

Movimiento y fuerza muscular: de la contracción a los suplementos deportivos

Autor: Isabel Gigli — [¿Cómo citar este artículo?](#)

¿De qué se trata este artículo?

El tejido muscular transforma la energía química en mecánica. Según su estructura y función, se clasifica en tres tipos: liso, cardíaco y estriado.

El primero forma parte de la estructura de los vasos sanguíneos y rodea muchos órganos huecos tales como el estómago y los intestinos; el cardíaco, como su nombre lo describe, es el músculo que forma el corazón; el tercero - del cual haremos referencia en este artículo - es el tejido que permite el movimiento voluntario y la generación de fuerza.

El entrenamiento deportivo modifica la estructura muscular y una correcta nutrición aporta los macronutrientes necesarios para su buen funcionamiento.

En los últimos años, se ha producido un aumento en la comercialización de productos nutricionales para deportistas, con la creencia o con la esperanza, de que promuevan un aumento del tamaño y fuerza muscular.

Para discutir el efecto que estos suplementos puedan producir, es necesario primero comprender los mecanismos musculares implicados en el ejercicio, y la acción fisiológica de los compuestos bioquímicos que se comercializan como suplementos deportivos.

El objetivo final de este artículo es abrir la discusión sobre los efectos de los suplementos en la salud y el rendimiento deportivo.

Teoría del filamento deslizante

Las investigaciones científicas realizadas entre los años '40 y fines de los años '60, resultaron fundamentales para comprender que el movimiento y la fuerza muscular resultan de la interacción de proteínas.

El conocimiento de la mecánica de la contracción se conoce como la teoría del filamento deslizante y se basa en dos conclusiones importantes:

1. La contracción es el resultado de la interacción entre las proteínas actina y miosina con una molécula de ATP.
2. Esta interacción lleva al acortamiento de las fibras musculares por el deslizamiento de la actina sobre la miosina sin cambiar ninguna de estas proteínas su longitud.

Esta teoría surge a partir de los estudios realizados sobre la estructura del músculo estriado publicados en la revista Nature en el año 1954, por dos grupos independientes y en forma simultánea. Pero lo que es más llamativo es que ambos grupos de trabajo estaban encabezados por Huxley dos científicos que sin ser parientes compartían el mismo apellido y el interés por

comprender el funcionamiento del tejido muscular.

Uno se llamaba Andrew Huxley y el otro Hugh Huxley y ambos contribuyeron sustancialmente al conocimiento de la estructura muscular. Para el primero, Andrew, el reconocimiento de la comunidad científica fue más efusivo pues en el año 1968 recibió el premio Nobel por sus aportes al conocimiento del tejido muscular.

Los dos científicos describieron el entrelazamiento de las fibras que componen los músculos. Es importante recalcar que sus estudios fueron realizados con anterioridad a la microscopía electrónica.

Antes de los grandes desarrollos tecnológicos que hoy son habituales en los laboratorios de investigación, éstos científicos fueron capaces de comprender cómo se producía la contracción muscular.

Estas primeras investigaciones fueron la base del modelo propuesto finalmente por Andrew Huxley que explica los mecanismos de la contracción muscular.

El desarrollo de las técnicas moleculares ha permitido importantes avances en las ciencias biológicas en los últimos 20 años, pero resulta siempre interesante recordar cómo fueron los trabajos que dieron las bases fundacionales para comprender los mecanismos fisiológicos.

Sarcómero: unidad funcional del músculo estriado

El sarcómero es la mínima unidad que permite la contracción muscular. Está formado por varias proteínas: actina, miosina, troponina y tropomiosina. Estas dos últimas son más pequeñas y forman un complejo que rodea a la actina. Si se observa un corte de músculo estriado bajo un microscopio óptico, se verán bandas oscuras y claras.

Donde se solapan las proteínas actina y miosina reciben el nombre de bandas oscuras; donde se ven individualmente, se llaman bandas claras. Esta distribución de las bandas oscuras y claras no es al azar, sino que están ordenadas para poder cumplir con la función de contracción y relajación.

Para simplificar, imaginemos que entrelazáramos nuestras manos entre sí: los dedos de una de las manos actuarían de miosina y la de la otra de actina. Al entrelazarlos, las palmas se encontrarían más cerca una de la otra.

