales han mostrado que estos métodos pueden alcanzar niveles elevados de reproducibilidad cuando se controlan adecuadamente las condiciones de evaluación (Stark et al., 2011; Bohannon, 2019).

La validez de una medición hace referencia a la capacidad del procedimiento para evaluar realmente la característica que pretende cuantificar. En el caso de la dinamometría, esto implica determinar si el valor registrado representa de manera adecuada la capacidad del sistema muscular para generar fuerza bajo las condiciones específicas de la prueba. La reproducibilidad, por otra parte, permite establecer hasta qué punto los resultados pueden mantenerse cuando la evaluación es realizada en diferentes momentos o por distintos examinadores. Para interpretar correctamente los resultados no basta con observar un incremento o disminución absoluta de la fuerza; es necesario considerar el error estándar de medición, el cambio mínimo detectable, las características antropométricas del participante y la posible influencia del aprendizaje o la familiarización. Una modificación pequeña puede no representar una verdadera adaptación fisiológica si se encuentra dentro del margen esperado de error. Por ello, la interpretación clínica debe integrar el cambio cuantitativo con la evolución funcional y los demás hallazgos de la valoración (Bohannon, 2019; Hopkins, 2000).

La evolución de la tecnología digital ha transformado considerablemente la forma en que se evalúa la función muscular, permitiendo pasar de mediciones puntuales de fuerza a sistemas capaces de registrar múltiples variables biomecánicas de manera simultánea. Los dinamómetros electrónicos actuales pueden incorporar sensores de fuerza, sistemas de adquisición de datos y programas informáticos que permiten visualizar, almacenar y analizar el rendimiento muscular durante una prueba. Esta transformación facilita el seguimiento longitudinal del paciente, ya que los resultados pueden compararse entre diferentes sesiones y representarse mediante curvas o indicadores cuantitativos. Además, la digitalización reduce determinados errores asociados con la lectura manual de instrumentos analógicos y permite integrar los datos obtenidos con historias clínicas electrónicas y plataformas de análisis. De esta manera, la tecnología no solo mejora la precisión de la medición, sino que también favorece una interpretación más completa del comportamiento muscular y facilita la toma de decisiones basada en evidencia (Bohannon, 2019; Neumann, 2017).

ISBN
978-9942-595-19-5

Los sistemas isocinéticos computarizados representan una de las tecnologías más avanzadas para el análisis del rendimiento muscular. Estos dispositivos permiten controlar la velocidad angular del movimiento y registrar de manera continua el torque generado durante diferentes fases del recorrido articular. La posibilidad de evaluar múltiples velocidades facilita el estudio de las características mecánicas del músculo y permite establecer perfiles de fuerza relacionados con las demandas específicas de una actividad funcional o deportiva. Asimismo, los sistemas isocinéticos proporcionan información sobre el trabajo total, la potencia, la resistencia y las relaciones entre grupos musculares agonistas y antagonistas. Su utilización es particularmente importante en investigación, rehabilitación deportiva y evaluación de procesos posquirúrgicos, donde se requiere información detallada sobre la recuperación muscular. Sin embargo, el costo elevado, las dimensiones del equipamiento y la necesidad de personal especializado limitan su disponibilidad fuera de centros de investigación y clínicas con recursos tecnológicos avanzados (Dvir, 2004; Kannus, 1994).

La electromiografía constituye una herramienta tecnológica que permite estudiar la actividad eléctrica asociada con la contracción muscular y complementa la información proporcionada por la dinamometría. Mientras que el dinamómetro cuantifica la fuerza o el torque producido, la electromiografía permite analizar aspectos relacionados con la activación neuromuscular, el reclutamiento de unidades motoras y los patrones temporales de activación. La electromiografía de superficie es especialmente útil para estudiar músculos superficiales durante tareas funcionales, ejercicios terapéuticos y actividades deportivas. Su integración con sistemas de medición de fuerza permite analizar la relación entre activación eléctrica y producción mecánica, proporcionando información sobre la eficiencia neuromuscular. No obstante, factores como la colocación de los electrodos, las características del tejido adiposo, la interferencia de músculos vecinos y los movimientos del sensor pueden afectar la calidad de la señal. Por ello, su utilización requiere protocolos rigurosos y conocimientos específicos de fisiología y procesamiento de señales (Merletti & Parker, 2004; De Luca, 1997).

Los sensores inerciales han ampliado las posibilidades de evaluación de la función muscular al permitir registrar variables relacionadas con el movimiento

corporal durante actividades realizadas fuera de los laboratorios especializados. Estos dispositivos, que generalmente integran acelerómetros, giroscopios y, en algunos casos, magnetómetros, pueden colocarse sobre diferentes segmentos corporales para analizar aceleración, velocidad angular, orientación y características temporales del movimiento. Su aplicación puede ser especialmente útil para estudiar patrones funcionales relacionados con la marcha, el equilibrio, las transferencias y determinados gestos deportivos. Aunque estos sensores no miden directamente la fuerza muscular, pueden proporcionar información indirecta sobre el rendimiento neuromuscular cuando se combinan con dinamometría u otras técnicas instrumentales. Su reducido tamaño, portabilidad y capacidad para registrar actividades en condiciones reales representan ventajas importantes para la evaluación funcional fuera del entorno clínico tradicional (Picerno, 2017; Camara et al., 2015).

Las plataformas de fuerza constituyen otra tecnología relevante para el estudio del comportamiento neuromuscular, particularmente durante actividades en las que el cuerpo interactúa con una superficie de apoyo. Estos sistemas utilizan sensores capaces de registrar las fuerzas ejercidas sobre la plataforma y permiten analizar variables como las fuerzas de reacción del suelo, el centro de presión y diferentes componentes de la producción de fuerza durante tareas dinámicas. Aunque su finalidad no consiste en medir directamente la fuerza aislada de un músculo, proporcionan información importante sobre la respuesta integrada del sistema musculoesquelético durante actividades como saltos, aterrizajes, equilibrio, marcha y cambios de dirección. Cuando sus datos se combinan con electromiografía, análisis cinemático y dinamometría, es posible obtener una visión más completa de la interacción entre producción de fuerza, activación muscular y movimiento. Esta integración resulta particularmente relevante en biomecánica deportiva, rehabilitación y evaluación del control postural (Winter, 2009; Robertson et al., 2014).

La incorporación de inteligencia artificial y técnicas de aprendizaje automático está generando nuevas posibilidades para el análisis de grandes volúmenes de datos relacionados con la función muscular y el movimiento humano. Los algoritmos pueden utilizar información procedente de dinamómetros, electromiografía, sensores inerciales, plataformas de fuerza y sistemas de

captura del movimiento para identificar patrones complejos que podrían ser difíciles de reconocer mediante métodos convencionales. Estas herramientas tienen potencial para apoyar la clasificación de alteraciones funcionales, estimar el riesgo de determinadas lesiones, identificar cambios en el rendimiento y personalizar programas de rehabilitación. Paralelamente, el desarrollo de dispositivos portátiles permite trasladar parte de estas evaluaciones desde los laboratorios hacia ambientes cotidianos, favoreciendo un seguimiento más continuo de la actividad física y el rendimiento. Sin embargo, la aplicación clínica de estas tecnologías exige validar rigurosamente sus algoritmos, controlar la calidad de los datos y considerar aspectos relacionados con la privacidad, la interpretación profesional y la generalización de los resultados a diferentes poblaciones. Por ello, la innovación tecnológica debe desarrollarse de manera complementaria a la experiencia clínica y no como sustituto automático del juicio profesional (Picerno, 2017; Neumann, 2017).

La evaluación contemporánea de la función muscular se orienta progresivamente hacia la integración de diferentes tecnologías capaces de proporcionar información complementaria sobre el comportamiento neuromuscular. La dinamometría permite cuantificar la fuerza o el torque, la electromiografía aporta información sobre la activación eléctrica, las plataformas de fuerza analizan la interacción del cuerpo con las superficies de apoyo y los sensores inerciales permiten caracterizar el movimiento durante actividades funcionales. Cuando estas tecnologías se emplean de manera coordinada, es posible construir una descripción más completa del rendimiento muscular que la obtenida mediante una única herramienta. Esta integración resulta especialmente importante porque la función muscular no depende exclusivamente de la capacidad para generar fuerza máxima, sino también de la velocidad de producción de fuerza, coordinación, control postural, resistencia y capacidad para adaptar la respuesta a diferentes demandas. Por ello, la combinación de tecnologías representa una estrategia prometedora para avanzar desde una evaluación aislada de la fuerza hacia una valoración integral del funcionamiento neuromuscular (Neumann, 2017; Robertson et al., 2014).

El desarrollo de tecnologías cada vez más sofisticadas no elimina la necesidad de establecer protocolos rigurosos de medición. Por el contrario, cuanto mayor

sea la cantidad de información generada, más importante resulta controlar las condiciones bajo las cuales se obtienen los datos. La posición del participante, el procedimiento de calentamiento, la familiarización con el equipo, la instrucción verbal, el número de repeticiones, los períodos de recuperación y la calibración del instrumento pueden modificar significativamente los resultados. Asimismo, diferentes dispositivos pueden utilizar algoritmos o procedimientos de procesamiento de señales que generan resultados no necesariamente equivalentes. Por esta razón, los investigadores y profesionales deben documentar cuidadosamente las características del equipo, las condiciones experimentales y los procedimientos utilizados. La estandarización permite aumentar la reproducibilidad, facilitar la comparación entre investigaciones y mejorar la interpretación clínica de los cambios observados durante el proceso de rehabilitación (Hopkins, 2000; Stark et al., 2011).

La disponibilidad de mediciones cuantitativas permite avanzar hacia modelos de rehabilitación cada vez más personalizados. Los datos obtenidos mediante dinamometría pueden utilizarse para establecer niveles iniciales de fuerza, determinar déficits específicos y seleccionar cargas de ejercicio adecuadas para cada paciente. Las mediciones repetidas permiten comprobar si existe una progresión real y ajustar la intensidad del tratamiento de acuerdo con la respuesta individual. Cuando estos datos se combinan con información procedente de sensores de movimiento y electromiografía, el profesional puede analizar no solamente cuánto fuerza produce una persona, sino también cómo organiza el movimiento para conseguir un determinado resultado funcional. Esta información favorece una intervención centrada en objetivos concretos y permite reducir la dependencia de estimaciones exclusivamente subjetivas. De esta manera, las tecnologías de medición contribuyen a transformar la rehabilitación en un proceso sistemático de evaluación, intervención, reevaluación y ajuste terapéutico continuo (Bohannon, 2019; Neumann, 2017).

Las perspectivas futuras apuntan hacia el desarrollo de sistemas de evaluación más pequeños, económicos, portátiles y capaces de funcionar en condiciones reales de actividad. La miniaturización de sensores y el desarrollo de plataformas digitales permiten imaginar procedimientos de evaluación que combinen dinamometría, electromiografía, análisis de movimiento y algoritmos inteligentes

en dispositivos de uso cotidiano. Estos sistemas podrían facilitar el seguimiento remoto de pacientes, la detección temprana de cambios funcionales y el análisis longitudinal de la recuperación muscular. En el ámbito deportivo, podrían proporcionar información continua sobre la respuesta del organismo al entrenamiento y ayudar a identificar modificaciones en el rendimiento antes de que aparezcan signos evidentes de sobrecarga. Sin embargo, la incorporación de estas herramientas deberá estar acompañada de investigaciones que determinen su precisión, seguridad, validez clínica y aplicabilidad en diferentes grupos poblacionales. La innovación será realmente útil cuando los nuevos sistemas aporten información clínicamente relevante y puedan integrarse de manera responsable en los procesos de toma de decisiones (Picerno, 2017; Merletti & Parker, 2004).

El crecimiento de las tecnologías digitales para la evaluación muscular también plantea desafíos éticos y profesionales que deben ser considerados. La recopilación de grandes cantidades de información sobre el rendimiento físico de los individuos requiere mecanismos adecuados para proteger la confidencialidad y garantizar un uso responsable de los datos. En particular, cuando las evaluaciones se realizan mediante dispositivos portátiles conectados a plataformas digitales, es necesario establecer criterios claros sobre almacenamiento, acceso y utilización de la información. Asimismo, los resultados producidos mediante algoritmos de inteligencia artificial deben ser interpretados por profesionales capacitados, debido a que una predicción estadística no equivale necesariamente a un diagnóstico clínico. La tecnología debe funcionar como una herramienta de apoyo que complemente la valoración profesional, la historia clínica y el razonamiento clínico. En este sentido, la formación de los profesionales deberá incorporar competencias relacionadas con interpretación de datos, análisis crítico de evidencia y comprensión de las limitaciones de los instrumentos tecnológicos (Neumann, 2017; Bohannon, 2019).

La dinamometría y las tecnologías de medición han transformado profundamente la evaluación de la función muscular al permitir cuantificar de manera objetiva diferentes características del rendimiento neuromuscular. Desde los dinamómetros manuales hasta los sistemas isocinéticos, las plataformas de fuerza, la electromiografía, los sensores inerciales y las herramientas basadas

en inteligencia artificial, la evolución tecnológica ha ampliado considerablemente la capacidad para analizar el movimiento humano. Estas herramientas proporcionan información relevante para la fisioterapia, rehabilitación, neurología, ortopedia, medicina deportiva e investigación científica, permitiendo identificar déficits, establecer objetivos terapéuticos y monitorizar cambios funcionales con mayor precisión. No obstante, su utilidad depende de la adecuada selección del instrumento, la estandarización del protocolo, la calidad de los datos y la correcta interpretación profesional. Por ello, el futuro de la evaluación muscular no debe plantearse como una sustitución de los métodos clínicos tradicionales, sino como una integración progresiva entre exploración física, medición instrumental y análisis tecnológico. Esta perspectiva permitirá desarrollar procesos de valoración más precisos, individualizados y fundamentados en evidencia, contribuyendo finalmente a mejorar la prevención de lesiones, la rehabilitación funcional, el rendimiento físico y la calidad de vida de las personas.



CAPITULO X
VALORACIÓN DE LA RESISTENCIA MUSCULAR

La resistencia muscular constituye una capacidad física fundamental para el desempeño de las actividades cotidianas, el ejercicio físico, la práctica deportiva y numerosos procesos de rehabilitación. Se relaciona con la posibilidad de un músculo o grupo muscular de producir fuerza de manera repetida o de mantener una determinada producción de fuerza durante un periodo de tiempo sin experimentar una disminución excesiva del rendimiento. Desde una perspectiva funcional, esta capacidad no debe entenderse únicamente como la cantidad de repeticiones que una persona puede realizar, sino como el resultado de la interacción entre factores neuromusculares, metabólicos, cardiovasculares, biomecánicos y psicológicos. La valoración de esta cualidad permite identificar el nivel funcional de una persona, establecer objetivos de entrenamiento, detectar déficits musculares y controlar los cambios producidos por programas de ejercicio o rehabilitación. En este sentido, la resistencia muscular representa un componente importante de la aptitud física relacionada con la salud, debido a que una adecuada capacidad para sostener esfuerzos musculares contribuye a la autonomía funcional y al desempeño físico general (American College of Sports Medicine [ACSM], 2021). Por esta razón, su evaluación requiere procedimientos sistemáticos que permitan obtener información objetiva, reproducible y clínicamente relevante sobre la capacidad del sistema neuromuscular para tolerar esfuerzos prolongados o repetitivos.

La resistencia muscular puede definirse como la capacidad de un músculo o grupo muscular para realizar contracciones repetidas contra una resistencia determinada o mantener una contracción durante un tiempo específico antes de que aparezca una disminución significativa del rendimiento. Esta definición incluye dos manifestaciones principales: la resistencia muscular dinámica y la resistencia muscular estática o isométrica. En la primera, el músculo desarrolla movimientos repetidos, como ocurre durante las flexiones de brazos, las sentadillas o las elevaciones del tronco; en la segunda, se mantiene una determinada posición sin producir desplazamiento articular, como sucede durante una plancha abdominal. La distinción es importante porque cada modalidad impone demandas fisiológicas y neuromusculares diferentes y, por lo tanto, requiere protocolos de evaluación específicos. Además, el resultado de una prueba de resistencia muscular depende de la intensidad relativa de la

carga, la duración del esfuerzo, la velocidad de ejecución, el grupo muscular involucrado y el nivel de entrenamiento del individuo. Según Garber et al. (2011), la evaluación de la aptitud muscular debe considerar tanto la capacidad de producir fuerza como la posibilidad de sostener dicha producción durante esfuerzos repetidos. Por consiguiente, valorar la resistencia muscular exige seleccionar pruebas que correspondan al objetivo de la evaluación y que permitan interpretar el desempeño dentro del contexto particular de cada persona.

Aunque la fuerza y la resistencia muscular están estrechamente relacionadas, representan capacidades diferentes que no deben confundirse durante una valoración física. La fuerza muscular se refiere principalmente a la capacidad del sistema neuromuscular para generar tensión frente a una resistencia, mientras que la resistencia muscular implica la capacidad de mantener o repetir dicha producción de fuerza durante un periodo determinado. Una persona puede presentar niveles elevados de fuerza máxima y, simultáneamente, una resistencia muscular limitada cuando debe realizar contracciones repetitivas durante un tiempo prolongado. De manera inversa, un individuo puede presentar una fuerza máxima moderada pero ser capaz de realizar numerosas repeticiones con una carga relativamente baja. Esta diferencia tiene importantes consecuencias para la selección de las pruebas, ya que una evaluación basada exclusivamente en fuerza máxima no proporciona información suficiente sobre la capacidad de tolerar esfuerzos musculares repetidos. El ACSM (2021) señala que la aptitud muscular comprende diferentes dimensiones, entre ellas la fuerza, la resistencia y la potencia, las cuales deben ser consideradas de manera diferenciada. Desde el punto de vista de la valoración, esta distinción permite seleccionar instrumentos y protocolos que respondan específicamente a la pregunta planteada por el evaluador. Así, una prueba de una repetición máxima puede ser apropiada para estimar fuerza máxima, mientras que una prueba de repeticiones hasta un criterio determinado puede proporcionar información más relacionada con la resistencia muscular.

La resistencia muscular depende de una compleja interacción entre los mecanismos de producción de energía, la activación neuromuscular, las características de las fibras musculares, la disponibilidad de oxígeno y la

capacidad para tolerar los cambios metabólicos producidos durante el ejercicio. Durante una actividad muscular prolongada o repetitiva, el organismo debe mantener la producción de adenosín trifosfato (ATP), molécula indispensable para la contracción muscular. Dependiendo de la intensidad y duración del ejercicio, intervienen en diferentes proporciones los sistemas energéticos de los fosfágenos, la glucólisis y el metabolismo oxidativo. En esfuerzos de mayor duración y menor intensidad relativa, el metabolismo aeróbico adquiere una importancia progresivamente mayor, mientras que en actividades breves y de alta intensidad aumenta la contribución de las vías anaeróbicas. La capacidad de sostener la contracción también está condicionada por la disponibilidad de sustratos energéticos, la acumulación de metabolitos, la regulación del calcio intracelular y la capacidad del sistema neuromuscular para mantener una activación eficaz. Hargreaves y Spriet (2020) explican que las respuestas metabólicas durante el ejercicio están determinadas por la interacción entre la intensidad del esfuerzo, la duración de la actividad y las características del músculo implicado. Por ello, la resistencia muscular no puede atribuirse a un único mecanismo fisiológico, sino que debe comprenderse como una capacidad integrada en la que participan procesos centrales y periféricos.

La práctica sistemática de ejercicios orientados al desarrollo de la resistencia muscular produce adaptaciones que permiten mejorar progresivamente la capacidad para repetir contracciones o mantener esfuerzos. Entre estas modificaciones pueden encontrarse cambios en la coordinación neuromuscular, la eficiencia del reclutamiento de unidades motoras, la tolerancia metabólica y la capacidad del músculo para utilizar los sustratos energéticos disponibles. El entrenamiento también puede favorecer adaptaciones periféricas relacionadas con la utilización de oxígeno, la actividad enzimática y la capacidad oxidativa del tejido muscular. Estas modificaciones no se producen de forma idéntica en todas las personas, debido a que la respuesta depende del estado de entrenamiento, la edad, el sexo, la genética, la alimentación, el descanso y las características del programa de ejercicio. Kraemer y Ratamess (2004) señalan que las adaptaciones producidas por el entrenamiento de resistencia dependen de variables como la intensidad, el volumen, la frecuencia y los periodos de recuperación. Desde la perspectiva de la valoración, estas adaptaciones son

ISBN
978-9942-595-19-5

relevantes porque una prueba repetida después de varias semanas de entrenamiento puede mostrar cambios en la capacidad de trabajo incluso cuando la fuerza máxima no se modifica sustancialmente. Por consiguiente, la valoración de la resistencia muscular puede funcionar como una herramienta sensible para observar modificaciones funcionales derivadas de un programa de acondicionamiento físico.

El rendimiento obtenido en una prueba de resistencia muscular está condicionado por numerosos factores individuales y ambientales. Entre los más relevantes se encuentran la edad, el sexo, el nivel de condición física, la masa muscular, la composición corporal, el estado nutricional, la hidratación, la calidad del sueño, la experiencia previa con el ejercicio y la motivación durante la prueba. También influyen las características específicas del protocolo, como la carga utilizada, el número de repeticiones, el ritmo de ejecución, los intervalos de recuperación y los criterios empleados para determinar la finalización del ejercicio. Por ejemplo, una persona puede obtener resultados diferentes en dos pruebas aparentemente similares si una exige realizar movimientos a velocidad libre y otra establece una cadencia estricta. Asimismo, la familiarización con el movimiento puede mejorar el rendimiento debido a una mayor eficiencia técnica y no necesariamente como consecuencia de un incremento fisiológico de la resistencia. De acuerdo con Riebe et al. (2018), la evaluación de la condición física debe realizarse mediante procedimientos estandarizados que permitan controlar las variables capaces de modificar el resultado. En consecuencia, la valoración de la resistencia muscular debe desarrollarse bajo condiciones suficientemente controladas y con instrucciones claras, procurando que las diferencias observadas entre evaluaciones sucesivas reflejen cambios reales en la capacidad física y no modificaciones accidentales del procedimiento.

La composición corporal constituye uno de los factores que deben considerarse al interpretar el desempeño obtenido en las pruebas de resistencia muscular, debido a que la relación entre masa muscular, masa grasa y peso corporal puede modificar significativamente la dificultad relativa de determinados ejercicios. En actividades donde el individuo debe desplazar su propio cuerpo, como las flexiones de brazos, las dominadas, las sentadillas o determinados ejercicios abdominales, el peso corporal representa una carga externa que debe ser

movilizada repetidamente. Por esta razón, dos personas que presenten una capacidad neuromuscular semejante pueden obtener resultados diferentes cuando existe una diferencia considerable en su masa corporal o en la distribución de esta. La masa muscular, por otra parte, puede contribuir a la capacidad de producir y mantener fuerza, aunque una mayor cantidad de tejido muscular no garantiza necesariamente una resistencia superior, especialmente cuando la prueba exige mover una elevada masa corporal. El ACSM (2021) reconoce la composición corporal como un componente relevante dentro de la evaluación integral de la aptitud física y recomienda interpretar los resultados considerando las características individuales. En consecuencia, las pruebas de resistencia muscular deben analizarse evitando interpretaciones aisladas basadas únicamente en el número de repeticiones alcanzadas. Cuando sea necesario comparar individuos con características corporales diferentes, pueden utilizarse indicadores relativos o procedimientos estandarizados que permitan reducir la influencia del peso corporal sobre el resultado.

La edad constituye otro elemento fundamental en la valoración de la resistencia muscular, puesto que la capacidad de realizar esfuerzos repetidos cambia durante las diferentes etapas de la vida. Durante la infancia y la adolescencia se producen modificaciones asociadas con el crecimiento, la maduración neuromuscular y el desarrollo de la capacidad física. En la adultez, los niveles de resistencia muscular están influenciados principalmente por el entrenamiento, la actividad física habitual y otros factores individuales, mientras que durante el envejecimiento pueden aparecer modificaciones relacionadas con la pérdida progresiva de masa y función muscular. La literatura científica ha demostrado que el mantenimiento de la actividad física y del entrenamiento de fuerza puede contribuir a preservar la función muscular durante edades avanzadas (Fragala et al., 2019). Asimismo, pueden observarse diferencias promedio entre hombres y mujeres en algunas pruebas de resistencia muscular, aunque dichas diferencias no deben utilizarse para establecer conclusiones sobre la capacidad individual sin considerar el nivel de entrenamiento y las características antropométricas. Por ello, la interpretación de los resultados debe apoyarse, cuando sea posible, en valores normativos específicos por edad y sexo, además de considerar el contexto funcional de la persona evaluada. Una correcta valoración no pretende

simplemente clasificar al individuo como fuerte o débil, sino identificar su capacidad funcional en relación con criterios apropiados y establecer objetivos realistas de intervención.

La selección de las pruebas debe adaptarse a las características de la población evaluada, ya que no existe un único protocolo que pueda considerarse adecuado para todas las personas. En población infantil y juvenil, las evaluaciones deben ser comprensibles, seguras y apropiadas para el nivel de desarrollo del participante, evitando procedimientos que generen cargas innecesarias. En adultos físicamente activos pueden emplearse protocolos que impliquen un mayor volumen de trabajo y una exigencia superior, especialmente cuando el propósito es evaluar la condición física relacionada con el rendimiento. En personas mayores, la valoración debe prestar especial atención a la funcionalidad, la seguridad, el equilibrio y la capacidad para ejecutar movimientos cotidianos. En contextos clínicos, además, las pruebas deben seleccionarse considerando las limitaciones derivadas de enfermedades, lesiones o procesos de recuperación. Rikli y Jones (2013) destacan la utilidad de pruebas funcionales adaptadas para valorar diferentes componentes de la condición física en personas mayores, demostrando la importancia de utilizar protocolos adecuados a las características de cada población. En consecuencia, la valoración de la resistencia muscular debe entenderse como un proceso individualizado en el que la elección de la prueba depende del objetivo, la población, el estado físico y las condiciones de seguridad del evaluado.

Una valoración adecuada de la resistencia muscular debe cumplir principios metodológicos que permitan obtener resultados confiables y comparables. Entre los aspectos esenciales se encuentran la estandarización de las instrucciones, el control de la técnica, la definición precisa del inicio y final de la prueba, la utilización de criterios objetivos para contabilizar las repeticiones y la aplicación de condiciones similares en las evaluaciones sucesivas. También es importante controlar factores como el calentamiento previo, los periodos de descanso, el momento del día, la superficie utilizada y el equipamiento. La persona evaluada debe comprender claramente el movimiento que realizará y, cuando sea posible, debe recibir una sesión de familiarización antes de efectuar una prueba destinada a registrar resultados. La falta de estandarización puede producir

errores importantes, puesto que pequeñas modificaciones en la técnica o en el ritmo de ejecución pueden alterar considerablemente la cantidad de trabajo realizado. Según Riebe et al. (2018), la evaluación de la condición física debe desarrollarse mediante procedimientos reproducibles y adecuados al propósito específico de la medición. Por ello, el profesional responsable debe documentar las condiciones de la prueba y utilizar el mismo protocolo cuando se pretenda comparar resultados longitudinales. La calidad de la valoración no depende únicamente del instrumento empleado, sino también de la rigurosidad con que se aplica todo el procedimiento.

Las pruebas de repeticiones constituyen uno de los procedimientos más utilizados para valorar la resistencia muscular dinámica. Su principio consiste en solicitar al participante la realización de un movimiento determinado durante un periodo establecido, o hasta alcanzar un criterio de fatiga, registrando el número de repeticiones técnicamente correctas. Este tipo de evaluación puede aplicarse a diferentes grupos musculares y permite obtener una medida sencilla del rendimiento funcional. Las flexiones de brazos, sentadillas y determinados ejercicios del tronco son ejemplos de pruebas en las que el número de repeticiones puede utilizarse como indicador de resistencia muscular. Sin embargo, para que los resultados sean comparables es indispensable establecer una técnica uniforme y una cadencia determinada o claramente definida. El evaluador debe especificar qué características debe cumplir una repetición válida y cuándo debe detenerse la prueba. Además, el resultado puede estar influenciado por factores como la motivación, la familiarización con el movimiento y la capacidad de tolerar la incomodidad asociada con la fatiga. Por esta razón, el número absoluto de repeticiones debe interpretarse dentro del contexto del protocolo y, preferentemente, compararse con valores de referencia apropiados. La estandarización resulta especialmente importante cuando la prueba se utiliza para realizar seguimiento del entrenamiento o para determinar la evolución de una persona durante un programa de intervención (ACSM, 2021).

