

# Ejercicio excéntrico y velocidad de conducción de la fibra muscular: una revisión bibliográfica

Oscar Valencia, Benjamín Toro, Rodrigo Nieto, Rodrigo Guzmán-Venegas

Laboratorio Integrativo de Biomecánica y Fisiología del Esfuerzo, Escuela de Kinesiología, Facultad de Medicina, Universidad de los Andes. Chile.

doi: 10.18176/archmeddeporte.00060

**Recibido:** 09/11/2020  
**Aceptado:** 04/06/2021

## Resumen

**Introducción:** Según la literatura, el ejercicio excéntrico ha sido considerado como un precursor de cambios neuromusculares generado por el daño post-ejercicio, causando principalmente una alteración en la permeabilidad de la membrana celular muscular. Una de las variables fisiológicas que ha permitido cuantificar esta alteración, es la velocidad de conducción de la fibra muscular (VCFM). Algunas investigaciones han mostrado una disminución de esta variable posterior a protocolos de ejercicio excéntrico; sin embargo, existen pocos estudios que confirmen este hallazgo. Este estudio tuvo como objetivo describir la evidencia científica reciente que reporte cambios en la VCFM después de protocolos de ejercicio excéntrico.

**Material y método:** De 265 artículos, se seleccionaron 6 artículos de las plataformas EBSCO y MEDLINE con un filtro temporal de 10 años (entre 2010 y abril de 2020), usando criterios de inclusión/exclusión predeterminados. En primer lugar, se describió el efecto del ejercicio excéntrico sobre la VCFM y los protocolos de ejercicios. Secundariamente, se reportaron las técnicas utilizadas para registrar la señal electromiográfica, y algunos criterios para determinar la VCFM.

**Resultados:** Es posible observar modificaciones de la VCFM luego del ejercicio excéntrico en casi todos los artículos seleccionados. Al mismo tiempo, se observa una disminución de esta variable en cuatro estudios, asociado a los músculos bíceps braquial y dos porciones del cuádriceps. Sin embargo, un artículo describe un incremento de la VCFM en el vasto lateral del cuádriceps.

**Conclusión:** Los artículos sugieren que las contracciones excéntricas podrían modificar el comportamiento de la VCFM de algunos músculos. Sin embargo, aún falta evidencia para describir la real causa de estos cambios.

## Palabras clave:

Velocidad de conducción muscular.  
Electromiografía. Ejercicio excéntrico.  
Musculoesquelético.

## Eccentric exercise and muscle fiber conduction velocity: a literature review

### Summary

**Introduction:** According to the literature, eccentric exercise has been considered a precursor of neuromuscular changes generated by post-exercise damage, mainly causing an alteration in the muscle cell membrane. Muscle fiber conduction velocity (MFCV) has been one of the physiological variables that have allowed to quantify this alteration. Some investigations have shown a decrease in the MFCV after eccentric exercise protocols; however, few studies have confirmed these findings. This review aimed to describe the recent scientific evidence that reports changes in the MFCV after eccentric exercise protocols.

**Material and method:** From 265 articles, 6 articles were selected from EBSCO and MEDLINE platforms with a temporal filter of 10 years (between 2010 and April 2020), using inclusion/exclusion criteria predetermined. Firstly, the information from eccentric exercise effect on MFCV, and exercise protocols were described. Secondly, the techniques used to record electromyographic signals and some criteria to determine the MFCV were reported.

**Results:** Modifications of MFCV can be observed after eccentric exercise in almost all selected articles. At the same time, a decrease of this variable was observed in four studies, associated with the biceps brachii and two portions of the quadriceps muscles. However, one article describes an increase of the MFCV in the vastus lateralis quadriceps.

**Conclusion:** The articles suggest that eccentric contractions could modify the MFCV behavior of some muscles. However, evidence is still lacking to describe the real cause of these changes.

## Key words:

Muscle conduction velocity.  
Electromyography.  
Eccentric exercise. Musculoskeletal.

