

Guía Esencial de Musculatura para Estudiantes de Fisioterapia: Anatomía, Fisiología, Biomecánica, Patologías y Abordajes Terapéuticos

1. Introducción al Sistema Muscular y su Relevancia en Fisioterapia

El sistema musculoesquelético, también conocido como sistema locomotor, es una compleja red biológica que proporciona al cuerpo humano movimiento, estabilidad, forma y soporte. Se subdivide en dos grandes componentes: el sistema muscular y el sistema esquelético. El sistema muscular abarca todos los tipos de músculos del cuerpo, con un énfasis particular en los músculos esqueléticos, que se unen a los huesos mediante tendones para generar movimiento en las articulaciones. Por su parte, el sistema esquelético, compuesto principalmente por huesos y articulaciones, forma una estructura robusta y móvil. Más allá de la locomoción, los músculos desempeñan funciones vitales como la estabilización articular, el mantenimiento de la postura y la producción de calor corporal.¹

Para los estudiantes de fisioterapia, una comprensión profunda del

sistema muscular es el pilar fundamental de su futura práctica profesional. Este conocimiento no solo permite identificar y corregir desequilibrios musculares, sino que también es indispensable para mejorar la función biomecánica y promover la curación y recuperación de los pacientes.² La funcionalidad muscular está intrínsecamente ligada a la estabilidad y la eficiencia del movimiento corporal global. Una disfunción muscular no se limita a restringir el movimiento; compromete toda la cadena cinética, afectando la estabilidad y el control postural. Por ejemplo, una debilidad en la musculatura del tronco puede generar movimientos compensatorios en las extremidades, aumentando el riesgo de lesiones en otras áreas.³ Esta perspectiva holística es crucial para un diagnóstico preciso y para la prevención a largo plazo de recurrencias en la práctica clínica.

II. Anatomía y Fisiología Muscular: Fundamentos Esenciales

Tipos de Tejido Muscular

El cuerpo humano alberga tres tipos distintivos de tejido muscular: esquelético, cardíaco y liso.¹ Cada uno posee características estructurales y funcionales únicas que determinan su papel en el

organismo.

El **músculo esquelético** es el principal responsable de los movimientos voluntarios, desde la locomoción y el mantenimiento de la postura hasta las expresiones faciales y el movimiento de la lengua y los ojos.¹ Constituye aproximadamente entre el 40% y el 50% de la masa corporal humana. Sus células, conocidas como miocitos o fibras musculares, son alargadas, multinucleadas y presentan un patrón estriado visible al microscopio.¹

El **músculo cardíaco** forma el miocardio, la capa muscular del corazón. Su contracción rítmica e involuntaria es esencial para impulsar la sangre a través del sistema circulatorio.¹ Las células cardíacas son ramificadas, con un único núcleo central y abundantes mitocondrias. Aunque es autoexcitable, su actividad es modulada por el sistema nervioso autónomo.⁴

El **músculo liso** se encuentra en las paredes de los vasos sanguíneos y de órganos huecos como el intestino, el estómago, el esófago, el útero y la vejiga. Sus contracciones son involuntarias y desempeñan funciones vitales como la digestión, la regulación del flujo sanguíneo (vasoconstricción/vasodilatación) y el parto.¹ Las células del músculo liso son fusiformes y mononucleadas, careciendo de las estriaciones observadas en los músculos esquelético y cardíaco.⁴

La distinción entre el control voluntario (músculo esquelético) y el involuntario (músculo cardíaco y liso) es fundamental para la práctica clínica. El músculo esquelético puede ser directamente influenciado mediante ejercicios y rehabilitación, mientras que los músculos involuntarios requieren enfoques indirectos, como la

modulación del sistema nervioso autónomo o el tratamiento de patologías subyacentes. La presencia de estriaciones en el músculo esquelético y cardíaco refleja una organización sarcomérica altamente estructurada, que permite contracciones potentes, rápidas y coordinadas. En contraste, la ausencia de estriaciones en el músculo liso se asocia con contracciones más sostenidas y difusas. Esta diferencia en la arquitectura y el control guía las estrategias terapéuticas, permitiendo al fisioterapeuta adaptar las intervenciones a las propiedades específicas de cada tipo de tejido muscular.