Las pruebas de resistencia muscular localizada buscan determinar la capacidad de un grupo muscular específico para mantener o repetir una acción bajo una carga determinada. Su utilidad radica en que permiten analizar de manera más concreta la función de determinadas regiones corporales, lo que puede resultar

especialmente relevante en programas de rehabilitación, entrenamiento deportivo y evaluación funcional. A diferencia de las pruebas generales de condición física, las pruebas localizadas pueden diseñarse para evaluar la musculatura de los miembros superiores, miembros inferiores o tronco. En este contexto, variables como el número de repeticiones, el tiempo de mantenimiento de una posición, la carga utilizada y la pérdida de rendimiento durante el protocolo pueden convertirse en indicadores de resistencia. La selección del ejercicio debe corresponder al grupo muscular que se desea analizar y debe minimizar la participación compensatoria de otros segmentos corporales. La resistencia localizada también puede evaluarse mediante cargas submáximas, permitiendo estudiar cuánto tiempo o cuántas repeticiones puede mantener una persona una determinada intensidad relativa. Según Suchomel et al. (2018), la evaluación de las capacidades musculares requiere considerar la especificidad de la tarea y las demandas particulares del movimiento. Por ello, una prueba de resistencia muscular localizada no debe interpretarse como una medida universal de la resistencia de todo el organismo, sino como una aproximación específica a la capacidad funcional del grupo muscular evaluado.

Las flexiones de brazos constituyen una de las pruebas tradicionales utilizadas para valorar la resistencia de la musculatura de los miembros superiores y de la región estabilizadora del tronco. El movimiento requiere la participación coordinada de músculos como el pectoral mayor, el tríceps braquial, el deltoides anterior y diferentes grupos musculares encargados de estabilizar la columna y la pelvis. Su principal ventaja consiste en que requiere poco equipamiento y puede aplicarse en diversos contextos educativos, deportivos y de acondicionamiento físico. No obstante, el protocolo debe especificar claramente la posición inicial, el rango de movimiento, la alineación corporal y los criterios para considerar válida cada repetición. Una ejecución incorrecta puede aumentar artificialmente el número de repeticiones o disminuir la exigencia muscular, comprometiendo la validez de la medición. Además, las diferencias en longitud de los segmentos corporales, masa corporal y experiencia previa con el ejercicio pueden influir en el desempeño. Por esta razón, la prueba debe interpretarse como un indicador funcional de resistencia muscular dentro de unas condiciones específicas y no como una medición aislada de la capacidad muscular global. La

utilización de protocolos estandarizados y criterios objetivos permite mejorar la reproducibilidad y facilita el seguimiento de los cambios producidos por programas de entrenamiento (ACSM, 2021).

Las sentadillas constituyen una alternativa frecuente para valorar la capacidad de resistencia de la musculatura de los miembros inferiores, particularmente de los extensores de la rodilla y de la cadera, además de los músculos encargados de estabilizar el tronco. La prueba puede realizarse con el peso corporal o mediante una resistencia externa, dependiendo del objetivo de la evaluación y del nivel de entrenamiento del individuo. Cuando se emplea como prueba de resistencia, suele registrarse el número de repeticiones técnicamente correctas durante un tiempo determinado o hasta alcanzar un criterio específico de fatiga. La profundidad de la sentadilla, la posición de los pies, la alineación de las rodillas y el ritmo de ejecución deben controlarse para reducir la variabilidad entre evaluaciones. También es importante considerar que la resistencia de los miembros inferiores tiene una estrecha relación con la capacidad funcional para caminar, subir escaleras, levantarse de una silla y realizar actividades de la vida diaria. En personas mayores, las pruebas funcionales de miembros inferiores adquieren especial importancia porque permiten aproximarse a la autonomía física y al riesgo de deterioro funcional (Rikli & Jones, 2013). Por tanto, la valoración de la resistencia de las piernas mediante movimientos como la sentadilla puede aportar información relevante tanto para el rendimiento físico como para la capacidad funcional, siempre que el protocolo se adapte a las condiciones de la persona evaluada.

La fatiga muscular constituye uno de los fenómenos centrales que deben considerarse durante la valoración de la resistencia, debido a que representa una disminución de la capacidad para producir o mantener la fuerza necesaria para continuar una tarea. Esta fatiga puede presentar componentes periféricos relacionados con modificaciones ocurridas dentro del músculo y componentes centrales asociados con cambios en la activación del sistema nervioso. Durante esfuerzos repetidos pueden acumularse metabolitos, modificarse las concentraciones de determinados iones y alterarse los mecanismos involucrados en la liberación y utilización del calcio, lo que puede reducir progresivamente la capacidad contráctil. Sin embargo, la aparición de fatiga no debe interpretarse

automáticamente como un indicador de daño muscular, pues constituye una respuesta fisiológica normal frente a determinados niveles de esfuerzo. En una prueba de resistencia muscular, el evaluador debe diferenciar entre fatiga esperable y signos que indiquen la necesidad de detener inmediatamente el procedimiento, como dolor agudo, alteraciones importantes de la técnica, mareo o síntomas incompatibles con una ejecución segura. En este sentido, la valoración debe combinar criterios de rendimiento con criterios de seguridad. Hargreaves y Spriet (2020) señalan que la fatiga durante el ejercicio surge de la interacción de múltiples mecanismos fisiológicos y no puede explicarse mediante una única causa. Comprender este fenómeno permite interpretar mejor por qué el rendimiento disminuye durante una prueba y por qué diferentes individuos pueden alcanzar la fatiga en momentos distintos aun realizando exactamente el mismo protocolo.

Las pruebas isométricas constituyen un recurso importante para valorar la capacidad de un grupo muscular para mantener una producción de fuerza durante un periodo determinado sin generar un desplazamiento articular significativo. En este tipo de evaluación, el individuo adopta una posición previamente establecida y debe mantenerla mientras el evaluador registra el tiempo durante el cual puede conservar una ejecución técnicamente adecuada. La duración del mantenimiento puede utilizarse como indicador de resistencia muscular, especialmente cuando el objetivo es analizar la capacidad de sostener una contracción submáxima. Una de las principales ventajas de las pruebas isométricas es que pueden aplicarse con procedimientos relativamente sencillos y con diferentes niveles de equipamiento. Además, son útiles cuando los movimientos dinámicos están contraindicados temporalmente o cuando se desea reducir el componente técnico asociado con la ejecución repetitiva. Sin embargo, la interpretación de sus resultados debe considerar la posición articular, el nivel de fuerza inicial, la intensidad relativa de la contracción y la estrategia utilizada por el individuo para mantener el esfuerzo. Según Oranchuk et al. (2019), las adaptaciones al entrenamiento isométrico presentan una importante especificidad relacionada con el ángulo articular y las características de la contracción. Por ello, el tiempo de mantenimiento obtenido en una prueba no debe interpretarse como una medida universal de resistencia, sino como una

expresión de la capacidad muscular bajo las condiciones específicas del protocolo.

La prueba de plancha constituye uno de los procedimientos más conocidos para valorar la capacidad de resistencia isométrica de la musculatura del tronco. Durante esta prueba, el individuo debe mantener una posición corporal determinada, procurando conservar la alineación entre hombros, pelvis y miembros inferiores mientras sostiene el cuerpo mediante los puntos de apoyo establecidos. Aunque tradicionalmente se considera una prueba abdominal, en realidad implica la participación coordinada de diferentes grupos musculares encargados de estabilizar la columna, la pelvis y las articulaciones proximales. Su utilidad radica en que requiere poco equipamiento y puede aplicarse tanto en contextos deportivos como educativos y de acondicionamiento físico. No obstante, la duración del mantenimiento no debe considerarse suficiente por sí misma para determinar la resistencia del tronco, porque la estrategia motora, la antropometría, la motivación y la técnica pueden modificar sustancialmente el resultado. El criterio de finalización debe estar relacionado con la pérdida de la posición establecida, evitando que el participante continúe mediante compensaciones que modifiquen la exigencia del ejercicio. McGill et al. (1999) destacaron la importancia de analizar la resistencia y la capacidad de estabilización del tronco mediante pruebas que consideren el comportamiento funcional de la musculatura lumbar. En consecuencia, la prueba de plancha puede aportar información útil, pero debe integrarse con otras medidas cuando se pretenda realizar una valoración completa de la resistencia del tronco.

La valoración de la resistencia de la musculatura lumbar tiene especial relevancia porque los músculos del tronco participan en el mantenimiento de la postura, la transmisión de fuerzas entre las extremidades y la estabilización de la columna durante diferentes actividades. Una capacidad insuficiente para mantener contracciones submáximas puede asociarse con dificultades para sostener determinadas posturas y con una menor tolerancia a tareas físicas prolongadas. Por esta razón, se han desarrollado diferentes protocolos destinados a valorar la resistencia de los músculos extensores y flexores del tronco. Estas pruebas suelen utilizar posiciones estandarizadas y registran el tiempo durante el cual la persona puede mantener una postura sin perder la alineación requerida. McGill

et al. (1999) propusieron un conjunto de pruebas de resistencia del tronco orientadas a examinar la capacidad de los músculos del tronco para sostener esfuerzos isométricos. La interpretación debe considerar que una mayor duración no necesariamente significa que todos los componentes de la función del tronco sean superiores, ya que la estabilidad depende también de la coordinación, la movilidad, la fuerza y el control motor. Desde una perspectiva clínica y deportiva, la evaluación debe utilizarse para identificar posibles desequilibrios entre diferentes grupos musculares y para orientar programas de acondicionamiento específicos. Así, la resistencia del tronco debe comprenderse como una capacidad funcional multidimensional y no únicamente como el tiempo máximo de permanencia en una postura.

La dinamometría constituye uno de los métodos instrumentales más utilizados para cuantificar la producción de fuerza muscular y puede adaptarse a la evaluación de la resistencia cuando se registran esfuerzos repetidos o mantenidos. Los dinamómetros permiten obtener valores objetivos de fuerza y, dependiendo del dispositivo y del protocolo, analizar variables como fuerza máxima, fuerza promedio, tiempo hasta la fatiga y disminución del rendimiento durante una serie de contracciones. En comparación con las pruebas exclusivamente basadas en el número de repeticiones, la dinamometría ofrece la posibilidad de cuantificar directamente la fuerza aplicada, proporcionando información más precisa sobre la respuesta mecánica del músculo. El dinamómetro manual, por ejemplo, puede emplearse para evaluar determinados grupos musculares en contextos clínicos, mientras que otros sistemas instrumentales permiten analizar contracciones de mayor complejidad. Stark et al. (2011) señalaron que la dinamometría manual puede constituir una herramienta útil para cuantificar la fuerza muscular cuando se aplican procedimientos estandarizados. Para valorar resistencia, el protocolo debe definir previamente la intensidad de la contracción, la duración, el número de repeticiones y los periodos de recuperación. El análisis de la disminución de la fuerza a lo largo de las contracciones puede aportar información sobre la fatigabilidad muscular y complementar los resultados obtenidos mediante pruebas funcionales.

Cuando se utiliza un dinamómetro para evaluar resistencia muscular, no solamente interesa conocer la fuerza inicial o máxima, sino también analizar cómo cambia la producción de fuerza a medida que aumenta la duración del esfuerzo. Una persona con buena capacidad de resistencia puede mantener una proporción relativamente elevada de su producción inicial durante una serie de contracciones, mientras que un individuo con menor tolerancia a la fatiga puede mostrar una disminución más pronunciada. Esta pérdida de rendimiento puede analizarse mediante diferentes índices derivados de la relación entre el rendimiento inicial y el obtenido al final de la prueba. No obstante, estos indicadores dependen directamente del protocolo utilizado, por lo que no deben compararse sin verificar que las condiciones de evaluación sean equivalentes. La duración del esfuerzo, la carga relativa, el número de contracciones y los intervalos de recuperación pueden modificar considerablemente el comportamiento de la curva de fuerza. Según Enoka y Duchateau (2016), la fatiga debe comprenderse como un fenómeno complejo que afecta la capacidad de producir fuerza y que depende de factores tanto fisiológicos como relacionados con la tarea. Por ello, el análisis dinamométrico de la resistencia resulta más informativo cuando se combina con variables temporales y de rendimiento, en lugar de limitarse a un único valor máximo.

La electromiografía de superficie constituye una herramienta tecnológica que permite registrar la actividad eléctrica asociada con la activación de determinados músculos durante una tarea. Su utilización en la valoración de la resistencia muscular permite estudiar modificaciones en el comportamiento neuromuscular a medida que progresa la fatiga. Durante una contracción sostenida o una actividad repetitiva pueden producirse cambios en diferentes características de la señal electromiográfica, los cuales pueden proporcionar información complementaria sobre la estrategia de activación muscular. Sin embargo, la interpretación de estos registros exige conocimientos técnicos y un protocolo cuidadosamente controlado, debido a que la señal puede verse afectada por la colocación de los electrodos, el tejido adiposo, el movimiento y la interferencia de músculos cercanos. De Luca (1997) explicó que la electromiografía de superficie puede utilizarse para estudiar la activación muscular y determinados fenómenos relacionados con la fatiga durante

ISBN
978-9942-595-19-5

contracciones sostenidas. Su principal valor en la evaluación de la resistencia consiste en aportar información que no puede obtenerse únicamente observando el número de repeticiones o el tiempo de mantenimiento. En consecuencia, la electromiografía no sustituye necesariamente a las pruebas funcionales tradicionales, sino que puede complementarlas al proporcionar una perspectiva fisiológica sobre cómo responde el sistema neuromuscular durante la tarea.

El desarrollo de dispositivos portátiles ha ampliado las posibilidades para evaluar el rendimiento muscular fuera de los laboratorios especializados. Acelerómetros, unidades de medición inercial, sensores de movimiento y plataformas digitales pueden utilizarse para registrar variables relacionadas con la cantidad, velocidad y calidad de los movimientos realizados durante determinadas tareas. Estas tecnologías permiten obtener datos sobre el comportamiento del individuo durante ejercicios repetitivos y pueden contribuir a identificar cambios en el rendimiento a lo largo del tiempo. Su incorporación resulta especialmente interesante en programas de entrenamiento y rehabilitación porque facilita el seguimiento frecuente y, en determinados casos, permite obtener información durante actividades realizadas en condiciones más próximas a las habituales. No obstante, la disponibilidad de tecnología no garantiza automáticamente una medición válida. Es necesario conocer la precisión del dispositivo, el procedimiento de calibración, la ubicación del sensor y las variables específicas que realmente pueden ser interpretadas. Camic et al. (2021) señalan que los dispositivos tecnológicos aplicados al ejercicio pueden proporcionar información objetiva, aunque su utilidad depende de la validez y fiabilidad de las mediciones. Por ello, los sensores portátiles deben considerarse herramientas complementarias dentro de un proceso de valoración y no sustitutos automáticos de los procedimientos estandarizados.

Las plataformas de fuerza representan otra alternativa instrumental para estudiar la respuesta mecánica durante tareas dinámicas y estáticas. Estos dispositivos permiten registrar las fuerzas ejercidas contra una superficie y, a partir de dichos registros, analizar diferentes características del movimiento. Aunque son ampliamente utilizadas para estudiar fuerza y potencia, también pueden proporcionar información relacionada con la resistencia cuando se emplean protocolos repetitivos o tareas prolongadas. La evolución de la fuerza durante

una serie de movimientos puede utilizarse para determinar la disminución del rendimiento y estudiar estrategias de compensación. Además, el análisis de variables temporales puede ayudar a identificar cambios en la capacidad para producir fuerza de manera consistente. En el ámbito deportivo, estas herramientas permiten estudiar movimientos funcionales con mayor precisión que la observación visual convencional. Sin embargo, su elevado costo y la necesidad de personal especializado pueden limitar su utilización en contextos educativos o clínicos con recursos reducidos. Por esta razón, la elección del instrumento debe responder a la pregunta de evaluación y no únicamente al nivel de sofisticación tecnológica disponible. Un método sencillo, bien estandarizado y apropiado para el objetivo puede proporcionar información más útil que un sistema avanzado utilizado sin un protocolo adecuado (ACSM, 2021).

La estandarización constituye uno de los elementos esenciales para garantizar la calidad de la valoración de la resistencia muscular. Un protocolo estandarizado debe definir con claridad la posición inicial, la técnica del movimiento, la carga, el ritmo, la duración, los descansos, los criterios de repetición válida y las condiciones para finalizar la prueba. También debe especificar las instrucciones verbales que recibirá el participante y las condiciones ambientales en las que se realizará la evaluación. Estos aspectos son especialmente importantes cuando se pretende comparar resultados obtenidos en diferentes momentos. Si una primera prueba se realiza con un calentamiento diferente, una velocidad distinta o un intervalo de recuperación más prolongado que la segunda, las diferencias encontradas pueden deberse al procedimiento y no a una verdadera modificación de la capacidad muscular. Hopkins (2000) destaca la importancia de analizar la fiabilidad y el error de medición cuando se utilizan pruebas para valorar cambios en el rendimiento. En consecuencia, un buen protocolo debe minimizar las fuentes de variabilidad y establecer procedimientos reproducibles. La documentación detallada del proceso permite además que otros profesionales puedan comprender cómo se obtuvo el resultado y facilita la comparación longitudinal dentro de un programa de entrenamiento, rehabilitación o seguimiento funcional.

La fiabilidad y la validez son propiedades fundamentales para determinar la calidad científica de una prueba de resistencia muscular. La fiabilidad hace

referencia a la consistencia de las mediciones cuando el procedimiento se repite bajo condiciones similares, mientras que la validez se relaciona con el grado en que una prueba realmente mide la capacidad que pretende evaluar. Una prueba puede ser altamente reproducible y, sin embargo, no representar adecuadamente la resistencia muscular que se desea analizar. Del mismo modo, una prueba conceptualmente apropiada puede mostrar resultados poco consistentes si existen grandes variaciones en la técnica, el evaluador o las condiciones de aplicación. Por ello, los estudios de validación deben analizar diferentes fuentes de error y determinar qué tan sensibles son los procedimientos para detectar cambios reales en el rendimiento. Hopkins (2000) señala que la interpretación de los cambios en las mediciones del rendimiento requiere considerar el error típico y la variabilidad propia del método. En el contexto de la resistencia muscular, estos principios son esenciales para evitar que pequeñas diferencias entre dos evaluaciones sean interpretadas erróneamente como adaptaciones fisiológicas. La calidad de una valoración depende, por tanto, de la combinación entre un protocolo válido, una aplicación fiable y una interpretación adecuada de los resultados.

La valoración de la resistencia muscular alcanza mayor utilidad cuando se integran diferentes métodos de acuerdo con el objetivo de la evaluación. Una prueba funcional puede proporcionar información sobre el rendimiento global de un movimiento, mientras que la dinamometría permite cuantificar la producción de fuerza y la electromiografía aporta información relacionada con la activación neuromuscular. De manera complementaria, los sensores de movimiento pueden aportar datos sobre la ejecución y la consistencia del patrón motor. Esta combinación permite superar algunas de las limitaciones asociadas con la utilización de una única prueba. Por ejemplo, un número elevado de repeticiones podría deberse parcialmente a una técnica deficiente, mientras que un registro dinamométrico puede revelar una disminución progresiva de la fuerza durante el mismo esfuerzo. Del mismo modo, una persona puede mantener una posición durante mucho tiempo utilizando estrategias compensatorias que reduzcan la participación del grupo muscular que se pretende valorar. Por esta razón, la interpretación debe considerar simultáneamente el rendimiento, la técnica y la respuesta fisiológica. La evaluación moderna de la resistencia muscular se

orienta progresivamente hacia modelos multidimensionales en los que diferentes fuentes de información permiten construir una descripción más completa de la capacidad funcional del individuo (Enoka & Duchateau, 2016).

La valoración de la resistencia muscular puede verse afectada por múltiples factores que deben ser identificados y controlados para garantizar que los resultados representen realmente la capacidad funcional del individuo. Entre estos factores se encuentran el nivel de entrenamiento previo, la alimentación, la hidratación, el descanso, la calidad del sueño, el estrés, la motivación, la familiarización con el ejercicio y las condiciones ambientales. También pueden influir variables relacionadas directamente con el procedimiento, como la hora del día, el calentamiento, la duración del descanso previo, la temperatura ambiental, la superficie utilizada y las instrucciones proporcionadas por el evaluador. En las pruebas repetitivas, la técnica constituye una fuente particularmente importante de variabilidad, ya que una modificación aparentemente pequeña en el rango de movimiento puede cambiar sustancialmente la demanda muscular. Asimismo, la motivación puede influir en la disposición del participante para continuar hasta alcanzar un criterio de fatiga. Hopkins (2000) señala que toda medición del rendimiento presenta un determinado error, por lo que resulta necesario diferenciar entre una modificación real de la capacidad física y la variabilidad inherente al procedimiento. En consecuencia, antes de interpretar una diferencia entre dos mediciones, el profesional debe verificar que las condiciones de ambas evaluaciones sean suficientemente similares y que no existan factores externos capaces de explicar el cambio observado.

La interpretación de los resultados debe realizarse considerando el propósito específico de la evaluación y las características individuales del participante. El número de repeticiones, el tiempo de mantenimiento o la disminución porcentual de la fuerza durante una prueba no poseen un significado universal independiente del protocolo empleado. Un resultado adquiere valor cuando puede compararse con un criterio normativo apropiado, con el rendimiento previo de la misma persona o con un objetivo funcional previamente establecido. En el ámbito deportivo, por ejemplo, puede ser relevante determinar si un atleta mantiene un nivel determinado de producción muscular durante una tarea

repetitiva; en rehabilitación, puede resultar más importante observar la evolución individual y la recuperación progresiva de la capacidad funcional. Las comparaciones deben considerar además la edad, el sexo, el nivel de actividad física y las características antropométricas cuando estas variables tengan influencia sobre el resultado. Riebe et al. (2018) señalan la importancia de interpretar las evaluaciones de aptitud física dentro del contexto de las características y objetivos de la persona evaluada. Por tanto, la interpretación no debe limitarse a etiquetar un resultado como "bueno" o "malo", sino que debe explicar qué significa dicho resultado en relación con la función, las demandas de la actividad y las necesidades de intervención.

La evaluación de la resistencia muscular tiene una importante aplicación en fisioterapia y rehabilitación, donde puede utilizarse para identificar déficits funcionales, establecer objetivos terapéuticos y controlar la evolución del paciente. Después de una lesión, una cirugía o un periodo prolongado de inactividad, la disminución de la capacidad muscular para sostener esfuerzos puede limitar actividades básicas y reducir la autonomía. En estos casos, las pruebas de resistencia permiten determinar el nivel funcional inicial y establecer una referencia que puede utilizarse para evaluar posteriormente los cambios producidos por la intervención. La valoración también puede contribuir a identificar diferencias entre miembros corporales y detectar la aparición de fatiga durante tareas específicas. Sin embargo, la selección de la prueba debe realizarse considerando las características clínicas del individuo y evitando demandas superiores a su capacidad actual. El entrenamiento de fuerza y resistencia muscular constituye un componente relevante de numerosos programas de rehabilitación debido a su capacidad para favorecer la recuperación de la función física y mejorar el desempeño en actividades cotidianas (ACSM, 2021). De esta manera, la valoración no debe considerarse un procedimiento aislado, sino una parte de un proceso continuo que comprende evaluación inicial, intervención, reevaluación y modificación de los objetivos terapéuticos.

En el ámbito deportivo, la valoración de la resistencia muscular permite conocer la capacidad de un atleta para mantener la calidad del movimiento durante esfuerzos repetidos y puede contribuir a la planificación de las cargas de

entrenamiento. La información obtenida puede utilizarse para identificar limitaciones específicas, controlar adaptaciones y reducir el riesgo de que una disminución excesiva del rendimiento afecte la ejecución técnica. En educación física, las pruebas de resistencia muscular pueden utilizarse para promover el conocimiento de la condición física y fomentar hábitos de actividad física, siempre que los procedimientos sean apropiados para la edad y se interpreten con criterios educativos y no exclusivamente competitivos. En personas mayores, estas evaluaciones también poseen valor para determinar la capacidad funcional y realizar seguimiento de programas destinados a conservar la independencia. Las perspectivas futuras apuntan hacia una integración creciente entre pruebas tradicionales e instrumentos tecnológicos capaces de registrar simultáneamente fuerza, movimiento, actividad neuromuscular y respuesta a la fatiga. Sin embargo, la incorporación de tecnologías avanzadas debe estar acompañada por procesos rigurosos de validación y estandarización. La evidencia disponible indica que el entrenamiento sistemático puede producir adaptaciones positivas en la función muscular, mientras que la valoración periódica permite determinar si esas adaptaciones se traducen en mejoras funcionales relevantes (Fragala et al., 2019). En conclusión, la valoración de la resistencia muscular debe concebirse como un proceso científico y funcional que combina métodos sencillos e instrumentales, interpreta los resultados según las características individuales y utiliza la información obtenida para orientar decisiones en salud, rehabilitación, educación física y rendimiento deportivo.

La valoración de la resistencia muscular representa un procedimiento esencial para comprender la capacidad del sistema neuromuscular de sostener esfuerzos prolongados o repetitivos. Su importancia trasciende el ámbito deportivo, debido a que esta capacidad interviene directamente en actividades de la vida diaria, procesos de rehabilitación, mantenimiento de la autonomía y promoción de la salud. La utilización de pruebas dinámicas, isométricas, dinamometría, electromiografía y tecnologías de análisis del movimiento permite estudiar diferentes dimensiones de la respuesta muscular. No obstante, ningún método debe interpretarse de manera aislada, puesto que cada prueba presenta ventajas, limitaciones y demandas específicas. La calidad de la evaluación depende de la selección apropiada del protocolo, la estandarización de las

condiciones, la fiabilidad del instrumento y la adecuada interpretación del resultado. Asimismo, factores como edad, sexo, composición corporal, experiencia motora, descanso y motivación deben ser considerados para evitar conclusiones incorrectas. Desde una perspectiva aplicada, la valoración periódica permite identificar cambios en la capacidad muscular y comprobar la efectividad de programas de entrenamiento o rehabilitación. El futuro de esta área probablemente estará marcado por una mayor integración entre métodos funcionales y tecnologías digitales, pero la sofisticación del instrumento no debe sustituir los principios básicos de validez, fiabilidad y pertinencia. En última instancia, valorar la resistencia muscular significa obtener información objetiva que pueda convertirse en decisiones útiles para mejorar la función, el rendimiento y la calidad de vida.



CAPITULO XI
EVALUACIÓN DE LA POTENCIA MUSCULAR

ISBN
978-9942-595-19-5

La potencia muscular constituye una de las capacidades físicas fundamentales para comprender el rendimiento del sistema neuromuscular, debido a que representa la capacidad de generar trabajo mecánico en un intervalo reducido de tiempo. A diferencia de la fuerza máxima, que se relaciona principalmente con la capacidad de producir elevados niveles de tensión, la potencia integra de manera dinámica la magnitud de la fuerza y la velocidad con la que se ejecuta el movimiento. Esta característica convierte a la potencia en un componente determinante para actividades que requieren aceleraciones rápidas, saltos, cambios de dirección, lanzamientos y acciones explosivas. Desde una perspectiva fisiológica, su expresión depende de la interacción entre las propiedades musculares, la activación neural, la coordinación intermuscular, la disponibilidad energética y las características mecánicas del movimiento. Por esta razón, su evaluación no debe limitarse a observar si una persona puede producir una determinada cantidad de fuerza, sino que debe considerar también la velocidad con la que dicha fuerza puede transformarse en movimiento. La literatura especializada ha señalado que la potencia muscular presenta una relación estrecha con diferentes indicadores del rendimiento físico y funcional, por lo que su valoración puede aportar información relevante tanto en contextos deportivos como clínicos y de investigación (Cormie et al., 2011a).

Desde el punto de vista biomecánico, la potencia puede entenderse como la velocidad a la que se realiza trabajo mecánico y, en el contexto del movimiento humano, se encuentra estrechamente relacionada con la capacidad de aplicar fuerza mientras se desplazan segmentos corporales o cargas externas. Esta característica implica que dos individuos pueden presentar niveles semejantes de fuerza máxima y, sin embargo, manifestar diferencias importantes en su capacidad para desarrollar potencia. Por ejemplo, un deportista puede ser capaz de producir una elevada fuerza contra una resistencia determinada, pero si necesita demasiado tiempo para alcanzar ese nivel de fuerza, su rendimiento en una acción explosiva puede verse limitado. De manera inversa, una persona con niveles moderados de fuerza puede presentar una excelente capacidad para aplicar fuerza rápidamente. Por ello, la evaluación de la potencia proporciona una perspectiva complementaria a las pruebas convencionales de fuerza, especialmente cuando el objetivo es analizar movimientos realizados a

velocidades elevadas. Cormie et al. (2011b) explican que la producción de potencia está condicionada por múltiples factores, entre ellos la relación fuerza-velocidad del músculo, el patrón de activación neuromuscular y las características de la tarea realizada.