Lo mismo ocurre en la contracción muscular: los sarcómeros se encuentran más cerca uno de otros cuando la actina se desplaza sobre la miosina.

Este deslizamiento es la respuesta de una señal del sistema nervioso central que se transmite a través de la médula espinal y llega a la placa neuromuscular (la unión entre el sistema nervioso y las fibras musculares), desde ahí deben ocurrir los siguientes pasos:

1. El impulso nervioso al llegar a la fibra muscular determina un potencial de acción[1] en la membrana de la célula muscular. Esta descarga se propaga por las fibras (a partir de una estructura llamada Túbulos T) y produce la liberación de iones de Ca^{++} de las organelas que lo almacenan (retículo sarcoplásmico).
2. El Ca^{++} se une a una proteína que se llama troponina que interactúa con la tropomiosina. Esta interacción produce que los sitios de unión entre la actina y miosina queden

expuestos, y cómo resultado se produce el desplazamiento de los filamentos de actina sobre los de miosina acortando el sarcómero.

3. Para que ocurra la relajación, el Ca^{++} debe ser bombeado con gasto de energía a las organelas que lo almacenan.

La relajación muscular requiere de energía debido a que la bomba de Ca^{++} -encargada de transportar este ión nuevamente a su lugar de almacenamiento- necesita de ATP (la enzima que pone en funcionamiento la bomba de Ca^{++} recibe la denominación de ATPasa).

Esto explica el rigor mortis, la rigidez que se observa en cadáveres, el Ca^{++} no puede volver a los retículos sarcoplásmicos porque por un lado no se produce más ATP y por otro las membranas se tornan permeables liberando el Ca^{++} almacenado. Todo el Ca^{++} pasa a estar disponible para el deslizamiento de la miosina sobre la actina y como no hay energía para bombearlo nuevamente dentro de las organelas, todas las fibras musculares quedan en permanente contracción.

¿Cómo obtiene energía el músculo a partir de los alimentos?

Los músculos cuentan con una reserva de ATP que solamente alcanza para los primeros segundos de ejercicio. Para volver a conseguir moléculas de ATP necesarios para los ciclos de contracción y relajación, el tejido muscular cuenta con distintas fuentes de energía. Cual o cuales utilice dependerá del tipo y duración del ejercicio que se esté realizando.

En ejercicios de levantamiento de pesas, donde se realiza un gran esfuerzo en pocos segundos, la energía para la obtención de ATP proviene de la creatinafosfato, que logra cubrir los requerimientos energéticos.

En ejercicios que duren más de unos minutos, el organismo requiere de la combustión de distintos componentes químicos para reponer las moléculas de ATP.

Los músculos cuentan con tres formas de obtención de energía: primero utiliza glucosa, un hidrato de carbono fácilmente degradable, que se almacena en hígado y en los músculos en forma de glucógeno.

Dependiendo del tipo de ejercicio realizado, el camino posible para degradar la glucosa es diverso: si el ejercicio es de larga duración, como puede ser el ciclismo o carreras de distancia larga en atletismo o natación, el organismo podrá utilizar un metabolismo aeróbico.

En cambio, si el ejercicio es de corta duración como una carrera sprint, la degradación de la glucosa será en condiciones anaeróbicas (sin la utilización de oxígenos), es menos eficiente pero más rápido.

Una vez que el organismo utiliza toda la reserva disponible de glucosa, continua con la utilización de la reserva de lípidos (grasa corporal). La oxidación de las grasas ocurre dentro de las mitocondrias de las células musculares. Los ácidos grasos de cadena larga logran llegar al interior de esta organela utilizando un transportador, la acil-carnitina.

Este compuesto se forma a partir de la carnitina, un aminoácido no esencial formado a su vez por lisina y metionina. Una vez dentro de la mitocondria los ácidos grasos son oxidados y a partir de esta transformación se libera energía que se utiliza para los ciclos de contracción y relajación muscular.

Queda una última fuente de energía por mencionar: las proteínas. El catabolismo proteico no es beneficioso para la salud y el organismo lo utiliza como fuente energética cuando ya no tiene alternativas como puede ser al final de una maratón.

Veremos más adelante como el conocimiento de las distintas vías metabólicas nos permitirá discernir la conveniencia o no del uso de los suplementos deportivos.