**Correspondencia:** Oscar Valencia  
E-mail: ovalencia@uandes.cl

## Introducción

Desde la perspectiva del entrenamiento y la rehabilitación física, las contracciones musculares contra resistencia han sido muy útiles en el abordaje terapéutico, dada las adaptaciones neuromusculares posterior al ejercicio<sup>1</sup>. Sin embargo, aún existen algunas interrogantes en base a las posibles causas a estas adaptaciones, considerando aquellas contracciones de tipo concéntricas, isométricas, y excéntricas<sup>2,3</sup>. En la vida cotidiana y en la práctica del deporte, se destaca un trabajo conjunto de estas contracciones musculares<sup>4-6</sup>. Sin embargo, existen características esenciales que catalogan a las contracciones excéntricas como las más demandantes, considerando algunas características como la variación de la longitud de las fibras musculares y el daño del tejido solicitado posterior al ejercicio<sup>3,7</sup>.

Desde la perspectiva fisiológica, los protocolos de ejercicios excéntricos han mostrado un gran daño mecánico selectivo de las fibras musculares de contracción rápida (tipo II) y, al mismo tiempo, disrupciones agudas del tejido periférico<sup>8</sup>. Algunos estudios vinculan los efectos mencionados a un mayor estrés mecánico de fibras rápidas durante este tipo de contracciones<sup>8,9</sup>, reportando además, desbalances químicos entre el medio intracelular y extracelular de las fibras dañadas<sup>10-12</sup>, y diferencias en la estrategia de control neural a nivel central<sup>12</sup>. Una de las variables electromiográficas que ha permitido describir los posibles efectos generados por el ejercicio excéntrico a nivel muscular, es la velocidad de conducción de la fibra muscular (VCFM), definida como la velocidad en que se propaga un potencial de acción a través del sarcolema de una fibra musculoesquelética<sup>13</sup>. Esta variable se ha transformando en el reflejo de posibles cambios periféricos a nivel muscular, producto de la fatiga<sup>13</sup>, una patología asociada al sistema musculoesquelético<sup>14,15</sup>, o bien, el efecto del ejercicio excéntrico<sup>16,17</sup>. Según este último punto, algunas investigaciones han reportado una modificación de la VCFM respecto a sus niveles basales tras la aplicación de un protocolo de contracciones excéntricas, considerando diferentes músculos y protocolos de ejercicios excéntricos<sup>9,11,18</sup>. Un ejemplo, son los resultados reportados por Nasrabadi *et al.* 2018, quienes muestran una disminución en la magnitud de la VCFM inmediatamente después y luego de 24 horas post-ejercicio en dos porciones del cuádriceps (vasto lateral (VL) y vasto medial oblicuo (VMO))<sup>19</sup>. Sin embargo, un hallazgo adicional descrito por la investigación mencionada, corresponde al nivel de reducción de la VCFM al comparar ambos músculos, mayor para el VMO<sup>19</sup>. Según los autores, una justificación a estas diferencias podría estar representada en las variaciones morfológicas de ambos músculos, considerando el alto porcentaje de fibras rápidas del VMO, las cuales serían más susceptibles al daño generado por contracciones excéntricas<sup>19</sup>.

Existen pocas investigaciones que evalúen la VCFM antes y después de protocolos de entrenamiento excéntrico, y al mismo tiempo, no existen estudios que recopilen la variación de la VCFM producto de este tipo de contracciones. Según lo planteado, el objetivo de esta investigación fue describir la evidencia científica reciente que reporte los cambios en la VCFM producto del ejercicio excéntrico. Los resultados expuestos en esta revisión bibliográfica se enfocan en la descripción de dos puntos principales considerados por los investigadores: a) el efecto del ejercicio excéntrico sobre la VCFM y b) protocolos de ejercicios ex-

céntricos utilizados para inducir daño muscular. De forma secundaria, y a partir de los estudios recopilados, se buscó describir las herramientas utilizadas para registrar la señal EMG y la selección de algunos criterios que determinan la VCFM.