La producción de potencia muscular está determinada en gran medida por la capacidad del sistema nervioso para activar de manera rápida y coordinada las unidades motoras. La activación neural influye sobre la cantidad de fibras musculares que participan en una acción, la frecuencia de descarga de las motoneuronas y la sincronización temporal de la actividad muscular. Durante acciones explosivas, estos mecanismos adquieren especial importancia porque el tiempo disponible para generar fuerza es limitado. En consecuencia, la capacidad de desarrollar rápidamente tensión muscular puede ser tan relevante como la magnitud absoluta de la fuerza alcanzada. Además, las características de las fibras musculares influyen considerablemente en la expresión de la potencia, ya que las fibras de contracción rápida presentan propiedades que favorecen una elevada velocidad de acortamiento y una rápida producción de fuerza. Sin embargo, la potencia no depende exclusivamente de la composición muscular, puesto que también intervienen la arquitectura del músculo, la rigidez de los tendones, la coordinación entre músculos agonistas y antagonistas y la experiencia motriz del individuo. Estos factores explican por qué la evaluación de la potencia requiere procedimientos capaces de captar tanto la dimensión temporal como la mecánica del movimiento (Suchomel et al., 2018).

Una característica esencial de la potencia muscular es su relación con la curva fuerza-velocidad. En términos generales, cuando aumenta la velocidad de acortamiento muscular, disminuye la capacidad de producir fuerza durante una contracción concéntrica; por el contrario, cuando la velocidad de movimiento se reduce, el músculo puede desarrollar niveles superiores de fuerza. La potencia máxima suele aparecer en una zona intermedia de esta relación, donde existe un equilibrio entre la fuerza producida y la velocidad alcanzada. Esta relación tiene importantes implicaciones para la evaluación, porque una prueba realizada exclusivamente con cargas muy elevadas puede proporcionar información principalmente sobre la fuerza, mientras que una prueba con resistencias muy ligeras puede enfatizar la velocidad de movimiento. Por consiguiente, la

valoración integral de la potencia puede requerir diferentes cargas y condiciones de ejecución para identificar el punto en el que el individuo alcanza su máxima producción de potencia. Suchomel et al. (2016) señalan que la evaluación de las características fuerza-velocidad puede ayudar a identificar perfiles individuales y orientar la selección de métodos de entrenamiento destinados a mejorar el rendimiento explosivo.

La evaluación de la potencia muscular puede realizarse mediante procedimientos de laboratorio y pruebas de campo, cada uno de los cuales presenta ventajas y limitaciones específicas. En los entornos de investigación, las plataformas de fuerza, los sistemas de análisis de movimiento, los dinamómetros y los dispositivos de medición de velocidad permiten obtener variables mecánicas detalladas, como fuerza, velocidad, desplazamiento, impulso y potencia. Estos instrumentos ofrecen una elevada precisión y permiten estudiar la producción de potencia durante diferentes fases de un movimiento. Sin embargo, su utilización puede requerir personal especializado, protocolos estandarizados y recursos económicos que no siempre están disponibles en centros educativos, deportivos o clínicos. Por esta razón, también se emplean pruebas funcionales de campo, como el salto vertical, el salto con contramovimiento, el lanzamiento de implementos y determinados protocolos de levantamiento de cargas. Estas pruebas pueden proporcionar información útil sobre la capacidad explosiva cuando se aplican bajo condiciones controladas y con criterios adecuados de medición (Cormie et al., 2011a).

Entre las pruebas de campo más utilizadas para valorar la potencia de las extremidades inferiores se encuentran los diferentes tipos de salto vertical. El salto con contramovimiento constituye una herramienta particularmente útil porque permite evaluar la capacidad del sistema neuromuscular para producir fuerza rápidamente durante una acción que combina una fase excéntrica y otra concéntrica. Durante esta prueba, el participante realiza un movimiento descendente seguido de una acción explosiva de extensión de las extremidades inferiores, y el rendimiento puede analizarse mediante la altura alcanzada, el tiempo de vuelo, la velocidad de despegue o variables derivadas de la fuerza registrada. La utilidad de estas pruebas aumenta cuando se emplean instrumentos capaces de registrar directamente las fuerzas ejercidas contra el

suelo, ya que permiten obtener una descripción más completa de la estrategia utilizada para producir el salto. Además, el análisis de la curva fuerza-tiempo puede revelar características que no son evidentes cuando únicamente se considera la altura alcanzada. De este modo, la evaluación de la potencia mediante saltos puede aportar información tanto sobre el resultado final del movimiento como sobre los mecanismos que contribuyen a su ejecución (McMahon et al., 2018).

La valoración de la potencia de las extremidades superiores requiere procedimientos diferentes de aquellos empleados para las extremidades inferiores, debido a las características biomecánicas y funcionales de los movimientos realizados. Entre las pruebas utilizadas se encuentran los lanzamientos de balón medicinal, los lanzamientos desde diferentes posiciones corporales y determinadas tareas de empuje realizadas a máxima velocidad. Estas evaluaciones permiten analizar la capacidad de producir fuerza rápidamente mediante la participación coordinada de los músculos del tronco y de las extremidades superiores. El lanzamiento de balón medicinal, por ejemplo, presenta la ventaja de ser relativamente sencillo de administrar y puede adaptarse a diferentes poblaciones mediante la modificación del peso del implemento y de la posición inicial. Sin embargo, para interpretar adecuadamente sus resultados es necesario controlar variables como la técnica, la distancia de lanzamiento, la masa del balón, la posición corporal y la experiencia previa del participante. La estandarización del protocolo es especialmente importante porque pequeñas modificaciones en la ejecución pueden alterar considerablemente el resultado obtenido. Por ello, las pruebas de potencia de miembros superiores deben considerar no solamente la distancia alcanzada, sino también las características mecánicas y técnicas que determinan el rendimiento durante la acción explosiva (Suchomel et al., 2018).

Las plataformas de fuerza constituyen uno de los instrumentos más relevantes para la evaluación objetiva de la potencia muscular, particularmente en movimientos dinámicos como los saltos. Estos dispositivos registran las fuerzas ejercidas por el individuo sobre una superficie y permiten analizar la evolución de dichas fuerzas a lo largo del tiempo. A partir de la señal obtenida pueden calcularse variables como fuerza máxima, impulso, tasa de desarrollo de la

fuerza, tiempo hasta alcanzar determinados niveles de fuerza y potencia mecánica. Esta información proporciona una descripción mucho más detallada que una medida aislada del rendimiento, porque permite identificar cómo se produce el movimiento y no únicamente cuál fue el resultado final. En el caso del salto vertical, por ejemplo, el análisis de la curva fuerza-tiempo puede revelar diferencias entre sujetos que alcanzan una altura similar mediante estrategias neuromusculares diferentes. Además, las plataformas permiten estudiar adaptaciones al entrenamiento y detectar cambios sutiles en el rendimiento antes de que estos sean evidentes mediante pruebas tradicionales. No obstante, la interpretación de sus resultados requiere conocimientos de biomecánica y una adecuada estandarización del procedimiento de evaluación (Cormie et al., 2011b).

Otro recurso importante para la valoración de la potencia muscular es la dinamometría, especialmente cuando se pretende cuantificar la capacidad de generar fuerza y velocidad en grupos musculares específicos. Los dinamómetros pueden utilizarse en condiciones isométricas, isocinéticas o dinámicas, dependiendo del dispositivo y del objetivo de la evaluación. La dinamometría isocinética permite controlar la velocidad angular del movimiento y registrar el torque producido durante diferentes rangos articulares, lo cual facilita el análisis de la función muscular de manera detallada. Aunque estas tecnologías ofrecen información precisa, su disponibilidad suele estar limitada por el costo de los equipos y la necesidad de personal capacitado para su utilización. Además, la potencia registrada mediante un movimiento aislado de una articulación no siempre representa de manera completa la potencia funcional producida durante actividades deportivas o cotidianas. Por esta razón, los resultados dinamométricos deben interpretarse dentro del contexto específico de la tarea evaluada. La combinación de dinamometría con pruebas funcionales puede proporcionar una visión más amplia de las capacidades neuromusculares del individuo (Stodden et al., 2008).

Los dispositivos portátiles y las tecnologías de medición basadas en sensores han ampliado considerablemente las posibilidades de evaluar la potencia muscular fuera de los laboratorios especializados. Entre estas herramientas se encuentran los acelerómetros, sensores inerciales, sistemas ópticos,

aplicaciones móviles y dispositivos capaces de registrar la velocidad de desplazamiento de una carga. Su principal ventaja consiste en permitir la obtención de información durante contextos más próximos a las condiciones reales de entrenamiento o competencia. La medición de la velocidad de movimiento, por ejemplo, puede utilizarse para estimar cambios en la producción de potencia durante ejercicios con cargas externas. Esta estrategia resulta especialmente interesante en el entrenamiento de fuerza, donde la pérdida de velocidad durante una serie puede utilizarse como indicador indirecto de fatiga neuromuscular. Sin embargo, la utilización de tecnologías portátiles exige conocer sus características de precisión, validez y confiabilidad antes de emplearlas para tomar decisiones importantes. Un dispositivo que proporciona mediciones rápidas y accesibles no necesariamente ofrece resultados equivalentes a los obtenidos mediante instrumentos de referencia. Por ello, la selección tecnológica debe basarse en evidencia científica y en el propósito específico de la evaluación (Weakley et al., 2021).

La confiabilidad constituye un criterio fundamental para determinar la utilidad de cualquier prueba destinada a valorar la potencia muscular. Una prueba confiable debe producir resultados relativamente estables cuando se repite bajo condiciones semejantes, siempre que no se haya producido un cambio real en la capacidad física del individuo. Para lograrlo es necesario controlar factores como el calentamiento, la hora de evaluación, el estado de recuperación, la familiarización con el procedimiento, la técnica de ejecución, el número de intentos y los períodos de descanso. La falta de estandarización puede generar variaciones que sean interpretadas erróneamente como cambios en la potencia. Por ejemplo, una mejora en el resultado de una prueba de salto puede deberse parcialmente a un aprendizaje técnico y no necesariamente a una adaptación fisiológica. Del mismo modo, una disminución del rendimiento puede estar asociada con fatiga, falta de sueño, estrés o recuperación insuficiente. Por esta razón, los estudios y protocolos de evaluación deben incorporar procedimientos sistemáticos que reduzcan las fuentes de error y permitan distinguir entre variabilidad propia de la medición y modificaciones reales del rendimiento (Cormie et al., 2011a).

La validez de una prueba representa otro aspecto esencial, ya que determina en qué medida el procedimiento realmente evalúa la capacidad que pretende medir. En el caso de la potencia muscular, una prueba debe guardar una relación razonable con las demandas mecánicas y fisiológicas de la actividad que se desea analizar. Por ejemplo, una prueba de salto puede ser altamente pertinente para estudiar la potencia de las extremidades inferiores en deportes donde predominan acciones explosivas de extensión, mientras que un lanzamiento de balón medicinal puede presentar mayor utilidad para determinadas actividades que requieren producción rápida de fuerza en las extremidades superiores y el tronco. Sin embargo, ninguna prueba aislada puede representar todas las dimensiones de la potencia humana. La especificidad del movimiento, la dirección de la fuerza, la velocidad de ejecución, la carga externa y la participación de diferentes segmentos corporales pueden modificar significativamente el resultado. Por ello, una evaluación rigurosa debe seleccionar pruebas que sean coherentes con las características de la población y con el objetivo establecido, evitando interpretar una medida específica como si constituyera una representación absoluta de toda la capacidad de potencia muscular (Suchomel et al., 2016).

La evaluación de la potencia muscular adquiere especial relevancia cuando se analiza la relación entre fuerza y velocidad durante diferentes condiciones de carga. La potencia no permanece constante a lo largo de todo el espectro de resistencias, sino que puede modificarse considerablemente dependiendo de la carga utilizada y de la capacidad individual para acelerar dicha resistencia. Por esta razón, una evaluación completa puede incorporar varias cargas para establecer el comportamiento individual de la relación fuerza-velocidad-potencia. En sujetos entrenados, esta información permite identificar si las principales limitaciones del rendimiento están relacionadas con la capacidad de producir fuerza elevada o con la capacidad de aplicar esa fuerza rápidamente. Esta diferenciación resulta importante porque dos personas con una potencia media similar pueden necesitar estrategias de entrenamiento completamente diferentes. Una puede beneficiarse de métodos orientados al desarrollo de la fuerza máxima, mientras que otra puede requerir estímulos que favorezcan la velocidad de aplicación de la fuerza. En este sentido, la valoración de la potencia

no debe considerarse exclusivamente como una medición final, sino también como una herramienta para comprender las características individuales del rendimiento neuromuscular (Suchomel et al., 2016).

El análisis de la tasa de desarrollo de la fuerza constituye otro componente importante en la evaluación de la capacidad explosiva. Esta variable representa la rapidez con la que una persona puede incrementar la fuerza durante una contracción y adquiere especial importancia en acciones donde el tiempo disponible para producir fuerza es muy reducido. En determinadas actividades deportivas, el individuo dispone de apenas unos cientos de milisegundos para generar una respuesta mecánica suficiente, por lo que alcanzar niveles elevados de fuerza máxima no garantiza necesariamente un rendimiento óptimo. La tasa de desarrollo de la fuerza depende de factores neurales y musculares, incluyendo la velocidad de activación de las unidades motoras, la coordinación intramuscular, la arquitectura muscular y las características del tendón. Su análisis mediante curvas fuerza-tiempo permite identificar diferentes fases de la producción de fuerza y establecer cómo se modifica la capacidad explosiva después de un programa de entrenamiento. Además, puede ser particularmente útil para detectar alteraciones neuromusculares que no siempre son evidentes mediante pruebas convencionales de fuerza máxima (Maffiuletti et al., 2016).

Las pruebas de salto representan una de las estrategias más utilizadas para valorar la potencia de las extremidades inferiores debido a que reproducen una acción explosiva relativamente sencilla y permiten obtener indicadores objetivos del rendimiento. Entre los protocolos más empleados se encuentran el salto con contramovimiento, el salto en sentadilla y el salto con caída previa. Aunque estas pruebas presentan características diferentes, todas requieren una rápida producción de fuerza durante la extensión de cadera, rodilla y tobillo. El salto con contramovimiento resulta especialmente interesante porque incorpora un ciclo de estiramiento-acortamiento, mediante el cual una acción excéntrica precede inmediatamente a una acción concéntrica. Este mecanismo permite aprovechar componentes musculares y tendinosos que contribuyen a incrementar la producción de fuerza y potencia. La comparación entre diferentes modalidades de salto puede proporcionar información sobre la utilización de la energía elástica y sobre la capacidad neuromuscular para coordinar acciones excéntricas y

concéntricas. Por ello, la selección de la prueba debe responder al objetivo de evaluación y a las características de la población estudiada (Markovic & Mikulic, 2010).

El ciclo de estiramiento-acortamiento constituye un mecanismo fundamental para comprender la producción de potencia durante numerosos movimientos humanos. En este fenómeno, una acción muscular excéntrica es seguida rápidamente por una acción concéntrica, lo que puede favorecer una producción de fuerza superior a la obtenida mediante una acción concéntrica aislada. La contribución de este mecanismo depende de la velocidad del movimiento, la duración de la transición entre las fases excéntrica y concéntrica, la rigidez musculotendinosa y la coordinación neuromuscular. Desde la perspectiva de la evaluación, las diferencias entre pruebas que incorporan o excluyen el contramovimiento pueden utilizarse para obtener información sobre la capacidad del individuo para aprovechar el ciclo de estiramiento-acortamiento. Una persona puede presentar un rendimiento elevado en un salto con contramovimiento debido a una adecuada utilización de los componentes elásticos y reflejos, pero obtener resultados diferentes en una prueba que comienza desde una posición estática. Esta comparación permite comprender que la potencia no es una cualidad completamente independiente del contexto, sino una capacidad cuya expresión depende de las características específicas de la tarea (Komi, 2003).

La potencia muscular también puede evaluarse mediante ejercicios realizados con cargas externas, especialmente cuando se pretende estudiar el comportamiento de la velocidad y la fuerza durante movimientos de resistencia. En estos procedimientos se pueden utilizar diferentes porcentajes de la carga máxima o diferentes niveles de resistencia para determinar cómo cambia la velocidad de ejecución y la potencia producida. La incorporación de tecnologías de medición de velocidad ha permitido desarrollar metodologías de entrenamiento y evaluación basadas en la velocidad de movimiento, ofreciendo una alternativa práctica frente a procedimientos tradicionales que dependen exclusivamente de la estimación de una repetición máxima. La velocidad puede aportar información inmediata sobre el estado neuromuscular del individuo y sobre el grado de esfuerzo requerido para completar una determinada carga. Además, el seguimiento sistemático de la velocidad puede ayudar a identificar

disminuciones del rendimiento asociadas con la fatiga y ajustar la carga de entrenamiento de acuerdo con el estado diario del deportista. Esta perspectiva favorece una individualización más precisa del estímulo y puede contribuir a mejorar la relación entre carga, fatiga y adaptación (Weakley et al., 2021).

La fatiga neuromuscular representa una variable que debe considerarse cuidadosamente durante la evaluación de la potencia, debido a que puede modificar de manera significativa la capacidad de producir fuerza rápidamente. Después de esfuerzos intensos, la disminución del rendimiento puede manifestarse mediante reducciones de la velocidad de movimiento, menor altura de salto, disminución de la potencia máxima o alteraciones en la estrategia utilizada para ejecutar una tarea. La evaluación repetida de estas variables permite estudiar la respuesta del sistema neuromuscular ante diferentes niveles de esfuerzo y puede aportar información útil para controlar la carga de entrenamiento. Sin embargo, es importante diferenciar la fatiga aguda de una disminución crónica del rendimiento, ya que ambas pueden presentar manifestaciones similares pero requieren interpretaciones diferentes. El seguimiento longitudinal de la potencia puede utilizarse como indicador funcional para valorar recuperación y adaptación, especialmente cuando las mediciones se realizan bajo protocolos estandarizados. Desde esta perspectiva, la potencia muscular no solo constituye una variable de rendimiento, sino también una herramienta potencial para monitorizar el estado funcional del sistema neuromuscular (Gathercole et al., 2015).

La evaluación de la potencia muscular en adultos mayores ha adquirido una importancia creciente debido a la relación existente entre esta capacidad y la independencia funcional. Con el envejecimiento se producen modificaciones en la masa muscular, la fuerza, la velocidad de contracción y la capacidad neuromuscular para responder rápidamente ante determinadas demandas. Sin embargo, la disminución de la potencia puede ser particularmente relevante porque las actividades cotidianas requieren con frecuencia respuestas rápidas, como levantarse de una silla, subir escaleras, recuperar el equilibrio después de una perturbación o evitar una caída. En consecuencia, una reducción significativa de la potencia puede comprometer la capacidad de realizar actividades de la vida diaria incluso antes de que se produzcan disminuciones

muy marcadas de la fuerza máxima. La valoración de esta capacidad permite identificar alteraciones funcionales y establecer estrategias de ejercicio orientadas a preservar la autonomía. Por ello, en personas mayores pueden utilizarse pruebas adaptadas de levantarse de una silla, velocidad de marcha, potencia durante movimientos funcionales y otras tareas que permitan evaluar la capacidad de generar fuerza rápidamente de forma segura (Bean et al., 2002).

En el ámbito deportivo, la evaluación de la potencia muscular desempeña un papel fundamental para caracterizar el perfil físico de los atletas y orientar los procesos de entrenamiento. Diferentes disciplinas deportivas presentan demandas específicas de potencia, por lo que la prueba seleccionada debe guardar relación con las acciones determinantes del rendimiento. En deportes como atletismo, baloncesto, voleibol y fútbol, por ejemplo, la capacidad de producir potencia en las extremidades inferiores puede influir sobre aceleraciones, saltos, cambios de dirección y acciones explosivas. En disciplinas que requieren lanzamientos, golpes o acciones rápidas de las extremidades superiores, la valoración debe incorporar tareas que involucren específicamente esos segmentos corporales. La información obtenida puede utilizarse para establecer valores de referencia, identificar necesidades individuales y evaluar las adaptaciones producidas por un programa de entrenamiento. No obstante, la interpretación de los resultados debe realizarse considerando el nivel deportivo, la edad, el sexo, la composición corporal, la experiencia de entrenamiento y las características propias de la disciplina. Una puntuación elevada en una prueba general de potencia no necesariamente significa que el deportista presente un rendimiento óptimo en todas las acciones específicas de su deporte (Cormie et al., 2011b).

En niños y adolescentes, la evaluación de la potencia muscular requiere consideraciones particulares relacionadas con el crecimiento y la maduración biológica. Durante estas etapas se producen cambios importantes en la masa corporal, la longitud de las extremidades, la composición muscular y la coordinación neuromuscular, lo que puede modificar considerablemente el rendimiento en pruebas de potencia. Por esta razón, comparar directamente los resultados de individuos de diferentes edades sin considerar su estado madurativo puede conducir a interpretaciones incorrectas. La utilización de

valores relativos al peso corporal, la talla o la masa libre de grasa puede contribuir a una valoración más contextualizada. Asimismo, las pruebas seleccionadas deben ser seguras, comprensibles y apropiadas para el nivel de desarrollo motor del participante. Las evaluaciones mediante saltos, lanzamientos y tareas de desplazamiento pueden ser útiles cuando se aplican protocolos estandarizados y supervisión adecuada. Desde una perspectiva educativa, además, estas pruebas pueden favorecer la identificación temprana de fortalezas y necesidades físicas, siempre evitando utilizar los resultados para etiquetar negativamente a los estudiantes o establecer comparaciones inapropiadas entre ellos (Lloyd et al., 2014).

La evaluación de la potencia también puede desempeñar una función importante en los procesos de rehabilitación y retorno a la actividad física después de una lesión. Durante la recuperación, la fuerza muscular puede mejorar progresivamente sin que necesariamente se recupere en igual medida la capacidad de producir fuerza rápidamente. Esta diferencia resulta relevante porque muchas actividades deportivas y funcionales requieren respuestas explosivas y rápidas, particularmente durante cambios de dirección, saltos, aterrizajes y acciones de aceleración. Por ello, la inclusión progresiva de pruebas de potencia puede aportar información adicional sobre el nivel de recuperación neuromuscular alcanzado. Sin embargo, estas pruebas deben introducirse de acuerdo con las características de la lesión, la fase de rehabilitación y los criterios establecidos por el equipo profesional responsable. En etapas iniciales pueden utilizarse tareas de baja intensidad y posteriormente progresar hacia acciones de mayor velocidad y complejidad. El objetivo no consiste simplemente en alcanzar un determinado valor de potencia, sino en recuperar una capacidad funcional comparable con las demandas de la actividad que la persona pretende retomar (Buckthorpe et al., 2019).

La composición corporal constituye otro factor que debe tenerse en cuenta durante la interpretación de las evaluaciones de potencia muscular. Las pruebas absolutas expresan el rendimiento total producido, mientras que las pruebas relativas consideran la relación entre la potencia y variables como la masa corporal. Esta diferencia puede modificar sustancialmente la interpretación de los resultados. Por ejemplo, una persona con una masa corporal elevada puede

producir una potencia absoluta considerable, pero presentar una potencia relativa menor cuando el resultado se divide por su peso corporal. En actividades donde es necesario desplazar el propio cuerpo, como saltar o acelerar, la potencia relativa puede tener una relevancia especial porque el individuo debe generar suficiente producción mecánica para mover su propia masa. En cambio, determinadas actividades donde se manipulan cargas externas pueden requerir una consideración más importante de la potencia absoluta. Por consiguiente, los investigadores y profesionales deben seleccionar el indicador más apropiado según la naturaleza de la tarea y evitar interpretar una única expresión de potencia como universalmente superior a las demás (Cormie et al., 2011a).

La normalización de los resultados constituye, por tanto, un procedimiento relevante para realizar comparaciones entre sujetos y grupos. La potencia absoluta permite conocer la cantidad total de producción mecánica, mientras que la potencia relativa puede ayudar a controlar parcialmente las diferencias asociadas con el tamaño corporal. Sin embargo, dividir simplemente la potencia por el peso corporal no siempre elimina todas las diferencias antropométricas que pueden influir sobre el rendimiento. Variables como la estatura, la longitud de los segmentos corporales, la masa muscular y la composición corporal pueden modificar la capacidad para ejecutar determinadas tareas. Por esta razón, algunos estudios han propuesto utilizar procedimientos estadísticos de escalamiento alométrico u otras formas de normalización para mejorar la interpretación de las diferencias individuales. En el ámbito aplicado, la elección del método debe ser coherente con la pregunta de evaluación y con la naturaleza biomecánica de la prueba. Una interpretación adecuada requiere comprender que los valores de potencia son el resultado de la interacción entre características fisiológicas y antropométricas, por lo que las comparaciones deben realizarse con criterios metodológicos rigurosos (Jaric, 2002).

La interpretación de los resultados obtenidos mediante pruebas de potencia muscular debe realizarse considerando simultáneamente los aspectos fisiológicos, biomecánicos y metodológicos que intervienen en el rendimiento. Un valor elevado de potencia no debe interpretarse de manera aislada como evidencia de una superioridad general del sistema neuromuscular, debido a que cada prueba representa solamente determinadas características del movimiento.

La potencia registrada durante un salto, por ejemplo, depende de la fuerza aplicada contra el suelo, la velocidad de ejecución, la coordinación entre segmentos, la masa corporal y la estrategia motora utilizada. De manera semejante, la potencia registrada durante un ejercicio con carga externa estará condicionada por la magnitud de la resistencia, el rango de movimiento y la técnica empleada. Por esta razón, los resultados deben compararse preferentemente con valores obtenidos mediante protocolos equivalentes y bajo condiciones similares. La utilización de valores normativos puede facilitar la clasificación del rendimiento, pero no debe sustituir el análisis individual. En el ámbito aplicado, es especialmente importante observar la evolución del mismo individuo a lo largo del tiempo, ya que los cambios longitudinales pueden proporcionar información más útil que una comparación transversal con una población diferente (Cormie et al., 2011a).

El control de la potencia durante el entrenamiento representa una de las aplicaciones más importantes de su evaluación. Cuando se dispone de dispositivos capaces de registrar la velocidad o la potencia de cada repetición, el profesional puede identificar modificaciones inmediatas en el rendimiento y ajustar la carga de trabajo. La disminución progresiva de la velocidad durante una serie puede indicar la aparición de fatiga y permitir la interrupción del ejercicio antes de alcanzar niveles excesivos de deterioro del rendimiento. Este enfoque se relaciona con los métodos de entrenamiento basados en la velocidad, que buscan individualizar la carga de acuerdo con la capacidad real del deportista en una sesión determinada. La ventaja de esta metodología consiste en que el mismo porcentaje de una repetición máxima puede representar diferentes niveles de esfuerzo dependiendo del estado de recuperación, experiencia y fatiga del individuo. De este modo, el seguimiento de la velocidad y la potencia puede contribuir a una prescripción más flexible y precisa del entrenamiento de fuerza. La evidencia disponible indica que la monitorización de la velocidad puede constituir una herramienta práctica para controlar la intensidad y las respuestas neuromusculares durante las sesiones de entrenamiento (Weakley et al., 2021).

A pesar de sus numerosas aplicaciones, la evaluación de la potencia muscular presenta determinadas limitaciones que deben reconocerse para evitar

interpretaciones excesivas. Una de ellas corresponde a la especificidad de las pruebas, debido a que el rendimiento obtenido en una tarea no necesariamente representa la capacidad de producir potencia durante otras acciones. Además, factores técnicos pueden influir considerablemente en los resultados, especialmente cuando la prueba requiere movimientos complejos. El aprendizaje del procedimiento, la motivación, el nivel de familiarización y la capacidad para coordinar los diferentes segmentos corporales pueden generar variaciones independientes de los cambios fisiológicos. También existen diferencias importantes entre dispositivos de medición, lo que dificulta comparar resultados obtenidos con instrumentos diferentes. Incluso pequeñas modificaciones en el protocolo, como el tiempo de descanso, la profundidad del movimiento, la carga utilizada o las instrucciones proporcionadas al participante, pueden alterar el resultado final. Por ello, la interpretación científica de la potencia exige protocolos cuidadosamente estandarizados y una comprensión clara de las fuentes potenciales de error (Cormie et al., 2011b).