Tipo de Músculo	Control	Estriaciones	Núcleos (Cantidad, Ubicación)	Ubicación Principal	Funciones Principales
Esquelético	Voluntario	Sí	Múltiples, Periféricos	Unido a huesos (sistema esquelético)	Movimiento corporal, postura, producción de calor, expresión facial, movimiento ocular.
Cardíaco	Involuntario	Sí	Uno, Central	Paredes del corazón (miocardio)	Bombeo de sangre (contracción rítmica).
Liso	Involuntario	No	Uno, Central	Paredes de vasos	Movimiento de

				sanguíneos y órganos huecos	sustancias (digestión), regulación del diámetro de vasos, parto.
--	--	--	--	-----------------------------------	--

Tabla 1: Comparación de Tipos de Tejido Muscular

Estructura Macroscópica del Músculo Esquelético

Macroscópicamente, los músculos esqueléticos se organizan en haces de fibras musculares denominados fascículos.⁶ La disposición y las inserciones de estos fascículos en los tendones varían, lo que influye directamente en la función del músculo. Se distinguen dos grupos principales:

músculos fusiformes (o en huso) y **músculos penniformes** (o en pluma).⁶

Los músculos fusiformes, que presentan comparativamente menos fascículos que prolongan la longitud del músculo, poseen una mayor amplitud de movimiento, pero desarrollan menos potencia. Son, además, más vulnerables al estiramiento.⁶ Por otro lado, los músculos penniformes, con un elevado número de fascículos distribuidos a lo largo de sus tendones, poseen mayor potencia, pero escasa amplitud de movimiento.⁶ La comprensión de esta arquitectura muscular es un principio biomecánico fundamental que

informa directamente la evaluación y el tratamiento en fisioterapia. Al conocer si un músculo es fusiforme o penniforme, el fisioterapeuta puede predecir su función típica (por ejemplo, el cuádriceps femoral, un músculo penniforme, para una extensión potente ¹) y su susceptibilidad a ciertas lesiones. Esta información es crucial para la prescripción de ejercicios, enfocándose en la potencia o la amplitud de movimiento según el diseño inherente del músculo y los objetivos de rehabilitación del paciente.

Estructura Microscópica y Propiedades Fisiológicas

A nivel microscópico, los músculos esqueléticos están compuestos por células musculares especializadas llamadas miocitos, también conocidas como fibras musculares o miofibrillas.¹ Estas células se caracterizan por su capacidad de contraerse.¹ El citoplasma de las células musculares se denomina sarcoplasma, y su membrana celular, sarcolema.⁵ Las miofibrillas, a su vez, son haces cilíndricos de dos tipos de filamentos: filamentos gruesos de miosina y filamentos delgados de actina.⁷

La unidad funcional del músculo es el **sarcómero**, una estructura que contiene numerosos filamentos delgados (actina) y gruesos (miosina) dispuestos en paralelo y superpuestos.⁸ Las principales proteínas involucradas en la contracción son:

- **Miosina:** Filamentos gruesos, cada uno con dos cabezas globulares y una cola larga. Las cabezas de miosina poseen sitios de unión para la actina y el ATP.⁸

- **Actina:** Filamentos delgados, que forman una estructura helicoidal de doble hebra.⁷
- **Tropomiosina:** Una proteína fibrosa que se sitúa en el surco entre las hebras de actina, cubriendo los sitios de unión de la miosina en estado de relajación.⁸
- **Troponina:** Un complejo proteico que incluye la Troponina C, la cual se une al Ca^{2+} . Esta unión provoca un cambio conformacional que desplaza la tropomiosina, exponiendo los sitios de unión de la miosina en la actina.⁸

El sarcómero presenta bandas oscuras (bandas A, que contienen miosina y actina superpuesta) y bandas claras (bandas I, que contienen solo actina), con las líneas Z marcando los límites del sarcómero y anclando los filamentos de actina.⁷

El tejido muscular esquelético posee cuatro propiedades fisiológicas fundamentales ¹:

- **Excitabilidad:** La capacidad de detectar un estímulo neuronal (potencial de acción) y responder a él.¹
- **Contractilidad:** La habilidad de contraerse (acortarse) en respuesta a un estímulo neuronal.¹
- **Extensibilidad:** La capacidad de un músculo para ser estirado sin romperse.¹
- **Elasticidad:** La habilidad de regresar a su forma normal después de ser extendido.¹

El equilibrio y la interacción de estas propiedades son cruciales para la salud muscular y la rehabilitación. La pérdida de extensibilidad (por ejemplo, debido a la inmovilización prolongada) puede reducir la amplitud de movimiento y aumentar el riesgo de lesiones. Por el

contrario, una extensibilidad excesiva sin una contractilidad adecuada puede llevar a la inestabilidad. La elasticidad es vital para disipar fuerzas y prevenir daños. Por lo tanto, los programas de rehabilitación a menudo se dirigen a mejorar la excitabilidad mediante la reeducación neuromuscular, potenciar la contractilidad a través del fortalecimiento, restaurar la extensibilidad mediante estiramientos y promover la elasticidad a través de cargas controladas. Este enfoque integral asegura una recuperación funcional y una mayor resiliencia del tejido.

Propiedad	Definición
Excitabilidad	Capacidad de detectar y responder a un estímulo neuronal (potencial de acción).
Contractilidad	Capacidad de contraerse (acortarse) en respuesta a un estímulo neuronal.
Extensibilidad	Capacidad de un músculo de ser estirado sin romperse.
Elasticidad	Capacidad de regresar a su forma normal después de ser extendido.

Tabla 2: Propiedades Fisiológicas del Músculo Esquelético

Mecanismo de la Contracción Muscular

La contracción muscular es un proceso intrincado que se inicia por señales provenientes del sistema nervioso.¹⁰ La base de este

mecanismo es la

Teoría del Deslizamiento de Filamentos, propuesta por Huxley y Hanson, que postula que la contracción ocurre cuando los filamentos de actina y miosina se deslizan uno sobre otro, acortando el sarcómero sin que la longitud de los filamentos cambie.⁷ Este deslizamiento es impulsado por ciclos repetidos de interacción entre las cabezas de miosina y los filamentos de actina, conocidos como ciclos de puentes cruzados.⁷

El proceso de contracción muscular se puede resumir en los siguientes pasos ⁸:

1. **Impulso Nervioso:** Una contracción muscular se desencadena cuando un potencial de acción viaja desde una neurona motora hasta la fibra muscular en la unión neuromuscular.⁸
2. **Liberación de Neurotransmisores:** En la unión neuromuscular, la neurona motora libera un mensaje químico, el neurotransmisor **acetilcolina (ACh)**, que se une a receptores en la membrana de la fibra muscular.⁸
3. **Despolarización y Liberación de Calcio:** La unión de la acetilcolina inicia una reacción química que abre canales en la membrana, permitiendo la entrada de iones de sodio al citoplasma de la fibra muscular. Este influjo de sodio, a su vez, desencadena la liberación de iones de calcio (Ca^{2+}) almacenados en el retículo sarcoplásmico.⁸
4. **Formación de Puentes Cruzados:** Los iones de calcio se difunden hacia el interior de la fibra muscular y se unen a la troponina C. Esta unión provoca que la tropomiosina se desplace, exponiendo los sitios de unión de la miosina en los filamentos de actina. Las

cabezas de miosina se unen entonces a la actina, formando puentes cruzados.⁸

5. **Golpe de Potencia y Papel del ATP:** La unión de ATP a la cabeza de miosina rompe el puente cruzado. La hidrólisis del ATP (a ADP y Pi) provoca que la cabeza de miosina cambie de posición y pivotee (posición "amartillada"). La cabeza de miosina se une a un nuevo sitio en el filamento de actina y, al liberar el ADP y Pi, regresa a su conformación original, arrastrando el filamento de actina hacia la línea M del sarcómero (golpe de potencia).¹ Este ciclo se repite mientras la señal nerviosa y el ATP estén presentes.