Respuesta muscular al entrenamiento de fuerza

El entrenamiento induce cambios adaptativos en distintos órganos y sistemas. Específicamente en el tejido muscular, el ejercicio repetido produce modificaciones en los capilares sanguíneos para lograr un mayor aporte de oxígeno y nutrientes a las fibras musculares.

También induce un aumento de la cantidad de mitocondrias (organelas responsables de la respiración celular y oxidación lipídica) dentro de las células. Pero el cambio más evidente es el aumento de las masas musculares. No en vano se esfuerzan tanto los fisicoculturistas.

El entrenamiento de fuerza hace desarrollar los músculos estriado a través de dos mecanismos distintos. Uno de ellos es la hipertrofia: se produce el aumento de la masa muscular por el aumento individual de las fibras.

El otro mecanismo es la hiperplasia. En animales como ratas y caballos (por mencionar solamente algunos trabajos) se comprobó que el aumento muscular se produce principalmente por un aumento en el número de células musculares.

A través de técnicas inmuno-histoquímicas, se observó que las células satelitales localizadas en la periferia de las fibras musculares, se diferencian y dividen dando lugar a nuevas células musculares.

En el ser humano es controvertida la participación que la hiperplasia tendría en el aumento de la masa muscular, y se cree que la hipertrofia es el mecanismo predominante en el aumento de tamaño de los músculos en fisicoculturistas.

¿La testoterona aumenta la fuerza muscular?

Investigaciones realizadas en niños pre púberes describen que la fuerza muscular no es estadísticamente distinta entre niñas y niños. Sin embargo, con los cambios producidos en la pubertad a partir del desarrollo del eje hipotálamo-hipofisario-gonadal, las diferencias de fuerza y resistencia muscular se tornan significativa. Los varones empiezan a tener más fuerza muscular que las mujeres.

Cabe aclarar que no hay hormonas masculinas y femeninas, como una vez se consideró. La diferencia radica en la concentración de cada una de ellas en cada sexo: en las mujeres predominan los estrógenos y progesterona; en los hombres la testosterona.

¿A qué se debe la diferencia de fuerza y resistencia entre los sexos? La respuesta es la concentración de testoterona que se encuentra en cada sexo. Esta hormona anabólica, estimula la síntesis de componentes químicos.

Su acción en el músculo es producir un aumento de la masa muscular por hiperplasia e hipertrofia mediante el incremento de la síntesis de proteínas.

Es importante recalcar que el uso de testosterona exógena (no producido por el organismo) es considerado doping y trae aparejado una serie de problemas médicos graves. Entre ellos, alteraciones cardiovasculares, disturbios a nivel hepático, problemas reproductivos y cambios de comportamiento.

La testosterona exógena produce un mecanismo de regulación negativa a nivel del hipotálamo, disminuyendo la síntesis y secreción del factor de liberación de gonadotrofinas.

Al disminuir este factor, se produce una merma en la producción endógena de dos hormonas, la LH y la FSH, las cuales son necesarias para que los testículos produzcan testosterona.

Cuanto más testosterona exógena se usa menos se produce en el propio organismo. La supresión de la testosterona endógena produce problemas de fertilidad por una disminución del tamaño testicular y disminución de la producción de espermatozoides.

La testosterona está incluida en la lista de sustancias prohibidas por la agencia internacional antidoping (World Anti-Doping Agency-WADA) desde el año 1976. Su control se dificulta porque es una hormona que se produce normalmente en el organismo. Por eso se utiliza para su detección como doping la relación de testosterona/epitestosterona en orina. En individuos sanos, la relación de estas dos hormonas es 1:4.

Se ha publicado en repetidas ocasiones y diferentes países -tanto en artículos científicos como prensa en general- el hallazgo de suplementos deportivos de venta libre “contaminados” con testosterona u algún otro tipo de anabólico.

Como ejemplo, vale recordar el caso del tenista Guillermo Coria que dio positivo un control por ingerir un suplemento permitido pero que estaba contaminado con trazas de testosterona.

Esto debe ser una alarma para deportistas sobre todo infantiles y sus entrenadores, que sin buscar consumir sustancias que aumenten el rendimiento deportivo en forma fraudulenta, estén eligiendo suplementos que contienen químicos peligrosos comprometiendo su salud y con la posibilidad de dar positivo en las pruebas antidoping, afectando su carrera deportiva.