Otra consideración importante corresponde a la necesidad de seleccionar pruebas que presenten adecuados niveles de validez y confiabilidad para la población evaluada. Un procedimiento puede ser técnicamente sofisticado y, sin embargo, no ser el más apropiado para una determinada población si las demandas de la prueba no corresponden con sus características funcionales. En personas mayores, por ejemplo, una prueba máxima de alta velocidad puede representar un riesgo innecesario si no existe una preparación adecuada, mientras que una tarea funcional de menor complejidad puede proporcionar información más pertinente. De manera similar, en deportistas altamente entrenados puede ser necesario utilizar instrumentos de mayor precisión para detectar pequeñas modificaciones en el rendimiento. La elección del método debe responder, por tanto, a una relación equilibrada entre precisión, seguridad, accesibilidad, especificidad y propósito de la evaluación. La combinación de diferentes procedimientos puede ser particularmente útil cuando se pretende obtener una caracterización integral del sistema neuromuscular. En este contexto, las pruebas de campo pueden aportar información funcional y práctica, mientras que los instrumentos de laboratorio pueden proporcionar un análisis mecánico más detallado (McMahon et al., 2018).

Las nuevas tecnologías están transformando progresivamente la manera de evaluar la potencia muscular. El desarrollo de sensores inerciales, plataformas portátiles, sistemas de captura de movimiento, aplicaciones móviles y algoritmos de análisis automatizado permite obtener información que anteriormente estaba limitada a laboratorios especializados. Estas herramientas pueden facilitar evaluaciones frecuentes y permitir el seguimiento de los deportistas en condiciones reales de entrenamiento. Asimismo, la integración de diferentes variables puede favorecer modelos de análisis capaces de identificar cambios en el rendimiento, fatiga y recuperación. Sin embargo, la innovación tecnológica debe acompañarse de procesos rigurosos de validación. La disponibilidad de una gran cantidad de datos no garantiza automáticamente una mejor evaluación; es necesario determinar qué variables son realmente relevantes, cuáles presentan suficiente precisión y cómo deben interpretarse. El futuro de la evaluación de la potencia probablemente estará relacionado con la combinación de mediciones biomecánicas, fisiológicas y contextuales, permitiendo desarrollar perfiles individuales cada vez más precisos. Esta evolución puede favorecer una toma de decisiones basada en datos, siempre que los profesionales mantengan criterios científicos para seleccionar y analizar la información obtenida (Weakley et al., 2021).

En conclusión, la evaluación de la potencia muscular constituye una herramienta fundamental para comprender la capacidad del sistema neuromuscular de producir fuerza rápidamente y transformar dicha capacidad en movimiento eficiente. Su importancia se extiende desde el deporte de alto rendimiento hasta la rehabilitación, la educación física, la prevención de limitaciones funcionales y el seguimiento de personas mayores. La valoración adecuada requiere comprender que la potencia depende de la interacción entre fuerza, velocidad, activación neural, características musculares, coordinación, técnica y condiciones específicas de la tarea. Por ello, ningún método puede considerarse universalmente superior, ya que la elección de la prueba debe responder al objetivo, población y contexto de evaluación. Las plataformas de fuerza, dinamómetros, pruebas de salto, lanzamientos, dispositivos de medición de velocidad y tecnologías portátiles pueden complementarse para obtener una descripción más completa del rendimiento. Asimismo, la confiabilidad, validez,

ISBN
978-9942-595-19-5

estandarización y correcta interpretación de los resultados son elementos indispensables para garantizar la utilidad científica y práctica de la evaluación. En perspectiva, el desarrollo tecnológico permitirá probablemente disponer de métodos cada vez más accesibles y precisos; sin embargo, el valor de estas herramientas dependerá siempre de la capacidad del profesional para seleccionar pruebas pertinentes, interpretar sus resultados y relacionarlos con las demandas funcionales reales del individuo (Cormie et al., 2011a; Suchomel et al., 2016).

CAPITULO XII
EVALUACIÓN DEL EQUILIBRIO Y LA ESTABILIDAD

ISBN
978-9942-595-19-5

El equilibrio y la estabilidad constituyen componentes esenciales del movimiento humano porque permiten mantener una orientación corporal adecuada frente a las demandas internas y externas que afectan al organismo. Desde una perspectiva funcional, el equilibrio puede entenderse como la capacidad del individuo para controlar la posición del cuerpo dentro de una determinada base de sustentación, mientras que la estabilidad hace referencia a la capacidad de conservar o recuperar dicho control cuando aparecen perturbaciones. Estos procesos no dependen exclusivamente de la fuerza muscular, sino de la interacción permanente entre los sistemas visual, vestibular y somatosensorial, además de la capacidad del sistema nervioso central para integrar y utilizar esa información de manera eficiente. Por esta razón, la evaluación del equilibrio no debe limitarse a observar si una persona permanece de pie sin caer, sino que debe considerar la calidad del control postural, la respuesta ante perturbaciones, la capacidad de desplazamiento del centro de masa y la adaptación a diferentes condiciones ambientales (Horak, 2006; Shumway-Cook & Woollacott, 2017).

Desde el punto de vista biomecánico, mantener el equilibrio implica regular continuamente la posición del centro de masa corporal con respecto a la base de sustentación. Cuando el cuerpo permanece inmóvil, pequeñas oscilaciones son inevitables debido a la respiración, los ajustes musculares, los movimientos articulares y las variaciones en la información sensorial. El sistema nervioso debe interpretar estas variaciones y producir respuestas motoras capaces de mantener el cuerpo dentro de límites funcionales de estabilidad. En situaciones dinámicas, esta regulación adquiere una mayor complejidad, debido a que el centro de masa puede desplazarse voluntariamente hacia diferentes direcciones sin que necesariamente se produzca una pérdida del equilibrio. Por ello, la estabilidad humana debe considerarse una propiedad dinámica y adaptable, relacionada con la capacidad de anticipar, responder y recuperar el control corporal frente a las exigencias de una tarea determinada (Horak, 2006; Peterka, 2002).

La evaluación del equilibrio representa un procedimiento fundamental en diferentes ámbitos de las ciencias de la salud, la rehabilitación, la actividad física y el deporte. Su importancia se relaciona con la posibilidad de identificar alteraciones del control postural, estimar el riesgo de caídas, establecer

diagnósticos funcionales, determinar necesidades de intervención y valorar los cambios producidos por un programa de ejercicio o rehabilitación. Una evaluación adecuada permite obtener información objetiva sobre la capacidad de una persona para controlar su cuerpo tanto en situaciones estáticas como durante movimientos funcionales. Además, los resultados pueden utilizarse para establecer una línea de base y posteriormente comparar el desempeño del individuo después de una intervención. En este sentido, la medición del equilibrio adquiere valor clínico cuando las pruebas seleccionadas poseen propiedades psicométricas adecuadas y cuando los resultados son interpretados considerando las características individuales de la persona evaluada (Mancini & Horak, 2010; Sibley et al., 2015).

El control postural depende de una compleja interacción entre mecanismos anticipatorios y reactivos. Los ajustes anticipatorios permiten preparar el cuerpo antes de ejecutar un movimiento voluntario que pueda modificar la posición del centro de masa, mientras que las respuestas reactivas aparecen después de una perturbación inesperada. Por ejemplo, antes de levantar una carga, caminar o mover rápidamente una extremidad, el sistema nervioso puede activar determinados grupos musculares para reducir la posibilidad de perder la estabilidad. En contraste, cuando una persona tropieza o recibe un empujón inesperado, debe generar una respuesta rápida que permita recuperar la posición corporal. Esta distinción resulta especialmente relevante durante la evaluación, porque una persona puede presentar un desempeño adecuado en condiciones predecibles y, al mismo tiempo, mostrar dificultades cuando se enfrenta a perturbaciones inesperadas (Horak, 2006; Shumway-Cook & Woollacott, 2017).

Uno de los elementos fundamentales para comprender la estabilidad corporal es la base de sustentación, definida por la superficie delimitada por los puntos de contacto del cuerpo con el soporte. Cuando una persona permanece de pie, los pies constituyen la principal base de sustentación; sin embargo, esta superficie puede modificarse durante actividades como caminar, correr, saltar o cambiar de dirección. La relación entre la base de sustentación y el centro de masa determina, en gran medida, las posibilidades de mantener el equilibrio. Una reducción de la superficie de apoyo suele incrementar las demandas de control

postural, mientras que una ampliación de la base puede proporcionar mayores posibilidades para conservar la estabilidad. Las pruebas de evaluación pueden aprovechar estas condiciones mediante tareas con diferentes posiciones de los pies, superficies de apoyo y demandas de movimiento, permitiendo identificar estrategias compensatorias y limitaciones funcionales (Winter, 1995; Horak, 2006).

El centro de masa también desempeña un papel fundamental en la evaluación de la estabilidad. Representa el punto teórico donde puede considerarse concentrada la masa corporal y cuya posición cambia continuamente durante las actividades humanas. En una postura estática, el organismo realiza pequeños ajustes para mantener el centro de masa dentro de límites compatibles con la estabilidad. Durante el movimiento, estos límites se modifican y requieren respuestas coordinadas de las extremidades inferiores, el tronco y otros segmentos corporales. La evaluación instrumental puede estudiar estos desplazamientos mediante variables relacionadas con el movimiento del centro de presión, proporcionando información sobre la cantidad y dirección de las oscilaciones posturales. Sin embargo, una mayor oscilación no siempre significa automáticamente un peor rendimiento, ya que la interpretación debe considerar la tarea, la población evaluada y la estrategia utilizada para alcanzar el objetivo postural (Prieto et al., 1996; Peterka, 2002).

El sistema visual constituye una de las principales fuentes de información utilizadas para regular el equilibrio. La visión proporciona referencias relacionadas con la orientación corporal, el movimiento del entorno y la posición del individuo respecto de objetos y superficies. Cuando las condiciones visuales cambian, el sistema nervioso debe aumentar la utilización de otras fuentes sensoriales para mantener la estabilidad. Esta característica puede observarse durante pruebas que comparan el desempeño con los ojos abiertos y cerrados. Una persona que depende excesivamente de la información visual puede experimentar un incremento considerable de la oscilación postural al cerrar los ojos, particularmente cuando también existen dificultades en la información somatosensorial o vestibular. Por esta razón, modificar las condiciones visuales constituye una estrategia frecuente para estudiar la contribución relativa de los

diferentes sistemas sensoriales al control postural (Peterka, 2002; Shumway-Cook & Woollacott, 2017).

La información vestibular complementa las señales visuales y somatosensoriales proporcionando información relacionada con los movimientos y la orientación de la cabeza. Los órganos vestibulares detectan aceleraciones angulares y lineales, contribuyendo a determinar la posición corporal en relación con la gravedad y al mantenimiento de la estabilidad durante el movimiento. Cuando existe una alteración vestibular, la persona puede presentar dificultades para mantener el equilibrio, especialmente cuando disminuye la disponibilidad de información visual o cuando se producen movimientos rápidos de la cabeza. La valoración del equilibrio, por tanto, puede proporcionar información funcional importante sobre la capacidad del individuo para integrar señales vestibulares con otras fuentes sensoriales. En contextos clínicos especializados, esta evaluación puede complementarse con pruebas específicas del sistema vestibular, pero incluso las pruebas funcionales generales pueden revelar patrones compatibles con dificultades en la utilización de esta información (Horak, 2006; Shumway-Cook & Woollacott, 2017).

La propiocepción constituye otra fuente esencial para el mantenimiento de la estabilidad. Los receptores ubicados en músculos, tendones y articulaciones proporcionan información sobre la posición y el movimiento de los segmentos corporales. Esta información permite al sistema nervioso determinar cómo están orientadas las diferentes partes del cuerpo y ajustar la actividad muscular de acuerdo con las necesidades de cada tarea. Durante la bipedestación, por ejemplo, las señales procedentes de los pies y de las articulaciones de los miembros inferiores contribuyen a detectar pequeños desplazamientos corporales. En determinadas condiciones experimentales, la alteración de la información somatosensorial puede aumentar considerablemente las demandas sobre los sistemas visual y vestibular. Por ello, las pruebas de equilibrio que modifican la superficie de apoyo pueden utilizarse para analizar la capacidad del individuo para adaptarse cuando la información proveniente de los pies y las articulaciones se vuelve menos precisa (Peterka, 2002; Horak, 2006).

La integración sensorial representa, por tanto, uno de los procesos centrales del control postural. El cerebro no utiliza de manera aislada la información visual, vestibular o somatosensorial, sino que combina estas señales para construir una representación funcional de la posición y el movimiento corporal. La importancia relativa de cada sistema puede cambiar según las características de la tarea y del entorno. Por ejemplo, caminar sobre una superficie estable y bien iluminada plantea demandas sensoriales diferentes a desplazarse sobre una superficie irregular con poca iluminación. Esta capacidad de modificar la dependencia de cada fuente de información se conoce como adaptación sensorial y resulta indispensable para un equilibrio eficiente. En consecuencia, una evaluación integral debe incluir condiciones suficientemente variadas para determinar no solamente si la persona puede mantener una postura, sino también si puede adaptar sus estrategias cuando cambian las condiciones sensoriales o mecánicas (Horak, 2006; Mancini & Horak, 2010).

El equilibrio estático constituye una de las dimensiones más utilizadas en las evaluaciones tradicionales. Generalmente implica mantener una posición corporal determinada durante un período de tiempo sin realizar desplazamientos voluntarios importantes. Las tareas pueden variar desde permanecer de pie con los pies separados hasta adoptar posiciones más exigentes, como mantener los pies juntos o permanecer sobre una sola extremidad. Aunque estas pruebas parecen sencillas, requieren una coordinación constante entre los sistemas sensoriales y musculares. Además, la dificultad puede modificarse mediante cambios en la superficie, reducción de la base de sustentación, eliminación de la información visual o incorporación de movimientos de cabeza. La evaluación sistemática de estas condiciones permite identificar diferencias en la capacidad de control postural y observar estrategias compensatorias que podrían pasar desapercibidas durante una observación cotidiana (Sibley et al., 2015).

Por otro lado, el equilibrio dinámico se relaciona con la capacidad de mantener o recuperar la estabilidad durante el movimiento. Actividades como caminar, girar, subir y bajar escalones, alcanzar objetos, levantarse de una silla o cambiar rápidamente de dirección exigen una regulación dinámica del centro de masa. Estas tareas son especialmente relevantes porque representan situaciones habituales de la vida diaria y, al mismo tiempo, incorporan múltiples

componentes del control motor. Una persona puede presentar un buen desempeño durante una prueba estática y, sin embargo, experimentar dificultades durante tareas dinámicas que requieren anticipación, coordinación y adaptación rápida. Por este motivo, las evaluaciones funcionales contemporáneas suelen incorporar actividades dinámicas para obtener una visión más completa de la capacidad de equilibrio del individuo (Mancini & Horak, 2010; Sibley et al., 2015).

La elección de una prueba de equilibrio debe responder a los objetivos específicos de la evaluación. En población clínica puede ser necesario determinar el riesgo de caídas, identificar limitaciones funcionales o cuantificar la evolución de una intervención. En el ámbito deportivo, en cambio, puede ser más relevante analizar la capacidad de estabilizar el cuerpo después de un salto, controlar una extremidad durante una tarea unilateral o responder rápidamente a cambios de dirección. En adultos mayores, las pruebas pueden centrarse en actividades funcionales relacionadas con la marcha y las transferencias. Por consiguiente, no existe una única prueba capaz de evaluar todas las dimensiones del equilibrio. La selección debe considerar la edad, el nivel funcional, las características de la actividad, el contexto de aplicación y las propiedades de medición del instrumento elegido (Sibley et al., 2015).

Entre las herramientas clínicas más utilizadas se encuentran las escalas funcionales de equilibrio, las pruebas de apoyo unipodal, las tareas de levantarse y caminar, las evaluaciones de alcance funcional y diferentes protocolos de marcha. Estas herramientas presentan la ventaja de ser relativamente sencillas, económicas y aplicables en diversos contextos. Además, muchas de ellas requieren poco equipamiento y pueden incorporarse fácilmente a una valoración fisioterapéutica o deportiva. No obstante, su utilidad depende de que el evaluador siga procedimientos estandarizados, controle las condiciones de la prueba y registre los resultados de manera consistente. La estandarización resulta especialmente importante cuando se pretende comparar resultados entre diferentes momentos o entre diferentes evaluadores (Mancini & Horak, 2010; Sibley et al., 2015).

La evaluación instrumental proporciona una perspectiva complementaria mediante dispositivos capaces de cuantificar variables relacionadas con el control postural. Las plataformas de fuerza, por ejemplo, permiten registrar la distribución de fuerzas ejercidas sobre la superficie de apoyo y estimar el desplazamiento del centro de presión. A partir de estos registros pueden obtenerse variables como amplitud de desplazamiento, velocidad, longitud de la trayectoria y características temporales de las oscilaciones. Esta información puede proporcionar una descripción más detallada del comportamiento postural que la obtenida mediante una escala clínica. Sin embargo, la complejidad de los instrumentos y el costo asociado a su utilización pueden limitar su disponibilidad en determinados contextos. Por ello, las herramientas instrumentales y clínicas deben entenderse como métodos complementarios y no necesariamente como alternativas excluyentes (Prieto et al., 1996).

La posturografía constituye una metodología particularmente relevante para el estudio cuantitativo del equilibrio. Mediante diferentes sistemas de medición es posible analizar cómo responde una persona ante cambios en las condiciones de soporte o en la información sensorial. La posturografía puede utilizarse para estudiar el control del equilibrio en condiciones estáticas y dinámicas, así como para identificar patrones de respuesta ante perturbaciones. Su valor aumenta cuando los protocolos están correctamente estandarizados y cuando las variables seleccionadas poseen una adecuada fiabilidad. Además, la información instrumental puede ayudar a comprender mecanismos que no siempre son evidentes mediante la observación visual. Sin embargo, los resultados deben interpretarse dentro del contexto funcional, debido a que un indicador aislado de oscilación postural no necesariamente refleja toda la capacidad de equilibrio de una persona (Peterka, 2002).

La fiabilidad constituye un criterio fundamental para determinar la utilidad de cualquier instrumento de evaluación. Una medida fiable debe producir resultados relativamente consistentes cuando la prueba se repite bajo condiciones comparables. En el caso del equilibrio, la fiabilidad puede verse afectada por factores como el aprendizaje de la tarea, la fatiga, el nivel de atención, las condiciones ambientales y las instrucciones proporcionadas por el evaluador. Por esta razón, los protocolos deben establecer claramente la duración de cada

prueba, el número de intentos, los períodos de descanso y los criterios para finalizar la tarea. Una metodología estandarizada permite reducir la variabilidad no deseada y facilita la interpretación de los cambios observados entre evaluaciones (Mancini & Horak, 2010).

La validez representa otro elemento indispensable, ya que determina en qué medida una prueba realmente evalúa el constructo que pretende medir. Una prueba de equilibrio puede mostrar una excelente reproducibilidad y, aun así, proporcionar información limitada sobre determinadas dimensiones del control postural. Por ejemplo, una prueba exclusivamente estática puede ser insuficiente para valorar las dificultades que aparecen durante la marcha o ante perturbaciones inesperadas. Por ello, la validez debe analizarse en relación con el propósito de la evaluación. Una herramienta puede ser apropiada para detectar cambios funcionales generales, mientras que otra puede resultar más adecuada para investigar mecanismos específicos del control postural. La selección correcta exige conocer las propiedades psicométricas y las características de la población en la cual el instrumento ha sido estudiado (Sibley et al., 2015).

Otro aspecto importante es la sensibilidad al cambio, particularmente cuando la evaluación se utiliza para determinar los efectos de una intervención. Una prueba debe ser capaz de detectar modificaciones clínicamente relevantes sin confundirlas con la variabilidad natural de la medición. Esto es especialmente importante en programas de entrenamiento del equilibrio, rehabilitación neuromuscular o prevención de caídas. Si una herramienta es poco sensible, puede mostrar puntuaciones similares antes y después de una intervención aunque se hayan producido mejoras funcionales reales. En consecuencia, la interpretación de los resultados debe considerar tanto el cambio absoluto como el error de medición y, cuando sea posible, los valores de cambio mínimo detectable o clínicamente importante disponibles para la población estudiada (Mancini & Horak, 2010).

En síntesis, la evaluación del equilibrio y la estabilidad debe comprenderse como un proceso multidimensional que integra factores biomecánicos, sensoriales, neuromusculares, cognitivos y ambientales. La capacidad de permanecer

estable no depende únicamente de la fuerza de los músculos o de la ausencia de movimientos corporales, sino de la habilidad para organizar respuestas apropiadas ante las demandas de cada situación. Una evaluación de calidad debe combinar, cuando sea pertinente, observación clínica, pruebas funcionales y mediciones instrumentales. Además, los resultados deben interpretarse considerando las características individuales y el contexto en que se desarrolla la actividad. Esta perspectiva permite pasar de una concepción simplificada del equilibrio como una capacidad exclusivamente estática hacia una visión contemporánea en la que el control postural se entiende como un proceso activo, flexible y continuamente adaptativo (Horak, 2006; Shumway-Cook & Woollacott, 2017).

ISBN
978-9942-595-19-5



CIENCIA DIGITAL EDITORIAL
ISBN: 978-9942-595-19-5

CAPITULO XIII

EVALUACIÓN MUSCULAR EN NIÑOS Y ADOLESCENTES

La evaluación muscular en niños y adolescentes constituye un componente esencial de la valoración integral del crecimiento, el desarrollo motor, la condición física y la funcionalidad. La fuerza muscular no debe interpretarse únicamente como la capacidad de producir una determinada cantidad de fuerza, sino como una característica que evoluciona conjuntamente con la maduración neuromuscular, el crecimiento corporal, la composición corporal y las experiencias de movimiento. Durante la infancia y la adolescencia se producen modificaciones importantes en la estructura y función del sistema musculoesquelético, por lo que la valoración muscular debe adaptarse a las características propias de cada etapa del desarrollo. En este sentido, la evaluación objetiva permite identificar fortalezas, déficits, asimetrías y cambios relacionados con la maduración o con determinadas condiciones clínicas. La literatura reciente destaca que la fuerza muscular constituye un indicador relevante del desarrollo y de la aptitud física relacionada con la salud en población pediátrica (Karagianni et al., 2025).

El proceso de evaluación muscular pediátrica presenta particularidades que lo diferencian de la valoración realizada en adultos. Los niños pequeños pueden presentar dificultades para comprender instrucciones complejas, mantener una contracción voluntaria máxima o reproducir exactamente una determinada posición corporal. Por esta razón, el evaluador debe emplear instrucciones sencillas, demostraciones prácticas, estímulos motivacionales apropiados y procedimientos estandarizados. La capacidad de generar mediciones reproducibles incluso en edades tempranas ha sido demostrada mediante instrumentos como la dinamometría manual, aunque la confiabilidad puede variar según la edad, el grupo muscular y la metodología empleada. Estudios realizados en niños de dos a cuatro años han encontrado niveles de confiabilidad que permiten considerar viable la medición de fuerza isométrica cuando se aplican protocolos adecuados (Stuberg et al., 2005).

Desde una perspectiva fisiológica, la fuerza muscular infantil se encuentra estrechamente relacionada con la maduración del sistema nervioso y el desarrollo progresivo de la masa muscular. Durante los primeros años de vida, las mejoras en el rendimiento muscular están asociadas en gran medida con cambios en la coordinación neuromuscular, el reclutamiento de unidades

motoras y la capacidad de controlar el movimiento. Posteriormente, durante la pubertad, las modificaciones hormonales favorecen cambios más pronunciados en masa muscular, dimensiones corporales y producción de fuerza, particularmente en los varones. Por esta razón, comparar directamente la fuerza de niños de diferentes edades sin considerar su desarrollo biológico puede conducir a interpretaciones incorrectas. Los estudios normativos muestran que la fuerza isométrica aumenta progresivamente durante la infancia y que después de aproximadamente los 10 años pueden aparecer diferencias relacionadas con el sexo y la maduración (Daloia et al., 2018).

La edad cronológica constituye una variable fundamental en la interpretación de los resultados, pero no es suficiente por sí sola para comprender el rendimiento muscular durante la adolescencia. Dos adolescentes de la misma edad pueden encontrarse en diferentes momentos de maduración biológica y presentar diferencias sustanciales en talla, masa corporal, masa magra y desarrollo puberal. Por ello, una evaluación rigurosa debe registrar variables antropométricas y, cuando sea pertinente, indicadores relacionados con la maduración. La interpretación puede realizarse mediante valores absolutos y relativos, por ejemplo, fuerza ajustada al peso corporal o a la masa corporal, dependiendo del objetivo de la evaluación. Esta consideración resulta especialmente importante cuando se pretende comparar participantes de distintas edades o utilizar los resultados para seguimiento longitudinal.

Uno de los métodos tradicionales de evaluación muscular es la prueba muscular manual. Esta técnica permite valorar la capacidad de un grupo muscular para realizar un movimiento contra la gravedad y, posteriormente, contra una resistencia aplicada por el evaluador. Su principal ventaja es la sencillez, el bajo costo y la posibilidad de utilizarla prácticamente en cualquier contexto clínico o educativo. Sin embargo, la prueba manual presenta limitaciones cuando se pretende detectar diferencias pequeñas entre individuos o cambios sutiles durante un programa de intervención. En niños, además, el resultado puede estar influenciado por la comprensión de la instrucción, la motivación y la experiencia previa con las pruebas.

La dinamometría manual constituye una alternativa cuantitativa que permite registrar la fuerza producida durante una contracción, generalmente isométrica. El dispositivo proporciona una medida objetiva que puede utilizarse para establecer valores iniciales, comparar ambos lados corporales y monitorizar cambios a lo largo del tiempo. La evidencia disponible indica que la dinamometría manual puede presentar buena confiabilidad en población pediátrica cuando se controlan adecuadamente la posición corporal, la estabilización, el lugar de aplicación del dispositivo y las instrucciones proporcionadas al participante. Una revisión sistemática reciente encontró que los protocolos estandarizados y la estabilización adecuada favorecen una buena confiabilidad intra e interevaluador, aunque también señaló una importante heterogeneidad entre los estudios existentes (Karagianni et al., 2025).

La estandarización constituye, por tanto, uno de los principios fundamentales de la evaluación muscular pediátrica. No basta con utilizar un instrumento técnicamente válido; es necesario controlar la posición inicial, el rango articular, la estabilización de los segmentos, la dirección de la fuerza, la duración de la contracción y los períodos de descanso. Cuando estas variables cambian entre evaluaciones, las diferencias observadas pueden reflejar modificaciones del procedimiento y no verdaderos cambios fisiológicos. En niños y adolescentes esta situación adquiere especial relevancia porque pequeñas variaciones en la técnica pueden modificar considerablemente el resultado. Investigaciones sobre dinamometría en población infantil han demostrado que la confiabilidad mejora cuando se aplican procedimientos consistentes y se controla adecuadamente la estabilización (Shigeshima et al., 2022).

La fuerza de prensión manual representa otra herramienta de interés en la valoración de niños y adolescentes. Su utilización resulta práctica debido a que requiere poco tiempo, es relativamente sencilla y permite obtener una medida cuantitativa reproducible. Además, la fuerza de prensión ha mostrado asociación con indicadores de fuerza muscular general, aunque dicha relación puede verse modificada cuando se consideran variables como el peso corporal. En población pediátrica, la edad y la dominancia manual también influyen sobre la medición, por lo que deben registrarse e interpretarse adecuadamente. Un estudio realizado en 338 participantes de siete a 13 años encontró una alta confiabilidad

test-retest para la fuerza de prensión utilizando dinamometría digital (Matos et al., 2020).

En Colombia resulta particularmente relevante disponer de referencias propias para interpretar la fuerza muscular infantil y adolescente. Los valores normativos derivados de otras poblaciones pueden no representar adecuadamente las características antropométricas, socioculturales y ambientales de los niños colombianos. En este contexto, se han desarrollado valores normativos de fuerza de prensión para niños y adolescentes colombianos de seis a 17 años mediante modelos de regresión por cuantiles. Estos datos evidenciaron un incremento de la fuerza con la edad y valores generalmente superiores en los varones, además de diferencias metodológicas importantes entre estudios internacionales (García-Hermoso et al., 2022).