La relajación muscular ocurre cuando la señal del sistema nervioso cesa. El proceso químico se revierte, los iones de calcio son recapturados por el retículo sarcoplásmico, la tropomiosina vuelve a cubrir los sitios de unión de la miosina en la actina, y los filamentos musculares se reordenan, permitiendo que el músculo se relaje.¹

Este intrincado mecanismo molecular explica por qué los músculos son susceptibles a diversas patologías. Cualquier interrupción en esta cadena de eventos, como una señal nerviosa deficiente, un desequilibrio de iones o una producción insuficiente de ATP, afectará directamente la contracción. Por ejemplo, los desequilibrios electrolíticos (como niveles bajos de potasio o calcio) pueden causar calambres musculares¹³ al alterar el flujo de iones crítico para el acoplamiento excitación-contracción. Las condiciones neurológicas que afectan las motoneuronas¹⁴ pueden impedir la liberación de acetilcolina, lo que lleva a debilidad o parálisis.¹⁵ Los trastornos

metabólicos que afectan la producción de ATP (como los trastornos mitocondriales ¹⁵) pueden causar intolerancia al ejercicio y debilidad muscular. Un fisioterapeuta debe comprender estos fundamentos moleculares para diferenciar entre una lesión mecánica y problemas sistémicos, lo que permite derivar adecuadamente al paciente y aplicar intervenciones específicas.

Tipos de Contracción Muscular

Las contracciones musculares se clasifican principalmente según si la longitud del músculo cambia o no durante la generación de fuerza.¹

- **Contracción Isotónica:** La longitud del músculo cambia mientras genera fuerza.
 - **Concéntrica:** El músculo se acorta porque genera suficiente fuerza para superar la resistencia impuesta. Este tipo de contracción facilita cualquier movimiento perceptible, como levantar una barra o caminar en una pendiente.¹
 - **Excéntrica:** El músculo se alarga mientras mantiene una tensión alta, porque la resistencia es mayor que la fuerza que el músculo genera. Este tipo de contracción sirve normalmente para lentificar un movimiento, como bajar una barra o caminar cuesta abajo.¹ Las contracciones excéntricas, sin embargo, imponen fuerzas más altas sobre las fibras musculares y son más propensas a causar lesiones en comparación con las contracciones concéntricas o isométricas.¹⁶

- **Contracción Isométrica:** El músculo genera fuerza, pero su longitud no cambia. Este tipo de contracción es fundamental para la estabilización de las articulaciones y el mantenimiento de la postura.³

La relevancia clínica de las contracciones excéntricas es notable, tanto en los mecanismos de lesión como en la rehabilitación. El hecho de que las contracciones excéntricas sean un mecanismo común de las distensiones musculares ¹⁶ pero, al mismo tiempo, una herramienta potente en la rehabilitación para construir fuerza y mejorar la resiliencia muscular, destaca una paradoja terapéutica. El fisioterapeuta a menudo incorpora ejercicios excéntricos controlados en las fases avanzadas de la rehabilitación para fortalecer los músculos y prevenir nuevas lesiones, a pesar del riesgo inherente si no se progresa adecuadamente.

Tipo de Contracción	Definición	Ejemplo Práctico	Función/Rol Principal
Isotónica Concéntrica	El músculo se acorta al generar fuerza que supera la resistencia.	Levantar una mancuerna durante un curl de bíceps.	Producción de movimiento y aceleración.
Isotónica Excéntrica	El músculo se alarga mientras genera fuerza, cediendo a una resistencia mayor.	Bajar una mancuerna lentamente durante un curl de bíceps.	Control y desaceleración del movimiento, absorción de impacto.
Isométrica	El músculo genera	Mantener una	Estabilización

	fuerza sin cambiar su longitud.	postura de plancha o sostener un objeto inmóvil.	articular y mantenimiento de la postura.
--	---------------------------------	--	--

Tabla 3: Tipos de Contracción Muscular

Inervación Muscular

La contracción muscular es un evento que depende directamente de las señales del sistema nervioso.¹⁰ La unidad funcional básica de este control neuromuscular es la

unidad motora, que se define como una única neurona motora y todas las fibras musculares esqueléticas que inerva.¹⁴ Las neuronas motoras son neuronas eferentes que transmiten señales desde el sistema nervioso central a los músculos, integrando todas las órdenes motoras para la contracción.¹⁴

Existen diferentes tipos de motoneuronas somáticas ¹⁴:

- **Motoneuronas alfa (α):** Son neuronas grandes y multipolares que inervan las fibras musculares extrafusales (aquellas responsables de la contracción muscular y la generación de fuerza). Son esenciales para la contracción voluntaria del músculo esquelético y el mantenimiento del tono muscular.¹⁴ Algunas inervan fibras de contracción rápida y fatigables (Tipo 2b) y otras de contracción rápida pero resistentes a la fatiga (Tipo 2a).¹⁸
- **Motoneuronas gamma (γ):** Son neuronas más pequeñas y

multipolares que inervan las fibras musculares intrafusales, localizadas dentro de los husos neuromusculares. Regulan la sensibilidad de estos husos, que detectan cambios en la longitud muscular y contribuyen al tono muscular.¹⁴

- **Motoneuronas beta (β):** Menos abundantes y menos caracterizadas, inervan tanto fibras musculares intrafusales como extrafusales.¹⁴

La cantidad de fuerza que un músculo puede desarrollar está directamente relacionada con el número de unidades motoras que son reclutadas en respuesta a su activación.¹⁸ La comprensión detallada de la inervación y el reclutamiento de unidades motoras es de suma importancia para los fisioterapeutas, especialmente en la rehabilitación neurológica. En pacientes con debilidad, el problema no siempre reside en el músculo en sí, sino en la capacidad del sistema nervioso para activar eficazmente estas unidades motoras, como ocurre en casos de accidente cerebrovascular o lesión de la médula espinal.¹⁹ Por ello, técnicas de rehabilitación como la reeducación neuromuscular²¹ o la estimulación eléctrica funcional¹⁹ buscan reentrenar el sistema nervioso para mejorar el reclutamiento de unidades motoras, la coordinación y la restauración de patrones de movimiento funcionales. Esto subraya por qué la electromiografía (EMG) es una herramienta diagnóstica valiosa, ya que evalúa la actividad eléctrica de las unidades motoras.²⁴

Relaciones Fuerza-Longitud y Fuerza-Velocidad

La fuerza que un músculo puede generar está intrínsecamente ligada a su longitud y a la velocidad de su acortamiento.²⁶ Estas relaciones son conceptos fundamentales en biomecánica y medicina deportiva.²⁷

La **relación fuerza-longitud** indica que los músculos producen la mayor fuerza cuando se encuentran en su longitud de reposo ideal, donde la superposición de los filamentos de actina y miosina es óptima (aproximadamente entre el 80% y el 120% de la longitud del sarcómero). Si el músculo se acorta excesivamente (hipercontraído) o se estira demasiado (superposición insuficiente), su capacidad para generar fuerza disminuye.²⁶

La **relación fuerza-velocidad** describe una correlación inversamente proporcional entre la fuerza y la velocidad.²⁷ A medida que la fuerza aplicada aumenta, la velocidad de la acción tiende a disminuir, y viceversa.²⁷

- La fuerza máxima se alcanza a velocidades bajas, como al levantar cargas muy pesadas lentamente.²⁷
- La velocidad máxima se logra con niveles de fuerza menores, como en un sprint.²⁷
- La potencia máxima (fuerza multiplicada por velocidad) se genera aproximadamente a un tercio de la velocidad máxima de acortamiento.²⁶

La ecuación de Hill es un modelo matemático que describe esta relación entre la tensión muscular, la velocidad de contracción y la tensión isométrica máxima.²⁷

La aplicación práctica de estas relaciones es crucial para optimizar

el entrenamiento, prevenir lesiones y guiar la rehabilitación. Si un músculo trabaja habitualmente en una posición acortada o excesivamente estirada, su capacidad para generar fuerza se ve comprometida ²⁷, lo que puede predisponer a lesiones. Por lo tanto, los estiramientos buscan restaurar la longitud óptima del músculo ²⁸, y los ejercicios de fortalecimiento se diseñan para cargar el músculo en longitudes y velocidades que promuevan la adaptación y mejoren la potencia funcional.²⁹ Por ejemplo, saber que la potencia máxima se genera a un tercio de la velocidad máxima permite diseñar ejercicios pliométricos que optimicen la producción de potencia en atletas. Esta comprensión científica permite programas de rehabilitación y mejora del rendimiento altamente individualizados y efectivos.³⁰