Suplementos deportivos

Se venden como Quemadores de grasa, Generador de músculo o Ganadores de peso. En los últimos años han aparecido negocios especializados en la venta de suplementos deportivos. En general la publicidad se concentra en fisiculturismo o deportes donde se requiere el desarrollo de grandes masas musculares.

Los deportistas no tienen requerimientos especiales de nutrientes, pero debido al gran gasto de energía que hacen en su entrenamiento, a veces necesitan más cantidad de hidratos de carbono de los que pueden ingerir. Consumir proteínas en exceso

Algunos de los productos más promovidos son los suplementos de carnitina, amilopectina y los grandes frascos que contienen suero de leche deshidratado, que por algún motivo de marketing se promueven con su nombre en inglés “why proteins”. Pero ¿qué son los suplementos deportivos?.

Carnitina

La carnitina cobró fama entre los deportistas cuando se comenzó a comercializar como

suplemento nutritivo prometiendo reducir las grasas y ayudando a obtener más energía a la hora del ejercicio físico.

Debido a esta función metabólica se comenzó a comercializar como “quemador de grasas”.

Recordemos, como vimos anteriormente, que la carnitina cumple un rol fundamental en el transporte de los ácidos grasos hacia el interior de la mitocondria que es donde se produce la oxidación de los mismos.

Lo cierto es que no hay trabajos científicos que demuestren que un aumento en su ingesta se correlaciona con un incremento de la oxidación de grasas a nivel mitocondrial.

Tres asociaciones médicas vinculadas con la nutrición deportiva de USA y Canadá (American Dietetic Association, Dietitians of Canada, and American College of Sports Medicine) han clasificado a la carnitina como un producto que si bien no produce daño tampoco produce el efecto publicitado.

En conclusión, consumir suplementos de carnitina no hace mal pero tampoco ayuda a aumentar sus niveles dentro de la célula muscular que es donde produce el efecto fisiológico.

Otro aspecto a destacar es que este aminoácido se sintetiza en el hígado y riñón; solamente ante situaciones de desnutrición severa o patologías puntuales se podría esperar una deficiencia que ocasione una disminución de su concentración a nivel celular.

Amilopectina en polvo

Para contar con una fuente de glucosa es necesaria la ingesta de hidratos de carbono. Estos se encuentran en vegetales, en mayor medida en cereales, tubérculos (como la papa) y legumbres. Los hidratos de carbono están formados químicamente por cadenas ramificadas de átomos de carbono e hidrógenos. Cuanto más ramificados sean, mayor será su digestibilidad debido a que habrá más sitios de unión para las enzimas digestivas.

Entre los hidratos de carbono ramificados, el almidón es el más importante y dentro de éste la amilopectina. Cuanto más amilopectina contenga un alimento, más rápido se digerirá y más inmediato será su aporte de energía.

No todos los almidones tienen la misma proporción de amilopectina. Así el arroz aporta un 83 % de amilopectina, la papa 76% y el trigo en cambio 70%.

Para conocer la velocidad de digestión entre alimentos que aportan hidratos de carbono, los nutricionistas han confeccionado una tabla donde comparan la digestión de distintos alimentos con la glucosa.

Alimentos que se digieren más rápido que la glucosa tienen un índice glucémico (IG) más alto que alimentos que se digieren en forma más lenta.

Como toda variable biológica, el IG está estimada en una población de referencia y nos indica el valor aproximado de un alimento. Existen variaciones entre los alimentos (por ejemplo no todos los granos de trigo se comportan igual) y también hay diferencias entre personas (no todos digerimos a la misma velocidad).

Conocer la velocidad de digestión estimada de los hidratos de carbono es importante porque nos indica el tiempo en que tardará en aportar energía. Los ejercicios aeróbicos como el atletismo o el ciclismo son especialmente críticos con el nivel de glucógeno almacenado en músculo e hígado.

Antes, durante e inmediatamente después de realizar un ejercicio intenso y duradero en el tiempo, se recomienda ingerir alimentos con alto IG.

La amilopectina está presente en alimentos naturales, y también se la comercializa como suplemento deportivo. Los grandes frascos con el rótulo de amilopectina parecen tener su atractivo.