La evaluación de la fuerza de miembros inferiores es especialmente importante porque estos grupos musculares participan en actividades funcionales como caminar, correr, saltar, subir escaleras, levantarse de una silla y mantener la estabilidad corporal. La musculatura extensora de la rodilla, por ejemplo, presenta una relación directa con diversas tareas de movilidad y rendimiento motor. La dinamometría manual puede utilizarse para valorar la fuerza de diferentes grupos musculares de la cadera, rodilla y tobillo. No obstante, la evidencia indica que la validez concurrente respecto a sistemas isocinéticos puede variar dependiendo del movimiento evaluado, por lo que deben considerarse cuidadosamente los objetivos y las características del instrumento utilizado (Stark et al., 2022).

La dinamometría isocinética representa una metodología más sofisticada para analizar el comportamiento muscular durante movimientos realizados a una velocidad angular controlada. Permite obtener variables como torque máximo, trabajo, potencia y relaciones entre músculos agonistas y antagonistas. En población pediátrica, su utilización puede ser especialmente útil en investigación, rehabilitación y seguimiento de determinadas condiciones musculoesqueléticas. Sin embargo, requiere equipos especializados, personal capacitado y protocolos rigurosos, lo que limita su disponibilidad en determinados contextos. Las revisiones sistemáticas señalan que las mediciones isocinéticas de fuerza de

rodilla pueden presentar una adecuada confiabilidad en niños cuando se aplican procedimientos apropiados (Muñoz-Bermejo et al., 2019).

La evaluación muscular tampoco debe limitarse exclusivamente a la fuerza máxima. La resistencia muscular, la potencia, la capacidad de repetir contracciones y la capacidad de mantener una producción de fuerza determinada son componentes relevantes del rendimiento funcional. Un niño puede presentar una fuerza máxima aparentemente adecuada, pero mostrar una disminución importante de la capacidad para sostener esfuerzos repetidos. Por ello, la valoración integral debe seleccionar pruebas de acuerdo con la pregunta clínica o investigativa. En el ámbito deportivo, por ejemplo, puede ser necesario complementar la medición de fuerza con pruebas de potencia, saltabilidad, velocidad y capacidad funcional.

La potencia muscular adquiere especial importancia durante la adolescencia porque integra la capacidad de producir fuerza rápidamente. Actividades como saltar, acelerar, cambiar de dirección y realizar gestos deportivos explosivos dependen de esta característica. Su valoración puede realizarse mediante pruebas de salto, plataformas de fuerza, dinamometría isocinética u otros instrumentos de análisis biomecánico. Sin embargo, los resultados deben interpretarse teniendo en cuenta el crecimiento corporal y el nivel de maduración. Una mejora absoluta en la altura del salto, por ejemplo, no necesariamente representa una mejora proporcional de la capacidad neuromuscular si simultáneamente se han producido grandes cambios antropométricos.

La valoración bilateral constituye otro componente esencial de la evaluación muscular. Comparar el miembro derecho con el izquierdo puede contribuir a identificar asimetrías que podrían relacionarse con lesiones previas, alteraciones neuromusculares, patrones de movimiento o procesos de rehabilitación. Sin embargo, no toda diferencia entre lados debe considerarse patológica. La dominancia, las actividades deportivas y las experiencias motoras pueden producir diferencias fisiológicas. Por ello, la interpretación debe considerar el contexto individual y no depender exclusivamente de un porcentaje aislado de asimetría.

ISBN
978-9942-595-19-5

En la población infantil con enfermedades neuromusculares, la evaluación muscular adquiere una importancia todavía mayor. En estos casos, la medición objetiva permite identificar pérdida de fuerza, establecer una línea basal y observar la evolución funcional. La dinamometría manual ha sido utilizada en niños con diferentes alteraciones neuromusculares y puede aportar información cuantitativa complementaria a la exploración clínica. En enfermedades donde existe deterioro progresivo, disponer de mediciones reproducibles permite detectar cambios que pueden no ser evidentes mediante una observación clínica general. Las investigaciones han mostrado que diferentes grupos musculares pueden presentar niveles distintos de confiabilidad, especialmente cuando la estabilización y la posición corporal varían (Kilmer et al., 1997).

En niños con parálisis cerebral también resulta fundamental analizar la fuerza muscular dentro del contexto de las alteraciones del control motor. La debilidad puede coexistir con espasticidad, limitaciones del rango de movimiento, alteraciones del equilibrio y dificultades en la coordinación. Por consiguiente, una medida aislada de fuerza no explica completamente el desempeño funcional. La evaluación debe integrar fuerza, tono muscular, movilidad articular, control postural y desempeño en actividades funcionales. De esta manera, los resultados pueden contribuir a diseñar programas de intervención individualizados y a seleccionar objetivos terapéuticos realistas.

La confiabilidad de una prueba representa la estabilidad de sus resultados cuando se repite bajo condiciones similares. En investigación pediátrica, la confiabilidad intraevaluador e interevaluador es particularmente importante porque las diferencias pequeñas pueden ser difíciles de distinguir de los errores de medición. La literatura sobre dinamometría ha mostrado valores favorables cuando se utilizan protocolos consistentes. En un estudio de niños de cinco a 15 años, la dinamometría manual mostró una confiabilidad intra e interevaluador adecuada para diferentes grupos musculares, aunque los valores de fuerza también estuvieron relacionados con la edad y los factores de maduración (Daloia et al., 2018).

Además de la confiabilidad, debe considerarse el error estándar de medición y el cambio mínimo detectable. Estos parámetros permiten determinar si una

modificación entre dos evaluaciones probablemente representa un cambio real o puede atribuirse al error inherente al procedimiento. Esta consideración es particularmente útil durante programas de rehabilitación, entrenamiento o seguimiento de enfermedades crónicas. En niños pequeños, por ejemplo, se han estimado valores de error y cambio mínimo detectable para la fuerza isométrica de extensión de rodilla, demostrando que incluso en edades preescolares es posible realizar mediciones cuantitativas con una reproducibilidad aceptable (Shigeshima et al., 2022).

La motivación constituye una variable determinante en las pruebas musculares pediátricas. A diferencia del adulto, un niño puede no comprender completamente el concepto de “contracción máxima” o puede perder interés rápidamente cuando la evaluación es repetitiva. La comunicación debe adaptarse al nivel cognitivo y lingüístico del participante. Utilizar demostraciones, instrucciones breves y estímulos positivos puede favorecer la participación. Sin embargo, la motivación debe mantenerse dentro de límites que no generen presión excesiva ni alteren la seguridad. El evaluador debe distinguir entre una verdadera limitación muscular y una ejecución submáxima ocasionada por falta de comprensión o colaboración.

El crecimiento corporal también afecta directamente las mediciones musculares. El incremento de talla, masa corporal y masa muscular modifica la capacidad de generar fuerza y, por tanto, los valores absolutos tienden a aumentar con la edad. Por esta razón, los datos deben analizarse considerando medidas absolutas y relativas. En determinados estudios puede ser apropiado normalizar la fuerza por peso corporal, talla o masa corporal, mientras que en otros contextos puede ser preferible conservar los valores absolutos. La elección depende de la finalidad de la evaluación y de la variable que se pretende explicar.

El sexo biológico y la maduración puberal constituyen variables adicionales que deben incorporarse a la interpretación. Durante la niñez temprana, las diferencias entre niños y niñas pueden ser relativamente pequeñas para algunas variables musculares, mientras que durante la adolescencia pueden aumentar debido a las modificaciones endocrinas y al desarrollo de la masa corporal magra. Los datos normativos colombianos de fuerza de prensión muestran

claramente la importancia de generar referencias diferenciadas por edad y sexo para una interpretación adecuada (García-Hermoso et al., 2022).

La ecografía musculoesquelética representa una herramienta complementaria que permite analizar características estructurales del músculo, como el grosor muscular. Su principal ventaja consiste en proporcionar información sobre la arquitectura muscular sin recurrir a procedimientos invasivos. Cuando se combina con la dinamometría, puede ayudar a estudiar la relación entre estructura y función. Investigaciones realizadas en niños, adolescentes y adultos jóvenes han encontrado buena confiabilidad para medir el grosor de músculos como el recto femoral y el vasto lateral mediante ultrasonografía, mientras que la dinamometría permitió cuantificar la fuerza del cuádriceps (Rock et al., 2021).

La evaluación muscular debe integrarse con la valoración funcional. Una determinada cantidad de fuerza no tiene el mismo significado si el niño presenta un adecuado desempeño motor o si experimenta dificultades para realizar actividades cotidianas. Por esta razón, es recomendable relacionar los resultados de fuerza con pruebas funcionales de marcha, equilibrio, salto, levantarse de una silla, subir escaleras o realizar actividades deportivas, dependiendo de la edad y el objetivo. Esta perspectiva permite pasar de una interpretación exclusivamente fisiológica a una comprensión funcional del rendimiento muscular.

En el ámbito escolar, la valoración muscular puede contribuir a caracterizar la condición física relacionada con la salud y a identificar necesidades de promoción de actividad física. Sin embargo, las pruebas deben aplicarse con criterios éticos, evitando que los resultados se utilicen para etiquetar negativamente a los estudiantes o establecer comparaciones inapropiadas. El propósito debe ser favorecer hábitos saludables, reconocer diferencias individuales y orientar estrategias educativas. La evaluación debe ser inclusiva y respetar las características biológicas, psicológicas y sociales de cada niño.

En el contexto deportivo, la evaluación muscular puede utilizarse para establecer perfiles de rendimiento y orientar programas de entrenamiento. La información sobre fuerza, potencia y equilibrio muscular puede contribuir a identificar necesidades específicas de preparación física. No obstante, en deportistas en

crecimiento es imprescindible evitar interpretar los resultados exclusivamente desde parámetros adultos. Los cambios relacionados con la maduración pueden producir incrementos importantes en el rendimiento que no necesariamente reflejan adaptaciones al entrenamiento. Por ello, los entrenadores y profesionales de ciencias del deporte deben considerar edad, sexo, experiencia deportiva, crecimiento y maduración.

Desde la perspectiva de la prevención de lesiones, la evaluación muscular puede proporcionar información sobre factores potencialmente modificables. Déficits de fuerza, desequilibrios entre grupos musculares o diferencias importantes entre extremidades pueden orientar estrategias preventivas. Sin embargo, una prueba muscular aislada no debe considerarse un predictor absoluto de lesión. El riesgo deportivo es multifactorial e incluye carga de entrenamiento, técnica, historial de lesiones, recuperación, movilidad, coordinación y características individuales. La evaluación muscular debe integrarse dentro de una batería multidimensional.

La interpretación de los resultados requiere utilizar valores de referencia apropiados. Los datos normativos permiten determinar si el resultado de un niño se encuentra dentro del rango esperado para individuos de características semejantes. Sin embargo, actualmente existe heterogeneidad en los protocolos utilizados para medir fuerza muscular pediátrica, incluyendo diferencias en dispositivos, posiciones, instrucciones, grupos musculares y métodos de análisis. Una revisión sistemática reciente señaló precisamente esta heterogeneidad y destacó la necesidad de desarrollar referencias específicas por edad y sexo mediante procedimientos estandarizados (Karagianni et al., 2025).

En términos metodológicos, una evaluación muscular pediátrica rigurosa debería comenzar con una anamnesis básica, seguida de la valoración antropométrica y funcional, la selección de las pruebas musculares y la aplicación de un protocolo reproducible. El profesional debe registrar edad, sexo, talla, masa corporal, dominancia, actividad física, antecedentes de lesiones y características relevantes del desarrollo. Posteriormente, deben documentarse las condiciones exactas de la prueba, incluyendo instrumento, posición, número de intentos, tiempo de contracción, descanso y unidad de medida. Esta documentación facilita la comparación longitudinal y mejora la calidad de los estudios científicos.

Desde una perspectiva investigativa, todavía existe la necesidad de desarrollar estudios longitudinales que permitan comprender mejor cómo evoluciona la fuerza muscular desde la infancia hasta el final de la adolescencia. También resulta necesario ampliar las referencias específicas para diferentes poblaciones, regiones geográficas y características antropométricas. En el caso colombiano, contar con valores normativos nacionales constituye un avance importante, pero se requieren investigaciones que incorporen diferentes regiones, condiciones socioeconómicas, niveles de actividad física y modalidades deportivas. La comparación entre estudios debe realizarse con cautela debido a las diferencias metodológicas que pueden modificar considerablemente los resultados.

En conclusión, la evaluación muscular en niños y adolescentes debe entenderse como un proceso multidimensional que integra fuerza, potencia, resistencia, simetría, estructura muscular y desempeño funcional. La edad, el crecimiento, el sexo, la maduración y el nivel de actividad física son variables indispensables para interpretar los resultados. Las técnicas manuales continúan siendo útiles por su accesibilidad, mientras que la dinamometría, la dinamometría isocinética y la ultrasonografía ofrecen posibilidades de cuantificación más precisas cuando están disponibles. La evidencia demuestra que pueden obtenerse mediciones confiables en población pediátrica cuando se aplican protocolos estandarizados y adecuados a la edad. En consecuencia, una evaluación muscular correctamente diseñada puede contribuir al diagnóstico funcional, la rehabilitación, la planificación del ejercicio, la prevención de lesiones y el seguimiento del desarrollo físico durante una etapa fundamental de la vida (Daloia et al., 2018; Karagianni et al., 2025; Rock et al., 2021).



CAPITULO XIV
VALORACIÓN MUSCULAR EN ADULTOS Y PERSONAS MAYORES

ISBN
978-9942-595-19-5

La valoración muscular en adultos y personas mayores constituye un componente fundamental de la evaluación funcional, clínica y físico-deportiva, debido a que la capacidad del sistema neuromuscular determina en gran medida la posibilidad de ejecutar actividades cotidianas, mantener la independencia y responder adecuadamente a las demandas físicas del entorno. La fuerza muscular no debe entenderse exclusivamente como la capacidad de producir una contracción máxima, sino como una propiedad multidimensional que incluye fuerza, potencia, resistencia, capacidad de activación neuromuscular y desempeño funcional. En el adulto, estas características están influenciadas por el nivel de actividad física, la composición corporal, el estado nutricional, las enfermedades crónicas y las demandas ocupacionales o deportivas. En las personas mayores, además, adquieren especial relevancia los cambios asociados al envejecimiento, particularmente la pérdida progresiva de masa y función muscular. La Organización Mundial de la Salud reconoce el fortalecimiento muscular como un componente esencial de la actividad física en adultos y personas mayores, y recomienda que los principales grupos musculares sean estimulados al menos dos días por semana (World Health Organization [WHO], 2020).

La producción de fuerza muscular depende de la interacción entre factores estructurales y neurológicos. El tamaño de las fibras musculares, el número y tipo de unidades motoras, la arquitectura muscular, la longitud del músculo, la coordinación intermuscular y la capacidad del sistema nervioso para activar las unidades motoras determinan, en conjunto, la expresión de la fuerza. Durante la adultez, estos mecanismos pueden mantenerse relativamente estables cuando existe actividad física suficiente, pero pueden deteriorarse ante el sedentarismo, la inmovilización, las enfermedades o el envejecimiento. En las personas mayores se observa una disminución progresiva de la capacidad neuromuscular, acompañada por modificaciones en la masa muscular y en la calidad del tejido muscular. Por ello, una evaluación adecuada debe considerar tanto el componente cuantitativo como el funcional, evitando reducir el análisis exclusivamente a la medición de masa muscular (Cruz-Jentoft et al., 2019).

El envejecimiento se relaciona con modificaciones progresivas de la estructura y función del músculo esquelético. La reducción de la actividad física, los cambios

hormonales, las alteraciones metabólicas, la inflamación crónica, la disminución de la síntesis proteica y las enfermedades asociadas al envejecimiento pueden contribuir al deterioro de la función muscular. Sin embargo, la magnitud de estos cambios es altamente variable entre individuos. Algunas personas mayores mantienen niveles elevados de fuerza y capacidad funcional debido a estilos de vida físicamente activos, mientras que otras presentan deterioros importantes. Esta variabilidad justifica la necesidad de realizar evaluaciones individuales y periódicas. La valoración muscular permite diferenciar entre cambios esperables asociados con la edad y pérdidas funcionales que requieren intervención.

La fuerza muscular posee una relación estrecha con la movilidad y la independencia funcional. En adultos y personas mayores, una reducción significativa de la fuerza puede dificultar actividades como levantarse de una silla, subir escaleras, caminar a mayor velocidad, transportar objetos o recuperar el equilibrio ante una perturbación. Por ello, la fuerza debe considerarse un indicador funcional y no solamente una variable de rendimiento físico. En las personas mayores, el deterioro de la fuerza puede preceder o acompañar la pérdida de independencia y aumentar la vulnerabilidad frente a caídas y discapacidad. Las recomendaciones internacionales enfatizan que la actividad física que incorpora fortalecimiento y equilibrio contribuye a preservar la capacidad funcional y reducir riesgos relacionados con el envejecimiento (WHO, 2020, 2022).

La evaluación muscular manual constituye uno de los procedimientos tradicionales utilizados en fisioterapia y rehabilitación. Se basa en la observación y valoración de la capacidad de una persona para realizar un movimiento contra la gravedad y, cuando corresponde, contra una resistencia externa. Su principal ventaja es que no requiere equipamiento sofisticado y puede aplicarse en diferentes ambientes clínicos. Sin embargo, presenta limitaciones cuando se pretende detectar pequeñas diferencias en sujetos con niveles elevados de fuerza. En adultos y personas mayores puede ser particularmente útil en individuos con debilidad marcada, alteraciones neurológicas o dificultades para realizar pruebas instrumentales. Su aplicación debe realizarse siguiendo posiciones estandarizadas y criterios consistentes para favorecer la reproducibilidad.

La dinamometría manual permite transformar la valoración de la fuerza en una medición cuantitativa. El instrumento registra la fuerza producida durante una contracción, habitualmente isométrica, proporcionando valores que pueden compararse entre diferentes momentos de evaluación. Esta herramienta resulta especialmente útil para el seguimiento de procesos de rehabilitación, la identificación de déficits musculares y la comparación bilateral. En personas mayores, la dinamometría puede aportar información relevante para la detección de disminuciones de fuerza que podrían pasar inadvertidas mediante una exploración clínica convencional. La confiabilidad de la medición depende de factores como la posición corporal, la estabilización, el dispositivo utilizado, la experiencia del evaluador y las instrucciones proporcionadas al participante.

La fuerza de prensión manual constituye una de las medidas más utilizadas para valorar la función muscular global, especialmente en personas mayores. Su popularidad se explica por la rapidez de aplicación, el bajo costo relativo y la facilidad para obtener valores cuantitativos. Además, forma parte de diversos algoritmos empleados en la identificación de disminución de fuerza muscular y sarcopenia. El consenso europeo EWGSOP2 propone la fuerza muscular baja como elemento central para identificar sarcopenia probable, utilizando principalmente la fuerza de prensión o la prueba de levantarse de una silla (Cruz-Jentoft et al., 2019). La utilización de puntos de corte debe realizarse de acuerdo con la población y el protocolo utilizado, puesto que diferentes referencias pueden generar prevalencias distintas de sarcopenia (Gómez-Cabrera et al., 2021).

La prueba de levantarse de una silla constituye una alternativa funcional para valorar indirectamente la fuerza de los miembros inferiores. El procedimiento consiste generalmente en solicitar a la persona que se levante y se siente repetidamente o que realice una transición desde sedestación hasta bipedestación bajo condiciones determinadas. Esta prueba integra la fuerza de los extensores de cadera y rodilla con el control postural y la coordinación motora. En personas mayores, su utilidad es particularmente relevante porque reproduce una actividad cotidiana y permite relacionar el desempeño muscular con la funcionalidad. El EWGSOP2 reconoce la prueba de levantarse de una silla como una medida práctica de fuerza de miembros inferiores cuando la

dinamometría de prensión no es suficiente o no está disponible (Cruz-Jentoft et al., 2019).

La fuerza máxima representa la capacidad de producir la mayor cantidad posible de fuerza en una determinada condición, mientras que la fuerza funcional refleja la capacidad de utilizar esa producción de fuerza durante actividades concretas. En adultos jóvenes físicamente activos, la fuerza máxima puede ser relevante para el rendimiento deportivo y laboral. En las personas mayores, sin embargo, puede resultar más importante determinar si la fuerza disponible permite ejecutar actividades de la vida diaria de forma segura. Por esta razón, la evaluación no debe limitarse a pruebas de fuerza máxima cuando la persona presenta limitaciones funcionales. Una valoración integral combina mediciones instrumentales con pruebas que reproduzcan movimientos cotidianos.

La potencia muscular corresponde a la capacidad de producir fuerza rápidamente y adquiere una importancia considerable durante el envejecimiento. Una persona puede conservar una cantidad razonable de fuerza máxima, pero experimentar una disminución de la velocidad con la que puede desarrollar dicha fuerza. Esta situación puede comprometer respuestas rápidas necesarias para evitar una caída o recuperar la estabilidad después de una perturbación. La valoración de la potencia puede realizarse mediante pruebas de levantamiento, saltos modificados, plataformas de fuerza, dinamometría o sistemas de análisis del movimiento, dependiendo del nivel funcional del individuo. En personas mayores con limitaciones importantes, las pruebas deben adaptarse para garantizar seguridad y evitar esfuerzos innecesarios.

La resistencia muscular representa la capacidad de mantener o repetir una producción de fuerza durante un período determinado. Su evaluación es relevante porque muchas actividades de la vida diaria requieren esfuerzos submáximos sostenidos y no contracciones máximas aisladas. Caminar durante períodos prolongados, mantener una postura, subir varios escalones o realizar tareas domésticas son ejemplos de actividades donde la resistencia muscular desempeña un papel importante. En adultos, la resistencia puede evaluarse mediante pruebas de repeticiones, mantenimiento de posiciones o tareas funcionales. En personas mayores, debe seleccionarse cuidadosamente el nivel

ISBN
978-9942-595-19-5

de esfuerzo para evitar fatiga excesiva y garantizar la seguridad cardiovascular y musculoesquelética.

La comparación entre los lados derecho e izquierdo puede proporcionar información relevante sobre posibles déficits musculares. Las asimetrías pueden aparecer después de lesiones, cirugías, períodos prolongados de inmovilización o alteraciones neurológicas. En adultos deportistas también pueden asociarse con demandas específicas de la disciplina practicada. En personas mayores, las diferencias entre miembros pueden influir sobre la marcha, el equilibrio y la capacidad de realizar transferencias. No obstante, una diferencia bilateral no debe interpretarse automáticamente como una alteración patológica. La evaluación debe considerar dominancia, antecedentes médicos, actividad física y características funcionales.

La sarcopenia representa uno de los principales motivos por los cuales la valoración muscular ha adquirido importancia dentro de la geriatría contemporánea. El consenso EWGSOP2 establece un enfoque que prioriza la fuerza muscular como parámetro fundamental para identificar sarcopenia probable, mientras que la confirmación requiere evidencias adicionales relacionadas con la cantidad o calidad muscular y la gravedad se establece mediante el rendimiento físico (Cruz-Jentoft et al., 2019). Este enfoque modificó la perspectiva tradicional que otorgaba mayor protagonismo a la masa muscular aislada. En consecuencia, una persona puede presentar una cantidad muscular relativamente conservada y, sin embargo, mostrar una disminución funcional importante.

La masa muscular puede evaluarse mediante diferentes técnicas, entre ellas la absorciometría de rayos X de doble energía, la bioimpedancia eléctrica, la resonancia magnética y la tomografía computarizada. Cada método presenta ventajas y limitaciones en cuanto a precisión, disponibilidad, costo y aplicabilidad clínica. Sin embargo, la cantidad de músculo no necesariamente representa su capacidad funcional. El concepto de calidad muscular incorpora características como fuerza relativa al tamaño muscular, composición del tejido, infiltración grasa y capacidad contráctil. Por ello, una valoración contemporánea debe evitar interpretar la masa muscular como equivalente directo de función.

La bioimpedancia eléctrica puede utilizarse para estimar la composición corporal y la masa muscular mediante el análisis de la resistencia que presentan los tejidos al paso de una corriente eléctrica de baja intensidad. Su facilidad de aplicación hace que sea atractiva para estudios clínicos, deportivos y comunitarios. Sin embargo, los resultados pueden verse influenciados por hidratación, alimentación, temperatura corporal y características del dispositivo. En personas mayores, estas variables deben considerarse especialmente debido a modificaciones en la distribución de agua corporal y composición corporal relacionadas con el envejecimiento. La bioimpedancia debe interpretarse como una herramienta complementaria y no como sustituto automático de una evaluación funcional.

La ultrasonografía musculoesquelética representa una alternativa no invasiva para estudiar características estructurales del músculo. Puede utilizarse para estimar el grosor muscular, observar la arquitectura y analizar modificaciones relacionadas con la edad, la enfermedad o el entrenamiento. Su ventaja principal consiste en proporcionar información estructural sin exposición a radiación ionizante. Cuando se combina con pruebas de fuerza, permite explorar la relación entre tamaño y función muscular. No obstante, requiere formación específica del evaluador y protocolos rigurosos para garantizar mediciones reproducibles.

La dinamometría isocinética constituye una técnica avanzada que permite valorar la producción de torque durante movimientos realizados a velocidades angulares controladas. Este método proporciona información detallada sobre la capacidad de diferentes grupos musculares y permite analizar relaciones agonista-antagonista, trabajo y potencia. Su utilización es frecuente en investigación, medicina deportiva y rehabilitación especializada. En adultos y personas mayores puede ser útil cuando se requiere una evaluación detallada, aunque su costo, disponibilidad y complejidad limitan su utilización rutinaria. Para determinadas poblaciones geriátricas, las pruebas funcionales sencillas pueden aportar información más directamente relacionada con la independencia.

La fuerza muscular se encuentra estrechamente relacionada con el control postural. Los músculos de las extremidades inferiores, tronco y cintura pélvica

participan constantemente en la regulación del centro de masa corporal. Cuando disminuye la capacidad de generar fuerza rápidamente, también puede reducirse la capacidad de responder ante perturbaciones del equilibrio. Por esta razón, la valoración muscular en personas mayores debe complementarse con pruebas de equilibrio estático y dinámico. La OMS recomienda que las personas mayores realicen actividades multicomponentes que incorporen fuerza y equilibrio, especialmente aquellas con dificultades de movilidad, con el propósito de mejorar la capacidad funcional y prevenir caídas (WHO, 2020, 2022).

Las caídas constituyen un problema relevante durante el envejecimiento debido a sus consecuencias sobre movilidad, independencia, calidad de vida y utilización de servicios sanitarios. La reducción de fuerza de miembros inferiores puede dificultar acciones esenciales para evitar una pérdida de estabilidad. Por esta razón, pruebas como levantarse de una silla, caminar, subir escalones y realizar tareas de equilibrio pueden aportar información complementaria a las mediciones instrumentales. La valoración muscular no debe considerarse un predictor aislado de caídas, pero sí un componente importante dentro de una evaluación multifactorial del riesgo.

En adultos con enfermedades crónicas, la evaluación muscular puede contribuir a determinar el estado funcional y a individualizar los programas de ejercicio. Condiciones como diabetes, enfermedad cardiovascular, obesidad, enfermedad pulmonar crónica y determinados trastornos musculoesqueléticos pueden asociarse con modificaciones de fuerza y capacidad funcional. La OMS señala que las recomendaciones de actividad física también son aplicables, con las adaptaciones correspondientes, a personas con enfermedades crónicas y discapacidad cuando no existen contraindicaciones específicas (WHO, 2020).

En personas con discapacidad, la evaluación muscular debe adaptarse a las características funcionales individuales. No siempre es posible aplicar protocolos diseñados para adultos sanos, por lo que pueden ser necesarias modificaciones en posiciones, cargas, número de repeticiones o duración de las pruebas. El objetivo debe ser obtener información válida sobre las capacidades reales de la persona, evitando que una prueba inadecuada produzca una subestimación artificial de su función. La OMS destaca que las recomendaciones de actividad

física deben considerar las capacidades y condiciones individuales, promoviendo que las personas sean tan activas como sus posibilidades funcionales lo permitan (WHO, 2020).

La valoración muscular debe acompañarse de mediciones antropométricas como peso corporal, talla, índice de masa corporal y, cuando sea posible, estimaciones de composición corporal. Estas variables permiten contextualizar la fuerza obtenida. Por ejemplo, una fuerza absoluta elevada puede no representar una capacidad funcional óptima si está asociada a una masa corporal considerablemente mayor. De igual manera, una persona de bajo peso puede presentar valores absolutos reducidos pero una fuerza relativa adecuada. Por ello, el análisis de fuerza absoluta y relativa puede aportar una interpretación más completa.

La normalización de los valores de fuerza es especialmente importante cuando se comparan individuos con diferentes características antropométricas. La fuerza relativa al peso corporal puede resultar útil para analizar determinadas actividades funcionales, mientras que la relación con la masa magra puede aportar información sobre la calidad muscular. Sin embargo, no existe una única estrategia de normalización adecuada para todos los contextos. La elección debe responder a la finalidad del estudio y al grupo poblacional analizado. En investigaciones sobre sarcopenia, por ejemplo, se emplean criterios específicos relacionados con fuerza, masa muscular y rendimiento físico (Cruz-Jentoft et al., 2019).

La confiabilidad constituye una característica indispensable de cualquier instrumento de valoración muscular. Una prueba confiable debe producir resultados relativamente estables cuando se repite bajo condiciones semejantes. La reproducibilidad puede verse afectada por el evaluador, el dispositivo, la motivación del participante, la hora del día, la posición corporal y la familiarización con la prueba. Por ello, se recomienda estandarizar todos los elementos posibles. En investigaciones y procesos de rehabilitación longitudinal, esta condición permite determinar si los cambios observados corresponden realmente a modificaciones en la función muscular.

Toda evaluación muscular contiene cierto grado de error. El error estándar de medición y el cambio mínimo detectable permiten determinar qué magnitud de cambio debe observarse para considerar que una modificación supera la variabilidad esperada del instrumento. Este aspecto resulta especialmente relevante en rehabilitación, donde pequeñas variaciones pueden interpretarse erróneamente como mejoría o deterioro. La aplicación sistemática de procedimientos estandarizados contribuye a reducir el error y mejora la utilidad clínica de los resultados.

La valoración muscular proporciona información fundamental para diseñar programas de ejercicio individualizados. En adultos, puede utilizarse para establecer niveles iniciales de fuerza y seleccionar ejercicios apropiados. En personas mayores, permite identificar limitaciones que pueden afectar la movilidad y determinar progresiones seguras. La OMS recomienda que los adultos realicen actividades de fortalecimiento que involucren los principales grupos musculares al menos dos días por semana, mientras que en personas mayores se recomienda además incorporar actividades multicomponentes centradas en fuerza y equilibrio (WHO, 2020).

La valoración muscular no debe considerarse exclusivamente como una medición puntual. El seguimiento longitudinal permite observar tendencias y determinar si una intervención produce modificaciones significativas. En personas mayores, las evaluaciones periódicas pueden ayudar a identificar pérdidas funcionales tempranas y orientar intervenciones antes de que aparezcan limitaciones importantes en las actividades de la vida diaria. En adultos deportistas, el seguimiento puede utilizarse para controlar adaptaciones al entrenamiento y detectar desequilibrios. La frecuencia de evaluación debe determinarse según el objetivo, la condición clínica y el tipo de intervención.

Toda evaluación muscular debe desarrollarse bajo principios de seguridad, respeto y consentimiento informado. En personas mayores, es necesario identificar antecedentes cardiovasculares, musculoesqueléticos y neurológicos que puedan modificar la selección de las pruebas. Las instrucciones deben ser claras y la intensidad debe adaptarse a la capacidad funcional. En individuos con enfermedades crónicas o discapacidad pueden ser necesarias modificaciones

específicas. La evaluación debe detenerse ante signos de intolerancia significativa al esfuerzo y debe evitarse cualquier procedimiento que pueda aumentar innecesariamente el riesgo. La OMS recomienda adaptar la actividad física a las capacidades y condiciones individuales cuando existen limitaciones de salud (WHO, 2020).

La valoración muscular tiene aplicaciones amplias en fisioterapia, medicina, rehabilitación, geriatría, entrenamiento deportivo y promoción de la salud. En fisioterapia permite establecer déficits y monitorizar la respuesta a la intervención; en geriatría ayuda a identificar disminuciones funcionales relacionadas con sarcopenia y envejecimiento; en ciencias del deporte facilita la caracterización del rendimiento y la planificación del entrenamiento; y en salud pública puede contribuir a identificar grupos con baja capacidad muscular que requieren programas de actividad física. El enfoque contemporáneo debe integrar mediciones de fuerza con pruebas funcionales y de rendimiento, evitando interpretar una sola variable de manera aislada.

La valoración muscular en adultos y personas mayores constituye un proceso esencial para comprender la capacidad funcional, detectar déficits neuromusculares y orientar intervenciones destinadas a preservar la movilidad y la independencia. La evidencia contemporánea demuestra que la evaluación debe trascender la medición aislada de masa muscular y otorgar especial importancia a la fuerza, la potencia y el rendimiento físico. La dinamometría manual, la fuerza de prensión, la prueba de levantarse de una silla, la dinamometría isocinética, la bioimpedancia y la ultrasonografía ofrecen herramientas complementarias que pueden seleccionarse según el contexto. En las personas mayores, la identificación temprana de disminuciones de fuerza adquiere especial importancia por su relación con la función, la sarcopenia y el riesgo de discapacidad. El enfoque EWGSOP2 ha reforzado precisamente el papel de la fuerza muscular como componente central de la valoración de sarcopenia (Cruz-Jentoft et al., 2019). Asimismo, las recomendaciones de la OMS respaldan la incorporación sistemática de actividades de fortalecimiento y equilibrio dentro de un estilo de vida físicamente activo durante la adultez y el envejecimiento (WHO, 2020, 2022). En consecuencia, una valoración muscular rigurosa, estandarizada, segura y contextualizada constituye una herramienta

ISBN
978-9942-595-19-5

fundamental para la prevención, el diagnóstico funcional, la rehabilitación y la promoción de un envejecimiento activo y saludable**.**



CAPITULO XV
VALORACIÓN MUSCULAR EN DEPORTISTAS

ISBN
978-9942-595-19-5

La valoración muscular en deportistas constituye un componente esencial de la evaluación integral del rendimiento físico, debido a que la función muscular interviene directamente en la producción de fuerza, potencia, velocidad, estabilidad articular, control del movimiento y capacidad para tolerar las demandas propias del entrenamiento y la competición. A diferencia de una valoración exclusivamente clínica, el análisis muscular del deportista debe considerar las características específicas de la disciplina deportiva, la posición o función desempeñada, el nivel competitivo, la edad, el sexo, el historial de lesiones y la fase de entrenamiento. Por esta razón, la evaluación debe orientarse no solamente a identificar déficits, sino también a establecer perfiles funcionales que permitan interpretar el estado actual del deportista y orientar decisiones relacionadas con entrenamiento, recuperación y prevención. La literatura contemporánea reconoce que la medición sistemática de variables físicas puede aportar información relevante para el seguimiento longitudinal del atleta y para la identificación de cambios que requieren intervención (Bahr et al., 2020).

Desde una perspectiva funcional, la valoración muscular comprende un conjunto de procedimientos destinados a determinar la capacidad del sistema neuromuscular para generar, mantener y controlar fuerzas durante diferentes tipos de acciones. En este contexto, la fuerza máxima, la fuerza explosiva, la potencia, la resistencia muscular, la capacidad de activación neuromuscular y la simetría entre segmentos constituyen variables de especial interés. Sin embargo, ninguna de estas variables debe interpretarse de manera aislada, porque el rendimiento deportivo depende de la interacción entre las propiedades musculares, la coordinación motora, la técnica, la movilidad articular, las características antropométricas y las demandas energéticas del deporte. Por ello, una valoración muscular adecuada requiere seleccionar pruebas que posean relación con las tareas que el deportista debe realizar y que permitan obtener información reproducible y clínicamente significativa.

El primer paso de una valoración muscular consiste en establecer el objetivo de la evaluación. En un deportista sano, la finalidad puede ser determinar un perfil de rendimiento, identificar desequilibrios o establecer valores de referencia individuales. En un atleta lesionado, la valoración puede orientarse a cuantificar

la pérdida de capacidad funcional, monitorizar la recuperación y determinar la preparación para progresar hacia actividades deportivas específicas. Asimismo, durante períodos de alta carga de entrenamiento, la evaluación puede utilizarse para observar cambios en la capacidad de producir fuerza o potencia. Las recomendaciones actuales relacionadas con la vigilancia de la salud deportiva destacan la importancia de utilizar medidas longitudinales y específicas del deportista para detectar cambios relevantes en su estado funcional (Mountjoy et al., 2023).

La anamnesis deportiva complementa las mediciones objetivas y permite contextualizar los resultados musculares. Deben registrarse antecedentes de lesiones, cirugías, dolor, períodos de inactividad, modificaciones recientes de la carga de entrenamiento, cambios en la composición corporal y características de la preparación física. También resulta importante conocer la especialización deportiva, la frecuencia semanal de entrenamiento y la proximidad de competencias. La interpretación de una reducción en la fuerza, por ejemplo, puede ser diferente si se presenta después de una sesión de alta intensidad, durante una fase de recuperación posterior a una lesión o en un período de disminución deliberada de la carga. La valoración muscular, por tanto, debe formar parte de un proceso de razonamiento clínico y deportivo y no reducirse a la obtención de un único número.

La inspección y palpación muscular constituyen procedimientos tradicionales que pueden proporcionar información preliminar sobre volumen muscular, tono, sensibilidad, edema, cambios de temperatura y posibles alteraciones estructurales. Aunque presentan un componente subjetivo importante, continúan siendo útiles cuando son realizadas por profesionales entrenados y cuando sus hallazgos se integran con pruebas funcionales e instrumentales. La palpación puede ser particularmente relevante durante la valoración de deportistas con antecedentes de lesión muscular, aunque la identificación clínica de una alteración no debería depender exclusivamente de este procedimiento. Las clasificaciones contemporáneas de las lesiones musculares recomiendan considerar mecanismo, localización, gravedad y recurrencia para facilitar la comunicación y la toma de decisiones durante la rehabilitación (Valle et al., 2017).

La evaluación manual de la fuerza muscular puede emplearse como procedimiento inicial para identificar déficits evidentes, especialmente cuando no se dispone de equipos sofisticados. Sin embargo, en deportistas de alto nivel puede presentar un efecto techo que dificulta distinguir pequeñas diferencias entre sujetos con niveles elevados de fuerza. Por este motivo, la valoración manual debe complementarse, cuando sea posible, con instrumentos capaces de cuantificar objetivamente la fuerza producida. Su principal utilidad se encuentra en la exploración clínica, la comparación de grupos musculares y la identificación de alteraciones suficientemente marcadas como para modificar la función. La estandarización de la posición corporal, la estabilización y las instrucciones proporcionadas al atleta son fundamentales para mejorar la consistencia de los resultados.

La dinamometría manual representa una evolución importante respecto a la valoración manual convencional porque permite cuantificar la fuerza generada durante una contracción muscular. Este procedimiento puede utilizarse para valorar músculos específicos, comparar extremidades y realizar seguimiento durante procesos de rehabilitación. La utilidad de la dinamometría depende, no obstante, de la experiencia del evaluador, la posición adoptada, el punto de aplicación de la resistencia y la capacidad del dispositivo para registrar adecuadamente la fuerza. En deportistas, las mediciones repetidas bajo condiciones similares pueden proporcionar una herramienta práctica para observar tendencias individuales. La interpretación debe considerar siempre la fiabilidad del procedimiento y la relevancia funcional del músculo evaluado.

La dinamometría isocinética constituye uno de los métodos instrumentales más completos para analizar la función muscular, particularmente porque permite controlar la velocidad angular durante la contracción y registrar variables como torque, trabajo y potencia. Su utilización puede resultar especialmente valiosa en el análisis de grupos musculares agonistas y antagonistas, como extensores y flexores de la rodilla. También permite estudiar la relación entre diferentes velocidades de movimiento y detectar modificaciones asociadas con lesiones o procesos de recuperación. El consenso del Comité Olímpico Internacional sobre deficiencias relacionadas con la disponibilidad energética reconoce la dinamometría isocinética como uno de los métodos recomendados para evaluar

disminuciones de la fuerza muscular en determinados contextos deportivos (Mountjoy et al., 2023).

La fuerza máxima representa otra dimensión fundamental de la valoración muscular deportiva. Dependiendo de la disciplina, puede evaluarse mediante pruebas de una repetición máxima, movimientos específicos de levantamiento, dinamometría o ejercicios funcionales. No obstante, una prueba de fuerza máxima debe realizarse con criterios estrictos de seguridad, técnica y familiarización. En deportes donde la manifestación máxima de fuerza es determinante, como halterofilia o determinados eventos atléticos, las pruebas específicas pueden proporcionar información altamente relevante. El Comité Olímpico Internacional señala que el seguimiento longitudinal de métricas de rendimiento específicas para cada deporte puede ser preferible cuando se pretende detectar disminuciones de la capacidad muscular (Mountjoy et al., 2023).

La fuerza explosiva debe diferenciarse de la fuerza máxima porque expresa la capacidad de generar elevados niveles de fuerza en períodos muy breves. Esta cualidad resulta determinante en acciones como saltar, acelerar, cambiar de dirección, golpear, lanzar o realizar gestos explosivos. Su evaluación puede efectuarse mediante saltos verticales, plataformas de fuerza, dinamometría, pruebas de lanzamiento o dispositivos capaces de registrar la velocidad de ejecución. En el contexto deportivo, la capacidad de producir fuerza rápidamente puede ser más representativa del rendimiento que la fuerza máxima aislada. Por ello, la valoración muscular debería contemplar tanto cuánto puede producir un músculo como qué tan rápidamente puede producirlo.

La potencia muscular integra la capacidad de generar fuerza y velocidad y constituye una variable particularmente relevante para disciplinas caracterizadas por acciones explosivas. Las plataformas de fuerza, los sistemas de medición de velocidad y determinadas pruebas de salto permiten analizar esta capacidad desde diferentes perspectivas. El perfil de fuerza-velocidad puede aportar información adicional sobre las características neuromusculares del atleta y ayudar a identificar si una limitación está relacionada principalmente con la producción de fuerza o con la velocidad de contracción. Esta información puede

utilizarse posteriormente para individualizar el entrenamiento y orientar la selección de ejercicios. En consecuencia, la valoración muscular no debería limitarse a determinar niveles absolutos de fuerza, sino explorar cómo se expresa esa fuerza en diferentes condiciones.

La resistencia muscular representa la capacidad de mantener o repetir una producción de fuerza durante un período determinado. En deportes de larga duración, esta capacidad puede ser fundamental para conservar la técnica y el rendimiento cuando aparece la fatiga. En deportes intermitentes, la resistencia muscular contribuye a mantener repetidamente acciones de aceleración, desaceleración, salto o contacto. Su evaluación puede realizarse mediante repeticiones máximas, pruebas de tiempo bajo tensión, ejercicios específicos o protocolos de contracciones repetidas. La selección de la prueba debe responder a las características de la disciplina y a la finalidad del análisis.

La fatiga modifica significativamente la expresión de la función muscular y, por ello, debe ser considerada durante la evaluación. Un deportista puede presentar valores adecuados de fuerza en condiciones de reposo, pero mostrar una disminución considerable después de una carga intensa. Esta diferencia resulta especialmente importante para deportes en los que la capacidad de mantener el rendimiento bajo fatiga determina el resultado competitivo. La evaluación antes y después de determinadas cargas puede aportar información sobre la respuesta individual al entrenamiento. Sin embargo, estos protocolos deben diseñarse cuidadosamente para evitar que la prueba interfiera negativamente con la planificación deportiva.

La simetría muscular entre las extremidades constituye otro aspecto frecuentemente analizado en deportistas. Las diferencias de fuerza entre miembros pueden ser consecuencia de adaptaciones específicas del deporte, dominancia lateral o antecedentes de lesión. Por este motivo, una asimetría no debe interpretarse automáticamente como patológica. Su relevancia depende de su magnitud, persistencia, evolución temporal y relación con la tarea deportiva. La comparación bilateral resulta particularmente útil cuando se utiliza para observar cambios en el tiempo y para identificar déficits que aparecen después

de una lesión. En este sentido, la evaluación longitudinal proporciona mayor información que una comparación puntual aislada.

La relación entre grupos musculares agonistas y antagonistas también puede ser estudiada mediante pruebas específicas. Un ejemplo clásico corresponde a la relación funcional entre los músculos isquiotibiales y el cuádriceps, especialmente en disciplinas con aceleraciones, carreras de alta velocidad y cambios frecuentes de dirección. El análisis de estas relaciones puede contribuir a caracterizar la capacidad de estabilización dinámica de una articulación. Sin embargo, los valores de referencia deben interpretarse con precaución debido a las diferencias existentes entre métodos de evaluación, velocidades angulares, poblaciones y características deportivas. Por ello, es preferible combinar ratios musculares con otras variables funcionales y con el historial individual del atleta.

La valoración muscular también debe incorporar el análisis del control neuromuscular. La producción de fuerza no depende exclusivamente de la masa muscular, sino de la capacidad del sistema nervioso para activar coordinadamente diferentes grupos musculares. Durante acciones deportivas complejas, la sincronización, la anticipación y la capacidad de modificar rápidamente la activación muscular son fundamentales. Los programas de entrenamiento neuromuscular que combinan fuerza, pliometría, equilibrio, agilidad y control del movimiento han demostrado utilidad en estrategias de prevención de determinadas lesiones deportivas (Taylor et al., 2015).

En el ámbito de la prevención de lesiones, la valoración muscular puede contribuir a identificar factores modificables relacionados con el rendimiento y el control del movimiento. Sin embargo, ningún déficit aislado permite predecir con certeza quién sufrirá una lesión. El enfoque contemporáneo entiende el riesgo deportivo como un fenómeno multifactorial en el que interactúan carga de entrenamiento, antecedentes lesionales, características individuales, factores biomecánicos, recuperación y condiciones ambientales. Por ello, las pruebas musculares deben utilizarse como parte de un sistema integral de vigilancia y no como herramientas deterministas. Las recomendaciones internacionales para la prevención deportiva apoyan la utilización de información proveniente del

historial de lesiones y del cribado previo a la temporada para orientar estrategias preventivas (Mendonça et al., 2022).

Las lesiones musculares constituyen una preocupación relevante en diferentes disciplinas deportivas debido a que pueden producir pérdida de tiempo de entrenamiento, limitaciones funcionales y recurrencias. La valoración muscular adquiere especial importancia durante la rehabilitación porque permite determinar la evolución de la capacidad de generar fuerza y controlar movimientos específicos. Una recuperación adecuada no debería basarse exclusivamente en la desaparición del dolor, sino también en la recuperación de capacidades relacionadas con las exigencias del deporte. Los sistemas contemporáneos de clasificación de lesiones musculares consideran variables relacionadas con el mecanismo, localización, gravedad y recurrencia, favoreciendo una comunicación más precisa entre los profesionales responsables del deportista (Valle et al., 2017).

Durante el retorno al deporte, las pruebas musculares deben progresar desde evaluaciones relativamente simples hacia tareas cada vez más específicas y exigentes. Inicialmente puede ser necesario determinar si existe dolor, déficit de fuerza o limitación funcional; posteriormente pueden incorporarse pruebas de fuerza máxima, potencia, resistencia y movimientos deportivos. Esta progresión permite establecer una conexión entre la recuperación de la capacidad muscular y las demandas reales de la disciplina. La decisión de retorno debe ser multidimensional y considerar también factores médicos, psicológicos, técnicos y contextuales. El consenso médico-deportivo actual enfatiza la necesidad de una valoración sistemática de las lesiones musculoesqueléticas antes de tomar decisiones clínicas relacionadas con la participación deportiva (Herring et al., 2024).

La ecografía musculoesquelética representa una herramienta complementaria que permite observar características estructurales del tejido muscular y puede contribuir al seguimiento de determinadas lesiones. Su utilidad aumenta cuando es realizada por profesionales con formación específica y cuando los hallazgos se integran con la exploración clínica y las pruebas funcionales. No obstante, una alteración estructural observada mediante imagen no siempre equivale a

una limitación funcional proporcional. Por esta razón, la imagen debe considerarse una fuente adicional de información y no un sustituto de la evaluación funcional. En el contexto deportivo, la integración de estructura y función proporciona una comprensión más completa del estado muscular.

Las tecnologías de medición basadas en plataformas de fuerza, sensores inerciales, sistemas de captura de movimiento y dispositivos portátiles han ampliado las posibilidades para analizar el comportamiento muscular durante tareas funcionales. Aunque algunas de estas tecnologías permiten obtener grandes cantidades de datos, su utilidad depende de la calidad de las mediciones, la estandarización del procedimiento y la capacidad del profesional para interpretar los resultados. El aumento de la disponibilidad de dispositivos no significa necesariamente que todos sean apropiados para la práctica clínica o deportiva. La selección tecnológica debe responder a una pregunta concreta de evaluación y a la posibilidad de transformar los datos en decisiones útiles.

La valoración muscular debe considerar las características específicas de cada deporte. Un futbolista necesita expresar fuerza y potencia en aceleraciones, frenadas, saltos y golpeos; un nadador requiere capacidades relacionadas con la producción repetitiva de fuerza en el agua; un ciclista presenta demandas particulares de resistencia y producción de potencia; mientras que un levantador de pesas necesita altos niveles de fuerza y coordinación intermuscular. En consecuencia, utilizar la misma batería de pruebas para todos los deportistas puede reducir la validez ecológica de la evaluación. La especificidad de las pruebas debe ser uno de los principios centrales del proceso.

La edad y el nivel de entrenamiento también modifican la interpretación de los resultados musculares. En deportistas jóvenes, el desarrollo biológico, el crecimiento y la maduración pueden generar cambios importantes en fuerza, potencia y composición corporal. En atletas adultos, la experiencia de entrenamiento y las adaptaciones acumuladas pueden modificar considerablemente los valores esperados. En personas mayores físicamente activas, la evaluación debe considerar además cambios relacionados con la edad y las necesidades particulares de recuperación. Por ello, la comparación

ISBN
978-9942-595-19-5

con valores poblacionales debe realizarse cuidadosamente y, cuando sea posible, debe priorizarse el seguimiento de la trayectoria individual.

El sexo y las características hormonales también pueden influir en la función muscular y en las respuestas al entrenamiento. En mujeres deportistas, la valoración debe integrarse con una perspectiva amplia de salud, nutrición, recuperación y disponibilidad energética. La baja disponibilidad energética puede asociarse con alteraciones que afectan diferentes sistemas fisiológicos y puede acompañarse de disminución del rendimiento y de la fuerza muscular. El consenso del Comité Olímpico Internacional sobre deficiencia energética relativa en el deporte recomienda prestar atención a cambios longitudinales en métricas específicas de rendimiento y fuerza para detectar posibles alteraciones funcionales (Mountjoy et al., 2023).

En deportistas con discapacidad, la valoración muscular requiere adaptaciones específicas que consideren el tipo de discapacidad, las características funcionales y las demandas de la disciplina practicada. Los procedimientos utilizados en deportistas convencionales no siempre pueden aplicarse directamente a atletas paralímpicos. Por ello, la evaluación debe individualizarse y considerar las capacidades preservadas, las limitaciones funcionales y las necesidades específicas del deporte. Las recomendaciones internacionales para la evaluación periódica de atletas paralímpicos destacan la importancia de incluir componentes neuromusculoesqueléticos dentro de una valoración integral de salud (Pinheiro et al., 2024).

La confiabilidad de la medición es un aspecto indispensable para interpretar cualquier resultado muscular. Una prueba puede parecer sofisticada, pero si presenta una variabilidad elevada entre evaluaciones, su utilidad para monitorizar cambios individuales será limitada. Por esta razón, es necesario estandarizar el horario, calentamiento, instrucciones, posición corporal, número de intentos, períodos de descanso y condiciones ambientales. La familiarización del deportista con el procedimiento también puede reducir los efectos de aprendizaje. La repetición de protocolos bajo condiciones similares permite distinguir mejor entre cambios reales y variaciones propias de la medición.

La interpretación de los resultados debería realizarse mediante perfiles individuales y seguimiento longitudinal. En lugar de considerar exclusivamente si un deportista supera un valor de referencia, resulta más informativo observar cómo evolucionan sus capacidades en diferentes momentos de la temporada. Una reducción persistente de la fuerza o potencia puede justificar una evaluación adicional, especialmente si coincide con aumento de fatiga, cambios en el rendimiento o modificaciones en la carga de entrenamiento. Este enfoque es coherente con las recomendaciones contemporáneas que promueven el seguimiento de indicadores relevantes para el deportista y el contexto específico de su actividad (Mountjoy et al., 2023).

La valoración muscular también puede utilizarse para individualizar los programas de entrenamiento. Si un deportista presenta una capacidad elevada de fuerza máxima pero dificultades para expresarla rápidamente, puede ser necesario priorizar estímulos orientados a la velocidad y potencia. Por el contrario, cuando la principal limitación corresponde a la capacidad de producir fuerza, pueden ser necesarios estímulos específicos de fuerza máxima. Esta individualización debe realizarse considerando la técnica deportiva, la carga global, la recuperación y los objetivos competitivos. De esta manera, la valoración deja de ser una actividad meramente descriptiva y se convierte en una herramienta para orientar la intervención.

Desde una perspectiva preventiva, la valoración muscular debe integrarse dentro de programas de entrenamiento neuromuscular y estrategias de reducción del riesgo. La evidencia disponible indica que los programas multicomponentes que incluyen fuerza, equilibrio, agilidad, pliometría y control del movimiento pueden contribuir a reducir determinadas lesiones deportivas. Investigaciones recientes del consenso FAIR también han encontrado beneficios de programas neuromusculares sobre lesiones de miembros inferiores, incluidos efectos relevantes sobre lesiones del ligamento cruzado anterior y esguinces de tobillo en atletas femeninas (Bullock et al., 2025).

En conclusión, la valoración muscular en deportistas constituye un proceso multidimensional que integra exploración clínica, medición objetiva de fuerza, potencia y resistencia, análisis del control neuromuscular, evaluación de

ISBN
978-9942-595-19-5

simetrías, seguimiento de la fatiga y consideración de las demandas específicas del deporte. Su verdadero valor no reside únicamente en obtener cifras, sino en transformar los resultados en información útil para prevenir lesiones, optimizar el entrenamiento, controlar la recuperación y favorecer el rendimiento. La tendencia actual apunta hacia modelos de evaluación longitudinales, individualizados y específicos para cada disciplina, en los que los datos instrumentales se integren con la historia clínica, la carga deportiva y la observación funcional. En este sentido, la valoración muscular debe entenderse como un proceso continuo dentro de la preparación deportiva y no como una prueba aislada realizada únicamente al inicio o al final de una temporada (Bahr et al., 2020; Mendonça et al., 2022)



CAPITULO XVI
VALORACIÓN MUSCULAR EN POBLACIONES ESPECIALES

La valoración muscular constituye un componente fundamental de la evaluación física, funcional y clínica, debido a que la capacidad del sistema neuromuscular determina, en gran medida, la posibilidad de ejecutar movimientos, mantener la postura, desplazarse y desarrollar actividades de la vida diaria. Sin embargo, cuando esta valoración se realiza en poblaciones especiales, no resulta apropiado aplicar de manera indiscriminada los mismos procedimientos utilizados en adultos jóvenes aparentemente sanos. Las diferencias relacionadas con la edad, el desarrollo biológico, el embarazo, las enfermedades crónicas, las alteraciones neurológicas, las discapacidades, la fragilidad y otros factores clínicos pueden modificar tanto la expresión de la fuerza como la respuesta al esfuerzo. En consecuencia, la valoración muscular debe entenderse como un proceso individualizado que integra antecedentes, examen físico, características funcionales y selección de instrumentos apropiados para las condiciones particulares de cada persona. El American College of Sports Medicine (ACSM) reconoce la necesidad de adaptar la evaluación y la prescripción del ejercicio a poblaciones con características fisiológicas y clínicas diferenciadas, incluyendo niños, adolescentes, adultos mayores, mujeres embarazadas y personas con enfermedades crónicas (American College of Sports Medicine [ACSM], 2025a).

El concepto de población especial no debe interpretarse exclusivamente como sinónimo de enfermedad. En el contexto de la valoración muscular comprende grupos que presentan características fisiológicas, funcionales o clínicas que requieren procedimientos de evaluación diferenciados. Entre ellos se encuentran los niños y adolescentes, las personas mayores, las mujeres durante el embarazo y el posparto, individuos con enfermedades cardiovasculares, metabólicas, respiratorias, neurológicas u osteomusculares, personas con discapacidad y sujetos con condiciones de fragilidad o deterioro funcional. La valoración debe considerar que la fuerza muscular no es una variable aislada, sino el resultado de la interacción entre masa muscular, activación neural, coordinación, arquitectura muscular, capacidad energética, estado hormonal, dolor, movilidad articular y características psicológicas. Por ello, una disminución del rendimiento observado durante una prueba no necesariamente significa pérdida estructural de tejido muscular, sino que puede reflejar limitaciones neurológicas, dolor, temor al movimiento, fatiga, alteraciones del equilibrio o

dificultades para comprender las instrucciones (ACSM, 2025a; American College of Sports Medicine [ACSM], 2021).