Para los deportistas de esfuerzo, donde no se realizan ejercicios aeróbicos, la depleción de glucosa no es crítica en su rendimiento. Sin embargo se publicitan como indispensables en los productos comerciales y en los foros de fisicoculturistas se estimula su consumo.

Las famosas “whey proteins”

Hasta hace unas décadas atrás, el suero de la leche era considerado como el desecho de las queserías. Se obtiene al coagular las caseínas (principal proteína de la leche) para la producción de quesos. El resto de las proteínas que quedan en la fase soluble se las llama comúnmente “suero” por el color traslúcido que adquiere la leche al separarse de las caseínas.

Porque justamente son estas proteínas (las caseínas) las que producen la refracción de la luz y dan el color blanco característico de la leche. Lejos de ser un desecho sin importancias nutritivas, las proteínas de la leche tienen un alto valor biológico.

Especialmente la proteína lactoglobulina, que es la que se encuentra en mayor concentración en esta fracción. Esta proteína es promotora del crecimiento muscular.

Los grandes frascos rotulados con su nombre en inglés, no dejan de ser suero de leche deshidrata. Las proteínas del suero de la leche son muy ricas en tres aminoácidos esenciales: leucina, isoleucina y valina.

Estos aminoácidos se los utiliza para la síntesis de fibras musculares. Pero que quede claro, el mismo beneficio obtendremos al tomar un vaso de leche.

Mejor comer sano

Los suplementos deportivos suelen prometer maravillas en cuanto al rendimiento deportivo. En los mejores de los casos, no cumplen las promesas publicitarias pero tampoco son perjudiciales para la salud.

En otras, consumir sustancias que prometen grandes beneficios para la salud o el rendimiento deportivo y que no están reguladas, puede ser riesgoso.

La falta de control en la elaboración de los suplementos deportivos y su venta libre puede traer aparejado “contaminaciones” con sustancias consideradas doping como una forma de incrementar el resultado en los deportistas.

Un consumo elevado de proteínas puede producir una sobrecarga en el organismo. En ese caso se podría afectar el funcionamiento de los riñones y el hígado que son los encargados de eliminar las sustancias de desecho que generan las proteínas como el amoníaco, la urea y el ácido úrico.

Una nutrición equilibrada y balanceada siempre es mejor que un suplemento.

Informarse y consultar a un nutricionista sobre la correcta dieta para cumplir con los requerimientos energéticos y nutricionales del deportista es la mejor opción.

Lecturas recomendadas

- Katch V.L., McArdle, W.D., Katch F.I. Fisiología del Ejercicio Fundamentos. Capítulo 14: Entrenamiento de los músculos para aumentar su fuerza. 2005 4ta Edición. Editorial Panamericana

Artículos científicos

- Burke, L.M. (2000). Positive Drug Tests from Supplements. SPORTSCIENCE. Disponible en <http://www.sportsci.org/jour/0003/lmb.html>
- Judkins, C., Prock, P. Supplements and inadvertent doping - how big is the risk to athletes. Med Sport Sci. 2012;59:143-52.
- Kadi, F. (2008). Cellular and molecular mechanisms responsible for the action of testosterone on human skeletal muscle. A basis for illegal performance enhancement. British Journal of Pharmacology 154, 522–528
- Szent-Györgyi, A.G. (2004). Milestone in Physiology: The Early History of the Biochemistry of Muscle Contraction. J. Gen. Physiol. 123: 631–641
- Szent-Györgyi, A.G. (2004). The Early History of the Biochemistry of Muscle Contraction. Disponible en <http://www.jgp.org/cgi/doi/10.1085/jgp.200409091>

Tabla 1: Ejemplos de índice glucémico (IG) promedios para algunos alimentos.

Alimento	IG
Glucosa	100
Puré de papas	80
Arroz blanco	72
Pan blanco	69
Arroz integral	66
Banana	62
Espaguetis	59
Naranjas	40
Tomates	38
Leche entera	34
Lentejas	29

Tabla 2: Velocidad de absorción de los alimentos según el IG

Alto	55-100	se convierten rápidamente en glucosa en sangre
Mediano	40-54	su absorción es más lenta y moderada
Bajo	0-39	la glucosa que se produce por el aporte de estos alimentos se produce gradualmente