Uno de los principios esenciales de la valoración muscular en poblaciones especiales es la seguridad. Antes de seleccionar una prueba de fuerza, resistencia o potencia, el profesional debe identificar antecedentes médicos, medicamentos utilizados, síntomas actuales, limitaciones funcionales, intervenciones quirúrgicas previas y posibles contraindicaciones para el esfuerzo. Esta etapa permite determinar si la persona puede realizar una evaluación máxima, submáxima o exclusivamente funcional. En poblaciones con enfermedad cardiovascular, respiratoria, metabólica o neuromuscular, el procedimiento puede requerir una evaluación clínica previa y modificaciones importantes del protocolo. Las recomendaciones contemporáneas del ACSM destacan la importancia del cribado previo, la identificación de riesgos y la adaptación de las pruebas de ejercicio a las características clínicas individuales (ACSM, 2025a). Por tanto, la valoración muscular debe comenzar con una estrategia de estratificación del riesgo y no simplemente con la aplicación automática de un test.

La selección de instrumentos debe responder al objetivo específico de la evaluación. Cuando se pretende conocer la fuerza máxima o la capacidad de producir fuerza de manera cuantificable, pueden utilizarse dinamómetros manuales o dispositivos de mayor capacidad de medición. Cuando el interés se centra en la función global, pueden ser más apropiadas pruebas como levantarse y sentarse de una silla, subir escalones, caminar a una velocidad determinada o realizar tareas funcionales repetidas. La evaluación muscular contemporánea reconoce que la fuerza y la función están estrechamente relacionadas, pero no son conceptos equivalentes. Una persona puede presentar una fuerza relativamente conservada en una prueba aislada y, sin embargo, experimentar dificultades para realizar actividades cotidianas debido a problemas de equilibrio, coordinación o resistencia. El ACSM incluye la fuerza y la resistencia muscular entre los componentes fundamentales de la condición física, mientras que también reconoce la importancia de capacidades como equilibrio, coordinación, potencia y movilidad en determinados grupos poblacionales (ACSM, 2021).

ISBN
978-9942-595-19-5

En niños y adolescentes, la valoración muscular debe incorporar el proceso de crecimiento y maduración biológica. La fuerza no aumenta únicamente como consecuencia de la hipertrofia muscular, sino también por modificaciones en la coordinación neuromuscular, el control motor, la estructura corporal y la experiencia con diferentes patrones de movimiento. Por esta razón, comparar directamente el rendimiento de un niño con valores de referencia propios de adultos puede conducir a interpretaciones incorrectas. La edad cronológica tampoco explica por sí sola todas las diferencias observadas, debido a que individuos de la misma edad pueden encontrarse en etapas distintas de maduración. El profesional debe registrar variables antropométricas y considerar el desarrollo biológico cuando sea pertinente, además de utilizar protocolos adaptados a la capacidad cognitiva y motora del participante. Las recomendaciones profesionales del ACSM destacan explícitamente la importancia de conocer los cambios madurativos que afectan la musculatura, la fuerza, la coordinación, la postura y otras capacidades durante el crecimiento (ACSM, 2025b).

En población pediátrica, la evaluación muscular debe realizarse mediante procedimientos comprensibles, motivadores y seguros. Las pruebas excesivamente complejas o que requieren altos niveles de esfuerzo pueden generar resultados poco fiables si el niño no comprende adecuadamente la tarea o no posee experiencia previa con el movimiento solicitado. La dinamometría, las pruebas funcionales de miembros inferiores, los saltos, las tareas de levantarse de una silla y determinados protocolos de resistencia pueden ser útiles cuando están correctamente adaptados. También es importante controlar factores como el cansancio, el estado emocional y el interés del participante. La repetición de las mediciones bajo condiciones similares permite evaluar cambios longitudinales y distinguir entre una verdadera modificación de la función muscular y la variabilidad propia del proceso de aprendizaje motor. En este sentido, la valoración pediátrica debe concebirse como un proceso evolutivo y no como una medición única destinada exclusivamente a establecer una clasificación.

En las personas mayores, la valoración muscular adquiere una relevancia especial debido a la progresiva modificación de la masa, fuerza y potencia

muscular asociada al envejecimiento. La reducción de la capacidad muscular puede afectar la movilidad, el equilibrio, la velocidad de marcha y la independencia para desarrollar actividades cotidianas. No obstante, el envejecimiento presenta una considerable variabilidad individual, por lo que no todas las personas mayores presentan el mismo grado de deterioro funcional. La evaluación debe diferenciar entre cambios propios de la edad y alteraciones relacionadas con sedentarismo, enfermedades crónicas, malnutrición, hospitalización o inactividad prolongada. Las recomendaciones actuales para profesionales del ejercicio consideran específicamente los cambios musculoesqueléticos y funcionales asociados con el envejecimiento y promueven la adaptación de las pruebas de fuerza, capacidad funcional y equilibrio a las características individuales (ACSM, 2025b).

En este grupo poblacional, las pruebas funcionales pueden proporcionar información particularmente relevante. El test de levantarse y sentarse de una silla, por ejemplo, permite valorar indirectamente la capacidad de generar fuerza de los miembros inferiores y su relación con una tarea cotidiana. La velocidad de marcha, las pruebas de movilidad y determinadas baterías funcionales también pueden aportar información complementaria sobre el desempeño global. En adultos mayores con riesgo de fragilidad, la interpretación no debería centrarse únicamente en un valor de fuerza aislado, sino integrar movilidad, equilibrio, resistencia y capacidad para realizar actividades de la vida diaria. La literatura contemporánea sobre valoración funcional recomienda utilizar instrumentos estandarizados y reproducibles cuando se pretende realizar seguimiento clínico o evaluar los efectos de programas de ejercicio (Cruz-Jentoft et al., 2019). La integración de estas variables permite detectar tempranamente deterioros que podrían pasar inadvertidos cuando solo se mide fuerza máxima.

El embarazo constituye otra situación que requiere una valoración muscular cuidadosamente adaptada. Durante este período se producen modificaciones hormonales, biomecánicas, cardiovasculares y musculoesqueléticas que pueden modificar la postura, el equilibrio y la distribución de cargas. El objetivo de la evaluación no debe ser demostrar una capacidad máxima, sino determinar el estado funcional de la persona y establecer condiciones seguras para la actividad física. La valoración puede incluir fuerza funcional de miembros

superiores e inferiores, movilidad, estabilidad lumbopélvica y capacidad para realizar tareas cotidianas. Las pruebas deben evitar posiciones o demandas que resulten incómodas o inapropiadas para la etapa gestacional y deben considerar las recomendaciones médicas cuando existan condiciones clínicas específicas. El ACSM incluye a las mujeres embarazadas entre las poblaciones que requieren consideraciones particulares para la valoración y programación del ejercicio (ACSM, 2025a).

Durante el posparto, la valoración muscular puede orientarse hacia la recuperación progresiva de la capacidad funcional, teniendo en cuenta las características del embarazo, el tipo de parto, la recuperación del suelo pélvico, la presencia de dolor y las condiciones individuales de la mujer. La valoración no debería reducirse a una prueba convencional de fuerza, porque determinadas alteraciones del control motor o de la estabilidad pueden aparecer únicamente durante tareas dinámicas. El análisis de patrones de movimiento, la capacidad para cargar, levantar, caminar y realizar cambios de posición puede complementar las mediciones objetivas. Cuando existen síntomas persistentes, dolor o sospecha de alteración funcional, la valoración debe realizarse dentro del ámbito de competencia correspondiente y con derivación profesional cuando sea necesario. La individualización es especialmente importante porque la recuperación posparto presenta una elevada variabilidad interindividual.

Enfermedades crónicas y metabólicas

Las personas con enfermedades crónicas representan una población en la que la valoración muscular puede contribuir tanto al diagnóstico funcional como al seguimiento de intervenciones. En sujetos con diabetes tipo 2, obesidad, hipertensión, enfermedad cardiovascular u otras alteraciones metabólicas, la capacidad muscular puede estar condicionada por el nivel de actividad física, la composición corporal, la presencia de neuropatías, el dolor, los medicamentos y las complicaciones asociadas. En estos casos, la evaluación debe integrar fuerza, resistencia muscular y capacidad funcional, evitando interpretar una sola medición como representación completa del estado físico. La valoración también puede servir para determinar la tolerancia a programas de entrenamiento y establecer progresiones individualizadas. Las guías del ACSM incorporan

diferentes enfermedades crónicas dentro de los escenarios en los que la prescripción del ejercicio requiere modificaciones y precauciones específicas (ACSM, 2025a).

En individuos con obesidad y alteraciones metabólicas, resulta especialmente importante distinguir entre fuerza absoluta y fuerza relativa. Una persona puede producir una cantidad considerable de fuerza debido a su mayor masa corporal, pero presentar una capacidad funcional limitada cuando esa fuerza se expresa en relación con el peso corporal que debe movilizar. Esta consideración resulta relevante en actividades como caminar, subir escaleras o levantarse de una silla. De igual manera, las alteraciones metabólicas pueden asociarse con reducción de la capacidad de realizar esfuerzos prolongados, por lo que la resistencia muscular debe evaluarse junto con la fuerza. El uso combinado de dinamometría, pruebas funcionales y medidas antropométricas permite obtener una visión más completa del rendimiento musculoesquelético. El ACSM recomienda valorar diferentes componentes de la aptitud física y seleccionar aquellos que tengan mayor relevancia para las necesidades individuales (ACSM, 2021).

En personas con enfermedades cardiovasculares, la valoración muscular debe integrarse con la evaluación de la respuesta cardiovascular al esfuerzo. El objetivo no es únicamente determinar cuánta fuerza puede producir un grupo muscular, sino establecer qué nivel de esfuerzo puede tolerarse de manera segura. Variables como frecuencia cardíaca, presión arterial, percepción subjetiva del esfuerzo y síntomas deben considerarse cuando el contexto clínico lo requiera. En determinadas circunstancias pueden ser necesarios procedimientos supervisados y coordinación con profesionales de la salud. La valoración de la musculatura periférica puede aportar información importante para identificar desacondicionamiento, especialmente en personas que han reducido significativamente su actividad física. Las recomendaciones actuales de ejercicio clínico resaltan la necesidad de considerar enfermedades cardiovasculares, respiratorias, metabólicas y musculoesqueléticas dentro de una evaluación integral (ACSM, 2025a).

En enfermedades respiratorias, la función muscular puede verse afectada tanto a nivel periférico como respiratorio. La debilidad de los músculos respiratorios

puede limitar la capacidad de realizar esfuerzos y contribuir a la disminución de la tolerancia funcional. Por esta razón, la valoración puede requerir pruebas específicas de función respiratoria muscular además de la evaluación de la musculatura de las extremidades. La edición actual de las recomendaciones del ACSM incorpora un apartado específico sobre evaluación y entrenamiento de los músculos respiratorios, reflejando el creciente reconocimiento de su importancia clínica (ACSM, 2025a). La interpretación de los resultados debe considerar la enfermedad de base, el estado de oxigenación, la fatiga y la medicación, evitando extrapolar resultados obtenidos en personas sanas.

Las personas con enfermedades neurológicas presentan desafíos particulares para la valoración muscular debido a que la disminución del rendimiento puede originarse en diferentes niveles del sistema neuromuscular. Alteraciones del control motor, espasticidad, paresia, problemas de coordinación, trastornos del equilibrio o dificultades cognitivas pueden interferir con las pruebas convencionales de fuerza. En estos casos, el examinador debe determinar si la persona puede comprender la instrucción, adoptar la posición requerida y producir una contracción voluntaria suficientemente aislada. Las pruebas manuales pueden ser útiles para establecer patrones de debilidad, mientras que la dinamometría puede proporcionar mediciones cuantitativas cuando las condiciones lo permiten. Sin embargo, los resultados deben interpretarse dentro del contexto neurológico y funcional del individuo, porque una puntuación determinada no representa necesariamente la capacidad completa para realizar actividades cotidianas.

En personas con discapacidad física, intelectual o sensorial, la evaluación muscular debe incorporar principios de accesibilidad y adaptación. La modificación de la posición corporal, las instrucciones verbales, los apoyos externos, el número de repeticiones y los tiempos de descanso puede ser necesaria para obtener mediciones válidas. La adaptación no significa disminuir arbitrariamente el rigor científico, sino ajustar el procedimiento sin modificar el constructo que se pretende medir. Cuando una prueba convencional no puede ejecutarse, puede seleccionarse una alternativa funcional que permita evaluar una capacidad equivalente. La evaluación debe registrar claramente las modificaciones realizadas para facilitar la comparación en mediciones

posteriores. Este enfoque coincide con la orientación general de la evaluación clínica contemporánea, que prioriza la individualización, la seguridad y la selección de pruebas acordes con las capacidades del sujeto (ACSM, 2025a).

La fragilidad representa una condición particularmente relevante para la valoración muscular porque se relaciona con disminución de la reserva fisiológica y mayor vulnerabilidad frente a situaciones de estrés. En estos individuos, pequeñas reducciones adicionales de fuerza o movilidad pueden producir consecuencias importantes sobre la independencia funcional. La valoración debe orientarse hacia variables que tengan significado práctico, como fuerza de prensión, rendimiento de miembros inferiores, velocidad de marcha y capacidad para realizar transferencias. Los criterios contemporáneos de sarcopenia también enfatizan la importancia de considerar simultáneamente fuerza, cantidad o calidad muscular y desempeño físico, evitando diagnosticar alteraciones exclusivamente a partir de la masa muscular (Cruz-Jentoft et al., 2019). Por consiguiente, la evaluación muscular en personas frágiles debe ser multidimensional y orientada a identificar riesgos funcionales.

En las enfermedades musculoesqueléticas, el dolor y la limitación del rango de movimiento pueden modificar significativamente el resultado de las pruebas. Una disminución de fuerza puede deberse a inhibición muscular asociada con dolor, alteraciones articulares, temor al movimiento o incapacidad para adoptar una posición adecuada, sin que necesariamente exista una pérdida primaria de tejido muscular. Por ello, la evaluación debe incorporar observación del movimiento, rango articular, dolor, simetrías y calidad de ejecución. En determinados pacientes, las pruebas isométricas pueden ser más apropiadas que las pruebas dinámicas porque permiten controlar el rango de movimiento y disminuir las demandas articulares. El profesional debe establecer procedimientos estandarizados, pero suficientemente flexibles para evitar exacerbar los síntomas o generar resultados condicionados por factores externos a la función muscular.

El desarrollo tecnológico ha ampliado las posibilidades de valoración muscular en poblaciones especiales. Los dinamómetros digitales, plataformas de fuerza, sensores inerciales, electromiografía, sistemas de análisis del movimiento y

dispositivos portátiles permiten estudiar diferentes dimensiones de la función neuromuscular. Sin embargo, la incorporación de tecnología no garantiza por sí misma una evaluación de mayor calidad. Es necesario conocer la validez, confiabilidad, sensibilidad al cambio y condiciones de aplicación de cada instrumento. La tecnología debe utilizarse cuando aporta información adicional relevante para el problema evaluado y no simplemente por su disponibilidad. Los manuales actuales de evaluación física del ACSM organizan la medición de la aptitud física alrededor de diferentes componentes y tipos de pruebas, reforzando la necesidad de seleccionar procedimientos según el propósito de la evaluación (ACSM, 2025c).

En conclusión, la valoración muscular en poblaciones especiales requiere una perspectiva integral, individualizada y basada en evidencia. Niños, adolescentes, personas mayores, mujeres embarazadas, individuos con enfermedades crónicas, pacientes con alteraciones neurológicas, personas con discapacidad y sujetos con fragilidad presentan necesidades específicas que deben reflejarse en la selección de las pruebas, la intensidad del esfuerzo, los criterios de seguridad y la interpretación de los resultados. La fuerza muscular debe analizarse conjuntamente con resistencia, potencia, movilidad, equilibrio, coordinación y capacidad funcional cuando estas variables sean relevantes para el objetivo de evaluación. Las recomendaciones contemporáneas del ACSM resaltan precisamente la necesidad de adaptar las estrategias de evaluación y ejercicio a poblaciones con diferentes condiciones fisiológicas y clínicas (ACSM, 2025a, 2025b). De esta manera, la valoración muscular deja de ser una simple medición cuantitativa y se convierte en una herramienta para identificar limitaciones, establecer objetivos, orientar intervenciones, monitorizar cambios y favorecer la autonomía funcional. Su mayor utilidad se alcanza cuando los resultados se interpretan dentro del contexto individual y se integran con la historia clínica, las características antropométricas, el desempeño funcional y las necesidades específicas de cada población.

CONCLUSIONES

La valoración de la función muscular constituye una competencia fundamental para el licenciado en Educación Física, debido a que permite comprender y analizar diferentes componentes relacionados con el movimiento humano. El estudio desarrollado en esta obra evidencia que la función muscular depende de una interacción compleja entre estructuras anatómicas, mecanismos fisiológicos, procesos neuromusculares y condiciones biomecánicas. Por ello, su valoración requiere una perspectiva integral y no limitada a la medición aislada de la fuerza.

El conocimiento de las bases anatómicas del sistema muscular proporciona el fundamento necesario para interpretar la función muscular. La organización jerárquica del músculo, desde sus estructuras macroscópicas hasta las fibras, miofibrillas y sarcómeros, permite comprender la manera en que se genera y transmite la fuerza. Esta comprensión resulta indispensable para relacionar las características estructurales con las respuestas funcionales observadas durante la evaluación.

La fisiología de la contracción demuestra que la producción de fuerza es el resultado de una integración precisa entre el sistema nervioso, la unión neuromuscular, el calcio intracelular, las proteínas contráctiles y el metabolismo energético. En consecuencia, cualquier alteración en estos componentes puede modificar el rendimiento muscular. Comprender estos mecanismos permite interpretar con mayor profundidad los cambios derivados del entrenamiento, la inactividad, el envejecimiento o determinadas condiciones funcionales.

La biomecánica aporta una perspectiva complementaria al explicar que la capacidad muscular no depende exclusivamente de la cantidad de fuerza generada. Factores como la longitud muscular, la velocidad de contracción, la arquitectura de las fibras, la posición articular y el brazo de momento modifican la expresión mecánica de la fuerza. Por ello, una valoración funcional adecuada debe considerar las condiciones en las cuales se produce el movimiento.

La evaluación física funcional debe entenderse como un proceso sistemático que comienza con la recopilación de información y continúa con la observación, la medición, la interpretación y la toma de decisiones. Los resultados adquieren

valor cuando son analizados conjuntamente y relacionados con las características individuales y contextuales de la persona. El documento destaca que la interpretación debe considerar variables como edad, actividad física, demandas deportivas u ocupacionales y condiciones asociadas.

La evaluación manual continúa siendo un recurso importante, especialmente por su accesibilidad y utilidad clínica. Sin embargo, la incorporación de herramientas instrumentales como la dinamometría ha fortalecido la capacidad de obtener información cuantitativa, objetiva y reproducible. La integración de ambos enfoques permite aprovechar las ventajas de la exploración clínica y, al mismo tiempo, disponer de mediciones precisas para el seguimiento de los cambios funcionales.

La valoración de la resistencia muscular demuestra la importancia de analizar la capacidad del individuo para mantener o repetir esfuerzos durante un periodo determinado. Su utilidad se extiende desde el rendimiento deportivo hasta las actividades cotidianas y los procesos de rehabilitación. Para obtener resultados confiables, los procedimientos deben ser estandarizados y aplicados bajo condiciones controladas.

La potencia muscular representa una capacidad diferenciada de la fuerza máxima, ya que incorpora la velocidad con la que se produce la fuerza. Esta característica adquiere especial importancia en las actividades deportivas, pero también interviene en numerosos movimientos funcionales. Su valoración debe adaptarse a las características del individuo y a las demandas de la actividad, especialmente cuando se trabaja con niños y adolescentes en proceso de crecimiento y maduración.

La postura, el equilibrio, la estabilidad y el rango de movimiento complementan la valoración de la función muscular porque permiten comprender la capacidad del individuo para organizar y controlar el movimiento. La evaluación postural, particularmente, debe superar una visión exclusivamente estática y considerar la postura como un proceso dinámico de adaptación.

La calidad de los resultados depende directamente de la calidad de los procedimientos utilizados. La validez, la fiabilidad, la estandarización y el control de las condiciones de evaluación son elementos indispensables para garantizar que los cambios observados representen modificaciones reales de la función muscular. Un instrumento sofisticado no garantiza por sí mismo una evaluación de calidad si el protocolo de aplicación y la interpretación de los datos son inadecuados.

La tecnología representa una oportunidad significativa para mejorar la valoración de la función muscular. La incorporación de sistemas de análisis tridimensional, electromiografía, sensores, plataformas de fuerza, inteligencia artificial y otras herramientas permite ampliar la capacidad de observación y cuantificación del movimiento. Sin embargo, estas tecnologías deben utilizarse como instrumentos complementarios al conocimiento profesional y al razonamiento basado en evidencia.

Una conclusión central de la obra es que no existe una única prueba capaz de describir completamente la función muscular de una persona. La selección del procedimiento debe responder al objetivo específico de la evaluación. En algunos casos será necesario valorar fuerza; en otros, resistencia, potencia, movilidad, equilibrio, estabilidad, control motor o desempeño funcional. La combinación estratégica de diferentes métodos puede proporcionar una visión más completa de las capacidades y limitaciones del individuo.

La valoración también debe ser individualizada. Los resultados deben interpretarse considerando las características biológicas, funcionales y contextuales de cada persona. Esta consideración es especialmente importante en poblaciones con diferentes niveles de desarrollo, entrenamiento o envejecimiento, donde las respuestas musculares pueden presentar diferencias significativas.

En el ámbito de la Educación Física, la valoración funcional permite fortalecer la toma de decisiones y mejorar la planificación de programas de ejercicio. La información obtenida puede utilizarse para identificar necesidades, establecer objetivos, seleccionar ejercicios, controlar progresos y realizar ajustes en los programas de intervención. De esta manera, la evaluación deja de ser una

actividad aislada y se convierte en parte de un proceso continuo de planificación y seguimiento.

En el deporte, la valoración muscular proporciona información útil para conocer las capacidades físicas de los deportistas, identificar desequilibrios, controlar adaptaciones al entrenamiento y contribuir a la prevención de lesiones. Sin embargo, los resultados de pruebas generales no deben interpretarse como indicadores absolutos del rendimiento específico, debido a que cada disciplina presenta demandas técnicas, fisiológicas y biomecánicas particulares.

En los procesos de rehabilitación, la valoración muscular permite establecer una línea de base, determinar déficits, controlar la recuperación y orientar el retorno progresivo a las actividades funcionales o deportivas. La medición objetiva de los cambios facilita la identificación de avances y contribuye a tomar decisiones fundamentadas sobre la progresión de las intervenciones.

La valoración funcional posee igualmente una dimensión preventiva. La identificación temprana de limitaciones de fuerza, movilidad, equilibrio, resistencia o control motor puede contribuir a reducir factores asociados con lesiones y deterioro funcional. La educación postural, el ejercicio físico, el fortalecimiento muscular y el entrenamiento del control motor constituyen estrategias que pueden integrarse dentro de programas preventivos.

En términos educativos, la enseñanza de la valoración muscular favorece el desarrollo de profesionales capaces de aplicar conocimientos científicos a situaciones reales. El futuro licenciado en Educación Física debe adquirir no solamente habilidades técnicas para ejecutar una prueba, sino también competencias para seleccionar procedimientos, controlar variables, interpretar resultados y comunicar sus conclusiones de manera responsable.

La integración interdisciplinaria constituye otro aspecto fundamental. La función muscular se relaciona con conocimientos provenientes de la anatomía, fisiología, biomecánica, entrenamiento deportivo, fisioterapia, medicina y otras áreas de las ciencias de la salud. Una adecuada valoración puede beneficiarse del trabajo colaborativo entre profesionales cuando las características del individuo o del contexto así lo requieran.

En consecuencia, la valoración de la función muscular debe concebirse como un proceso científico, sistemático, individualizado y continuo. Su finalidad no consiste únicamente en obtener valores numéricos, sino en transformar los resultados en información útil para comprender el estado funcional de una persona y orientar decisiones relacionadas con la actividad física, el ejercicio, el deporte, la rehabilitación y la salud.

Finalmente, la principal aportación de esta obra radica en fortalecer una visión integral de la función muscular y de su valoración. El conocimiento anatómico y fisiológico, la comprensión biomecánica, el dominio de las técnicas de evaluación, el uso responsable de tecnologías y la interpretación contextualizada de los resultados conforman un conjunto de competencias esenciales para el profesional de la Educación Física. Evaluar adecuadamente significa comprender el movimiento, identificar necesidades y utilizar el conocimiento científico para favorecer una vida físicamente activa, funcional, segura y saludable.

Referencias

Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Morgan, D., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2022). *Molecular Biology of the Cell* (7th ed.). W. W. Norton & Company.

American Academy of Orthopaedic Surgeons. (1965). *Joint motion: Method of measuring and recording*. Author.

American College of Sports Medicine. (2021). *ACSM's exercise testing and prescription*. Wolters Kluwer.

American College of Sports Medicine. (2021). *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription* (11th ed.). Wolters Kluwer.

American College of Sports Medicine. (2022). *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription* (11th ed.). Wolters Kluwer.

American College of Sports Medicine. (2025a). *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription* (12th ed.). Wolters Kluwer.

American College of Sports Medicine. (2025b). *ACSM certified exercise physiologist: Exam content outline*. American College of Sports Medicine.

American College of Sports Medicine. (2025c). *ACSM's fitness assessment manual* (6th ed.). Wolters Kluwer.

American Physical Therapy Association. (2021). *Guide to Physical Therapist Practice 4.0*. American Physical Therapy Association.

American Physical Therapy Association. (2023). *Guide to Physical Therapist Practice 4.0*. https://guide.apta.org

ATS Committee on Proficiency Standards for Clinical Pulmonary Function Laboratories. (2002). ATS statement: Guidelines for the six-minute walk test. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, 166*(1), 111–117.

Bahr, R., & Krosshaug, T. (2005). Understanding injury mechanisms: A key component of preventing injuries in sport. *British Journal of Sports Medicine, 39*(6), 324–329. https://doi.org/10.1136/bjsm.2005.018341

Bahr, R., Clarsen, B., Derman, W., Dvorak, J., Emery, C. A., Finch, C. F., Hägglund, M., Junge, A., Kemp, S., Khan, K. M., Marshall, S. W., Meeuwisse, W., Mountjoy, M., Orchard, J. W., Pluim, B., Quarrie, K. L., Reider, B., Schwellnus, M., Soligard, T., ... Chamari, K. (2020). International Olympic Committee consensus statement: Methods for recording and reporting of epidemiological data on injury and illness in sport 2020 (including STROBE Extension for Sport Injury and Illness Surveillance [STROBE-SIIS]). *British Journal of Sports Medicine, 54*(7), 372–389. https://doi.org/10.1136/bjsports-2019-101969

Bean, J. F., Kiely, D. K., Herman, S., Leveille, S. G., Mizer, K., Frontera, W. R., & Fielding, R. A. (2002). The relationship between leg power and physical performance in mobility-limited older people. *Journal of the American Geriatrics Society, 50*(3), 461–467.

Bear, M. F., Connors, B. W., & Paradiso, M. A. (2020). *Neuroscience: Exploring the brain* (4th ed.). Wolters Kluwer.

Behm, D. G., Blazevich, A. J., Kay, A. D., & McHugh, M. (2016). Acute effects of muscle stretching on physical performance, range of motion, and injury incidence in healthy active individuals: A systematic review. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism, 41*(1), 1–11. https://doi.org/10.1139/apnm-2015-0235

Berg, K., Wood-Dauphinee, S., Williams, J. I., & Maki, B. (1992). Measuring balance in the elderly: Validation of an instrument. *Canadian Journal of Public Health, 83*(Suppl. 2), S7–S11.

Bohannon, R. W. (2005). *Manual muscle test scores and dynamometer test scores of knee extension strength*. Physical Therapy, 85(10), 1066–1069.

Bohannon, R. W. (2019). Considerations and practical options for measuring muscle strength: A narrative review. *BioMed Research International, 2019*, 8194537. https://doi.org/10.1155/2019/8194537

Bohannon, R. W. (2019). Grip strength: An indispensable biomarker for older adults. *Clinical Interventions in Aging, 14*, 1681–1691. https://doi.org/10.2147/CIA.S194543

Boron, W. F., & Boulpaep, E. L. (2022). *Medical Physiology* (4th ed.). Elsevier.

Brown, L. E., & Weir, J. P. (2001). ASEP procedures recommendation I: Accurate assessment of muscular strength and power. *Journal of Exercise Physiology Online, 4*(3), 1–21.

Bullock, G. S., Räisänen, A. M., Martin, C., Martin, M., Galarneau, J.-M., Whittaker, J. L., Losciale, J. M., Bizzini, M., Bourne, M. N., Dijkstra, H. P., Dubé, M.-O., Hayden, A., Girdwood, M., Hägglund, M., McLeod, S., Mkumbuzi, N. S., Mosler, A. B., Murphy, M. C., Ocarino, J. M., ... Crossley, K. M. (2025). Prevention strategies for lower extremity injury: A systematic review and meta-analyses for the Female, woman and/or girl Athlete Injury pRevention (FAIR) consensus. *British Journal of Sports Medicine, 59*(22), 1575–1586.

Camara, K. D., et al. (2015). Inertial sensors for human movement analysis: A review. *Sensors, 15*, 1–25.

Cardon, G., & Balagué, F. (2004). Low back pain prevention's effects in schoolchildren. *What is the evidence? European Spine Journal, 13*(8), 663–679.

Chaffin, D. B., Andersson, G. B. J., & Martin, B. J. (2006). *Occupational biomechanics* (4th ed.). John Wiley & Sons.

Cook, G., Burton, L., Hoogenboom, B., & Voight, M. (2014). Functional movement screening: The use of fundamental movements as an assessment of function. *International Journal of Sports Physical Therapy, 9*(3), 396–409.

Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2011a). Developing maximal neuromuscular power: Part 1—Biological basis of maximal power production. *Sports Medicine, 41*(1), 17–38.

Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2011b). Developing maximal neuromuscular power: Part 2—Training considerations for improving maximal power production. *Sports Medicine, 41*(2), 125–146.

Costanzo, L. S. (2022). *Physiology* (7th ed.). Elsevier.

Cruz-Jentoft, A. J., Bahat, G., Bauer, J., Boirie, Y., Bruyère, O., Cederholm, T., Cooper, C., Landi, F., Rolland, Y., Sayer, A. A., Schneider, S. M., Sieber, C. C., Topinková, E., Vandewoude, M., Visser, M., & Writing Group for the European Working Group on Sarcopenia in Older People 2 (EWGSOP2). (2019). Sarcopenia: Revised European consensus on definition and diagnosis. *Age and Ageing, 48*(1), 16–31. https://doi.org/10.1093/ageing/afy169

Cruz-Jentoft, A. J., Bahat, G., Bauer, J., Boirie, Y., Bruyère, O., Cederholm, T., Cooper, C., Landi, F., Rolland, Y., Sayer, A. A., Schneider, S. M., Sieber, C. C., Topinková, E., Vandewoude, M., & Zamboni, M. (2019). Sarcopenia: Revised European consensus on definition and diagnosis. *Age and Ageing, 48*(1), 16–31. https://doi.org/10.1093/ageing/afy169

Cuthbert, S. C., & Goodheart, G. J. (2007). On the reliability and validity of manual muscle testing: A literature review. *Chiropractic & Osteopathy, 15*(4), 1–23. https://doi.org/10.1186/1746-1340-15-4

Daloia, L. M. T., Leonardi-Figueiredo, M. M., Martinez, E. Z., & Mattiello-Sverzut, A. C. (2018). Isometric muscle strength in children and adolescents using handheld dynamometry: Reliability and normative data for the Brazilian population. *Brazilian Journal of Physical Therapy, 22*(6), 474–483. https://doi.org/10.1016/j.bjpt.2018.04.006

Daniels, L., & Worthingham, C. (2013). *Daniels and Worthingham's Muscle Testing: Techniques of Manual Examination and Performance Testing* (9th ed.). Elsevier.

De Luca, C. J. (1997). The use of surface electromyography in biomechanics. *Journal of Applied Biomechanics, 13*(2), 135–163. https://doi.org/10.1123/jab.13.2.135

Domholdt, E. (2020). *Rehabilitation Research: Principles and Applications* (5th ed.). Elsevier.

Dvir, Z. (2004). *Isokinetics: Muscle Testing, Interpretation and Clinical Applications* (2nd ed.). Elsevier.

Enoka, R. M., & Duchateau, J. (2016). Translating fatigue to human performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 48*(11), 2228–2238. https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000929

Fess, E. E., & Moran, C. (1981). *Clinical Assessment Recommendations*. American Society of Hand Therapists.

Fragala, M. S., Cadore, E. L., Dorgo, S., Izquierdo, M., Kraemer, W. J., Peterson, M. D., & Ryan, E. D. (2019). Resistance training for older adults: Position statement from the National Strength and Conditioning Association. *Journal of Strength and Conditioning Research, 33*(8), 2019–2052.

Furlanetto, T. S., Sedrez, J. A., Candotti, C. T., & Loss, J. F. (2016). Photogrammetry as a tool for the postural evaluation of the spine: A systematic review. *World Journal of Orthopedics, 7*(2), 136–148.

Ganong, W. F. (2019). *Review of Medical Physiology* (26th ed.). McGraw-Hill Education.

Garber, C. E., Blissmer, B., Deschenes, M. R., Franklin, B. A., Lamonte, M. J., Lee, I. M., Nieman, D. C., & Swain, D. P. (2011). Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 43*(7), 1334–1359.

García-Hermoso, A., Ramírez-Vélez, R., & colaboradores. (2022). Normative values for handgrip strength in Colombian children and adolescents from

6 to 17 years of age: Estimation using quantile regression. *Jornal de Pediatria*.

Gómez-Cabrera, M. C., et al. (2021). Comparison between original and revised consensus of European Working Group on Sarcopenia in Older People: A probabilistic cross-sectional survey among community-dwelling older people. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 18*(18), 9738. https://doi.org/10.3390/ijerph18189738

Grgic, J., Schoenfeld, B. J., Davies, T. B., Lazinica, B., Krieger, J. W., & Pedisic, Z. (2018). Effect of resistance training frequency on gains in muscular strength: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine, 48*, 1207–1220. https://doi.org/10.1007/s40279-018-0872-x

Guyton, A. C., & Hall, J. E. (2021). *Tratado de fisiología médica* (14.ª ed.). Elsevier.

Haff, G. G., & Triplett, N. T. (Eds.). (2016). *Essentials of strength training and conditioning* (4th ed.). Human Kinetics.

Hall, C. M., & Brody, L. T. (2019). *Therapeutic Exercise: Moving Toward Function* (4th ed.). Wolters Kluwer.

Hall, J. E. (2021). *Guyton y Hall. Tratado de fisiología médica* (14.ª ed.). Elsevier.

Hall, J. E., & Hall, M. E. (2021). *Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology* (14th ed.). Elsevier.

Hamill, J., Knutzen, K. M., & Derrick, T. R. (2022). *Biomechanical basis of human movement* (5th ed.). Wolters Kluwer.

Hargreaves, M., & Spriet, L. L. (Eds.). (2020). *Exercise metabolism* (3rd ed.). Human Kinetics.

Henneman, E., Somjen, G., & Carpenter, D. O. (1965). Functional significance of cell size in spinal motoneurons. *Journal of Neurophysiology, 28*(3), 560–580. https://doi.org/10.1152/jn.1965.28.3.560

ISBN
978-9942-595-19-5

Herring, S. A., Kibler, W. B., Putukian, M., Boyajian-O'Neill, L., Chang, C. J., Franks, R. R., Hutchinson, M., Indelicato, P. A., O'Connor, F. G., Powell, A., Roach, R., Safran, M., & Sutton, K. (2024). Initial assessment and management of select musculoskeletal injuries: A team physician consensus statement. *Current Sports Medicine Reports, 23*(3), 86–104. https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000001151

Hewett, T. E., Ford, K. R., & Myer, G. D. (2006). Anterior cruciate ligament injuries in female athletes: Part 2, a meta-analysis of neuromuscular interventions aimed at injury prevention. *The American Journal of Sports Medicine, 34*(3), 490–498. https://doi.org/10.1177/0363546505282619

Hill, A. V. (1938). The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 126*(843), 136–195. https://doi.org/10.1098/rspb.1938.0050

Hislop, H. J., Avers, D., & Brown, M. (2014). *Daniels and Worthingham's Muscle Testing: Techniques of Manual Examination and Performance Testing* (9th ed.). Elsevier.

Hislop, H. J., Avers, D., & Brown, M. (2022). *Daniels and Worthingham's Muscle Testing* (10th ed.). Elsevier.

Hodges, P. W., & Richardson, C. A. (1997). Contraction of the abdominal muscles associated with movement of the lower limb. *Physical Therapy, 77*(2), 132–142.

Hopkins, W. G. (2000). Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Medicine, 30*(1), 1–15. https://doi.org/10.2165/00007256-200030010-00001

Horak, F. B. (2006). Postural orientation and equilibrium: What do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age and Ageing, 35*(Suppl. 2), ii7–ii11. https://doi.org/10.1093/ageing/afl077

Huxley, A. F. (1957). Muscle structure and theories of contraction. *Progress in Biophysics and Biophysical Chemistry, 7*, 255–318.

Huxley, H. E., & Hanson, J. (1954). Changes in the cross-striations of muscle during contraction and stretch and their structural interpretation. *Nature, 173*(4412), 973–976. https://doi.org/10.1038/173973a0

Janda, V. (1983). *Muscle Function Testing*. Butterworths.

Jaric, S. (2002). Muscle strength testing: Use of normalization for body size. *Sports Medicine, 32*(10), 615–631.

Kandel, E. R., Koester, J. D., Mack, S. H., & Siegelbaum, S. A. (2021). *Principles of Neural Science* (6th ed.). McGraw-Hill.

Kannus, P. (1994). Isokinetic evaluation of muscular performance: Implications for muscle testing and rehabilitation. *International Journal of Sports Medicine, 15*(Suppl. 1), S11–S18.

Kapandji, I. A. (2019). *Fisiología articular. Tomo 3: Tronco y columna vertebral* (7.ª ed.). Médica Panamericana.

Karagianni, E., Antoniou, V., Dimitriadis, Z., Panagiotakos, D., Cordovil, R., & Pepera, G. (2025). Assessment of overall muscle strength in children and adolescents using handheld dynamometry: A systematic review of reference values and quality of data. *Journal of Clinical Medicine, 14*(23), 8454. https://doi.org/10.3390/jcm14238454

Kendall, F. P., McCreary, E. K., Provance, P. G., Rodgers, M. M., & Romani, W. A. (2005). *Muscles: Testing and Function with Posture and Pain* (5th ed.). Lippincott Williams & Wilkins.

Kenney, W. L., Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2021). *Physiology of Sport and Exercise* (7th ed.). Human Kinetics.

Kenney, W. L., Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2022). *Fisiología del deporte y del ejercicio* (7.ª ed.). Editorial Médica Panamericana.

Kibler, W. B., Press, J., & Sciascia, A. (2006). The role of core stability in athletic function. *Sports Medicine, 36*(3), 189–198.

ISBN
978-9942-595-19-5

Kilmer, D. D., McCrory, M. A., Wright, N. C., Aitkens, S. G., & Slade, J. M. (1997). Hand-held dynamometry for muscle strength measurement in children with cerebral palsy. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*.

Kisner, C., Colby, L. A., & Borstad, J. (2018). *Therapeutic Exercise: Foundations and Techniques* (7th ed.). F. A. Davis.

Kisner, C., Colby, L. A., & Borstad, J. (2022). *Therapeutic Exercise: Foundations and Techniques* (8th ed.). F. A. Davis.

Kleim, J. A., & Jones, T. A. (2008). Principles of experience-dependent neural plasticity: Implications for rehabilitation after brain damage. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 51*(1), S225–S239. https://doi.org/10.1044/1092-4388(2008/018)

Kolber, M. J., & Hanney, W. J. (2012). The reliability and concurrent validity of shoulder mobility measurements using a digital inclinometer and goniometer: A technical report. *International Journal of Sports Physical Therapy, 7*(3), 306–313.

Komi, P. V. (2003). Stretch-shortening cycle. En P. V. Komi (Ed.), *Strength and power in sport* (2nd ed.). Blackwell Science.

Latash, M. L. (2020). *Fundamentals of motor control*. Academic Press.

Lederman, E. (2011). The fall of the postural–structural–biomechanical model in manual and physical therapies: Exemplified by lower back pain. *Journal of Bodywork and Movement Therapies, 15*(2), 131–138.

Lieber, R. L. (2010). *Skeletal muscle structure, function, and plasticity: The physiological basis of rehabilitation* (3rd ed.). Lippincott Williams & Wilkins.

Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Faigenbaum, A. D., Howard, R., De Ste Croix, M. B. A., Williams, C. A., Best, T. M., Alvar, B. A., Micheli, L. J., Thomas, D. P., Hatfield, D. L., Cronin, J. B., & Myer, G. D. (2014). Long-term athletic development—Part 1: A pathway for all youth. *Journal of Strength and Conditioning Research, 28*(5), 1439–1450.

Maffiuletti, N. A., Aagaard, P., Blazevich, A. J., Folland, J., Tillin, N., & Duchateau, J. (2016). Rate of force development: Physiological and methodological considerations. *European Journal of Applied Physiology, 116*, 1091–1116.

Magee, D. J. (2021). *Orthopedic Physical Assessment* (7th ed.). Elsevier.

Mancini, M., & Horak, F. B. (2010). The relevance of clinical balance assessment tools to differentiate balance deficits. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine, 46*(2), 239–248.

Markovic, G., & Mikulic, P. (2010). Neuro-musculoskeletal and performance adaptations to lower-extremity plyometric training. *Sports Medicine, 40*(10), 859–895.

Matos, C. A., et al. (2020). Test-retest reliability of handgrip strength measurement in children and preadolescents. *Journal of Hand Therapy*.

McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2022). *Exercise Physiology: Nutrition, Energy, and Human Performance* (10th ed.). Wolters Kluwer.

McGill, S. M. (2016). *Low Back Disorders: Evidence-Based Prevention and Rehabilitation* (3rd ed.). Human Kinetics.

McGill, S. M., Childs, A., & Liebenson, C. (1999). Endurance times for low back stabilization exercises: Clinical targets for testing and training from a normal database. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 80*(8), 941–944.

McGinnis, P. M. (2020). *Biomechanics of sport and exercise* (4th ed.). Human Kinetics.

McGuigan, M. (2017). *Developing maximal strength*. Human Kinetics.

McMahon, J. J., Suchomel, T. J., Lake, J. P., & Comfort, P. (2018). Understanding the key phases of the countermovement jump force-time curve. *Strength and Conditioning Journal, 40*(4), 96–106.

ISBN
978-9942-595-19-5

Mendonça, L. D. M., et al. (2022). Sports injury prevention programmes from the sports physical therapist's perspective: An international expert Delphi approach. *Physical Therapy in Sport*.

Merletti, R., & Parker, P. A. (2004). *Electromyography: Physiology, Engineering, and Non-Invasive Applications*. Wiley-IEEE Press.

Moore, K. L., Dalley, A. F., & Agur, A. M. R. (2023). *Anatomía con orientación clínica* (9.ª ed.). Wolters Kluwer.

Mountjoy, M., Ackerman, K. E., Bailey, D. M., Burke, L. M., Constantini, N., Hackney, A. C., Heikura, I. A., Melin, A., Pensgaard, A. M., Stellingwerff, T., Sundgot-Borgen, J., Torstveit, M. K., & Budgett, R. (2023). 2023 International Olympic Committee's consensus statement on Relative Energy Deficiency in Sport (REDs). *British Journal of Sports Medicine, 57*(17), 1073–1098. https://doi.org/10.1136/bjsports-2023-106994

Muñoz-Bermejo, L., Pérez-Gómez, J., Manzano, F., Collado-Mateo, D., Villafaina, S., & Adsuar, J. C. (2019). Reliability of isokinetic knee strength measurements in children: A systematic review and meta-analysis. *PLOS ONE, 14*(12), e0226274. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0226274

Myer, G. D., Faigenbaum, A. D., Ford, K. R., & Hewett, T. E. (2011). When to initiate integrative neuromuscular training to reduce sports-related injuries and enhance health in youth? *Current Sports Medicine Reports, 10*(3), 155–166. https://doi.org/10.1249/JSR.0b013e31821b1442

Narici, M. V., Maffulli, N., & Maganaris, C. N. (2008). Muscle and tendon adaptations to physical activity, ageing and health. *Clinical Journal of Sport Medicine, 18*(1), 9–13. https://doi.org/10.1097/JSM.0b013e31815c2f7d

Negrini, S., Donzelli, S., Aulisa, A. G., Czaprowski, D., Schreiber, S., de Mauroy, J. C., Diers, H., Grivas, T. B., Knott, P., Kotwicki, T., Maruyama, T., O'Brien, J., Price, N., Parent, E., Rigo, M., Romano, M., Stikeleather, L., Wynne, J., & Zaina, F. (2018). 2016 SOSORT guidelines: Orthopaedic and rehabilitation treatment of idiopathic scoliosis during growth. *Scoliosis and Spinal Disorders, 13*(3), 1–48.

Netter, F. H. (2023). *Atlas de anatomía humana* (8.ª ed.). Elsevier.

Neumann, D. A. (2017). *Kinesiology of the musculoskeletal system: Foundations for rehabilitation* (3rd ed.). Elsevier.

Neumann, D. A. (2021). *Kinesiología del sistema musculoesquelético: fundamentos para la rehabilitación* (4.ª ed.). Elsevier.

Norkin, C. C., & White, D. J. (2016). *Measurement of Joint Motion: A Guide to Goniometry* (5th ed.). F. A. Davis.

Organización Mundial de la Salud. (2001). *Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud (CIF)*. OMS.

Page, P., Frank, C., & Lardner, R. (2010). *Assessment and Treatment of Muscle Imbalance: The Janda Approach*. Human Kinetics.

Perry, J., & Burnfield, J. M. (2010). *Gait Analysis: Normal and Pathological Function* (2nd ed.). SLACK Incorporated.

Peterka, R. J. (2002). Sensorimotor integration in human postural control. *Journal of Neurophysiology, 88*(3), 1097–1118. https://doi.org/10.1152/jn.2002.88.3.1097

Picerno, P. (2017). 25 years of activity recognition with inertial sensors. *Gait & Posture, 54*, 143–154. https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2017.03.004

Pinheiro, L., Verhagen, E., Ocarino, J., Fagher, K., Ahmed, O. H., Dalton, K., Mann, D. L., Weiler, R., Okoth, C. A., Blauwet, C. A., Lexell, J., Derman, W., Webborn, N., Silva, A., & Resende, R. (2024). Periodic health evaluation in Para athletes: A position statement based on expert consensus. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine, 10*(4), e001946. https://doi.org/10.1136/bmjsem-2024-001946

Podsiadlo, D., & Richardson, S. (1991). The Timed "Up & Go": A test of basic functional mobility for frail elderly persons. *Journal of the American Geriatrics Society, 39*(2), 142–148.

ISBN
978-9942-595-19-5

Portney, L. G., & Watkins, M. P. (2020). *Foundations of Clinical Research: Applications to Evidence-Based Practice* (4th ed.). F. A. Davis.

Powers, C. M. (2010). The influence of abnormal hip mechanics on knee injury. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy, 40*(2), 42–51.

Prieto, T. E., Myklebust, J. B., Hoffmann, R. G., Lovett, E. G., & Myklebust, B. M. (1996). Measures of postural steadiness: Differences between healthy young and elderly adults. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 43*(9), 956–966. https://doi.org/10.1109/10.532130

Proske, U., & Gandevia, S. C. (2012). The proprioceptive senses: Their roles in signaling body shape, body position and movement, and muscle force. *Physiological Reviews, 92*(4), 1651–1697. https://doi.org/10.1152/physrev.00048.2011

Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Hall, W. C., LaMantia, A. S., Mooney, R., Platt, M. L., & White, L. E. (2018). *Neuroscience* (6th ed.). Oxford University Press.

Reese, N. B., & Bandy, W. D. (2017). *Joint Range of Motion and Muscle Length Testing* (3rd ed.). Elsevier.

Riebe, D., Ehrman, J. K., Liguori, G., & Magal, M. (Eds.). (2018). *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription* (10th ed.). Wolters Kluwer.

Rikli, R. E., & Jones, C. J. (2013). *Senior fitness test manual* (2nd ed.). Human Kinetics.

Roberts, H. C., Denison, H. J., Martin, H. J., Patel, H. P., Syddall, H., Cooper, C., & Sayer, A. A. (2011). A review of the measurement of grip strength in clinical and epidemiological studies: Towards a standardised approach. *Age and Ageing, 40*(4), 423–429. https://doi.org/10.1093/ageing/afr051

Robertson, D. G. E., Caldwell, G. E., Hamill, J., Kamen, G., & Whittlesey, S. N. (2014). *Research Methods in Biomechanics* (2nd ed.). Human Kinetics.

Rock, K., Nelson, C., Addison, O., & Marchese, V. (2021). Assessing the reliability of handheld dynamometry and ultrasonography to measure

quadriceps strength and muscle thickness in children, adolescents, and young adults. *Physical & Occupational Therapy in Pediatrics*. https://doi.org/10.1080/01942638.2021.1881200

Sackett, D. L., Rosenberg, W. M. C., Gray, J. A. M., Haynes, R. B., & Richardson, W. S. (1996). Evidence based medicine: What it is and what it isn't. *BMJ, 312*(7023), 71–72.

Schache, A. G., Dorn, T. W., Blanch, P. D., Brown, N. A. T., & Pandy, M. G. (2012). Mechanics of the human hamstring muscles during sprinting. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 44*(4), 647–658.

Schmidt, R. A., Lee, T. D., & Winstein, C. J. (2019). *Motor learning and performance: From principles to application* (6th ed.). Human Kinetics.

Shigeshima, K., Yamasaki, H., & Katayama, K. (2022). Reliability, minimal detectable change and measurement errors in knee extension muscle strength measurement using a hand-held dynamometer in young children. *Journal of Physical Therapy Science, 34*(9), 614–619. https://doi.org/10.1589/jpts.34.614

Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. H. (2017). *Motor control: Translating research into clinical practice* (5th ed.). Wolters Kluwer.

Sibley, K. M., Beauchamp, M. K., Van Ooteghem, K., Straus, S. E., & Jaglal, S. B. (2015). Using the systems framework for postural control to analyze the components of balance evaluated in standardized balance measures: A scoping review. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 96*(1), 122–132.e29. https://doi.org/10.1016/j.apmr.2014.06.021

Silverthorn, D. U. (2019). *Human Physiology: An Integrated Approach* (8th ed.). Pearson.

Stark, T., et al. (2022). Concurrent validity of lower limb muscle strength by handheld dynamometry in children 7 to 11 years old. *Journal of Sport Rehabilitation*. https://doi.org/10.1123/jsr.2021-0273

ISBN
978-9942-595-19-5

Stark, T., Walker, B., Phillips, J. K., Fejer, R., & Beck, R. (2011). Hand-held dynamometry correlation with the gold standard isokinetic dynamometry: A systematic review. *PM&R, 3*(5), 472–479. https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2010.10.025

Stodden, D. F., Nimphius, S., & Newton, R. U. (2008). Development and validation of a protocol to assess maximal power in the lower extremity. *Journal of Strength and Conditioning Research*.

Stuberg, W. A., et al. (2005). Ability of very young children to produce reliable isometric force measurements. *Pediatric Physical Therapy*. https://doi.org/10.1097/01.pep.0000186507.74151.78

Suchomel, T. J., Nimphius, S., & Stone, M. H. (2016). The importance of muscular strength in athletic performance. *Sports Medicine, 46*, 1419–1449.

Suchomel, T. J., Nimphius, S., & Stone, M. H. (2018). The importance of muscular strength in athletic performance. *Sports Medicine, 48*, 765–785.

Suchomel, T. J., Nimphius, S., Bellon, C. R., & Stone, M. H. (2018). The importance of muscular strength: Training considerations. *Sports Medicine, 48*, 765–785. https://doi.org/10.1007/s40279-018-0862-z

Tortora, G. J., & Derrickson, B. (2021). *Principios de anatomía y fisiología* (16.ª ed.). Editorial Médica Panamericana.

Valle, X., Alentorn-Geli, E., Tol, J. L., Hamilton, B., Garrett, W. E., Pruna, R., Andersen, T. E., Alomar, X., Hamilton, B., Malliaras, P., Maffulli, N., & Whiteley, R. (2017). Muscle injuries in sports: A new evidence-informed and expert consensus-based classification with clinical application. *Sports Medicine, 47*, 1241–1253. https://doi.org/10.1007/s40279-016-0647-1

Weakley, J. J. S., Mann, B., Banyard, H. G., McLaren, S. J., Scott, T., & García-Ramos, A. (2021). Velocity-based training: From theory to application. *Strength and Conditioning Journal, 43*(2), 31–49.

Weinstein, S. L., Dolan, L. A., Cheng, J. C. Y., Danielsson, A., & Morcuende, J. A. (2008). Adolescent idiopathic scoliosis. *The Lancet, 371*(9623), 1527–1537.

Widmaier, E. P., Raff, H., & Strang, K. T. (2019). *Vander's Human Physiology: The Mechanisms of Body Function* (15th ed.). McGraw-Hill Education.

Winter, D. A. (1995). Human balance and posture control during standing and walking. *Gait & Posture, 3*(4), 193–214. https://doi.org/10.1016/0966-6362(96)82849-9

Winter, D. A. (2009). *Biomechanics and motor control of human movement* (4th ed.). John Wiley & Sons.

World Health Organization. (2001). *International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF).* World Health Organization.

World Health Organization. (2020). *WHO guidelines on physical activity and sedentary behaviour*. World Health Organization.

World Health Organization. (2022). *Physical activity and sedentary behaviour: A brief to support older people*. World Health Organization.

World Health Organization. (2022). *WHO guidelines on physical activity and sedentary behaviour*. World Health Organization.

World Health Organization. (2023). *Promoting physical activity for older people: A toolkit for action*. World Health Organization.

World Medical Association. (2013). *Declaration of Helsinki: Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects*. *JAMA, 310*(20), 2191–2194.

ISBN
978-9942-595-19-5

Fabián Andrés Contreras Jáuregui



Docente de planta, Categoría Asociado. Licenciatura en Educación Física, Recreación y Deportes, Facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad del Atlántico, Colombia. Líder - miembro del grupo de Investigación en Educación Física y Ciencias Aplicadas al Deporte GREDFICAD, Fisioterapeuta Universidad Manuela Beltrán, Especialista en Entrenamiento Deportivo Universidad de Pamplona, Doctor en ciencias de la Cultura Física Universidad de Ciencias de la Cultura Física y el Deporte “Manuel Fajardo” La Habana - Cuba, demuestra una amplia experiencia en la docencia universitaria en temáticas como Morfofisiología Deportiva, Biomecánica, Kinesiología, Entrenamiento Deportivo, Técnicas de Evaluación, metodología de la investigación. Su trayectoria investigativa ha sido registrada en publicaciones nacionales e internacionales a través de artículos, libros lo que le ha permitido participar en congresos nacionales e internacionales. fabiancontreras@mail.uniatlantico.edu.co

Manuel de Jesus Cortina Nuñez



Docente Titular de la Universidad de Córdoba, Colombia. Investigador Júnior y director del Grupo de Investigación MOTRICIDAD SIGLO XXI en Categoría A. Licenciado en Educación Física, Recreación y Deportes, especialista en

Deporte, especialista en Fisiología del Entrenamiento (Universidad del Zulia, Venezuela), magister en Fisiología del Ejercicio (Universidad Pedagógica Experimental Libertador UPEL – Instituto Pedagógico de Caracas IPC, Venezuela) y Doctor en Educación Deportiva y Ciencias del Deporte (UBC, Baja California, México). Docencia en Fisiología y Bioquímica del Ejercicio, asesor pedagógico e investigación formativa en Práctica Pedagógica. Coordinador del Laboratorio de Estudios Biomédicos y exdecano de la Facultad de Educación y Ciencias Humanas de la Universidad de Córdoba. Más de 30 años de experiencia docente a nivel de pregrado y posgrado, investigador experto en las líneas de motricidad escolar, actividad física y salud y ciencias del deporte. Director de múltiples proyectos de investigación y asesor de trabajos de grado de pregrado y posgrado. Entrenador y preparador físico en deporte formativo, federado y profesional. Autor de varios libros, capítulos de libro y artículos en revistas de varios países. Conferencista en congresos internacionales de Colombia, Venezuela, Ecuador y España. Correo institucional mjcortinanunez@correo.unicordoba.edu.co