## Material y método

### Diseño

Revisión bibliográfica de artículos publicados desde 2010 hasta abril de 2020.

### Criterios de inclusión y exclusión

Se incluyeron aquellos artículos con los siguientes criterios: idioma inglés; evaluación de los potenciales de acción de unidades motoras (PAUMs) con electromiografía de superficie sobre el musculoesquelético; estudios experimentales antes-después en humanos (personas sanas y/o deportistas) con aplicación de protocolos de ejercicio excéntrico a nivel muscular; estimación de la VCFM a partir de la propagación de los PAUMs registrada con EMG de superficie. Respecto a los criterios de exclusión utilizados, se descartaron las revisiones, ya que fueron considerados como estudios no experimentales, los cuales carecen de aplicación metodológica para medir la VCFM. Adicionalmente, aquellos artículos que utilizaron personas con alguna patología también fueron excluidos.

### Estrategia de búsqueda

Para la búsqueda de la literatura se utilizaron las plataformas EBSCO y MEDLINE, la búsqueda se realizó usando tesauros o términos libres. En el caso de los tesauros se utilizaron los términos MeSH "Humans", "Electromyography" y "Muscle Contraction/physiology". En el caso de los términos libres se utilizaron "Muscle fiber conduction velocity" y "eccentric". Estos términos fueron combinados con el conector booleano AND, aplicando un filtro temporal de 10 años entre el 2010 y abril de 2020.

### Selección de artículos

La selección de los artículos se hizo en primera instancia en base al título y resumen. Posteriormente, se consideraron sólo estudios experimentales antes-después, seleccionado aquellos que reflejaban los siguientes aspectos en la lectura de texto completo: a) el efecto del ejercicio excéntrico sobre la VCFM, b) protocolos de ejercicios excéntricos utilizados para inducir daño muscular, y c) descripción de técnicas utilizadas para registrar la señal EMG y selección de algunos criterios para determinar la VCFM. Estos puntos fueron utilizados por dos revisores, quienes en una primera instancia generaron la búsqueda de forma independiente. Luego, junto a un tercer revisor se seleccionaron los artículos en base a la lectura de texto completo.

## Resultados

A partir de la estrategia descrita, la búsqueda inicial arrojó un total de 265 artículos, al eliminar los estudios duplicados y considerar

la lectura del título, resumen, clasificación como experimental antes-después, quedaron sólo 8 artículos. De estos, solo dos fueron excluidos considerando su lectura completa junto a los criterios de selección. Finalmente se seleccionaron 6 artículos científicos para el desarrollo de esta revisión bibliográfica (Tabla 1).

## Efecto del ejercicio excéntrico sobre la VCFM

Dos estudios calcularon la VCFM post-ejercicio excéntrico en el bíceps braquial durante contracciones isométricas submáximas (10, 20, 30, 40, 50 y 75% de la contracción voluntaria máxima (CVM)<sup>9,11</sup>, ambos

**Tabla 1. Muestra características generales de los estudios seleccionados, protocolos de ejercicio excéntrico, y resultados obtenidos en base al comportamiento (antes-después) de la velocidad de conducción de la fibra muscular (VCFM).**

Autores	Participantes (número/ músculo evaluado)	Protocolo de ejercicio excéntrico	Tiempos de medición	%CVM durante el registro de la señal EMG	Variación de la VCFM post-ejercicio	Resultados/ variación de la VCFM
Piitulainen, et al. 2010.	n=9/ Bíceps braquial	Cincuenta repeticiones de contracciones excéntricas máximas en máquina isocinética (1 rad/s) dividido en 2 fases (F1: 65°-120°/F2: 120°-175°). Se determinó un descanso de 3 segundos entre fases y 20 segundos entre cada repetición.	Antes del protocolo (PRE) y dos horas (2H), dos días, y cuatro días después del protocolo.	10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 75% y 100% de la CVM.	↓	100% CVM: 4,1 ± 0,3m/s (PRE) vs 3,8 ± 0,4m/s (2H), p<0,01.
Piitulainen, et al. 2011.	n=24/Bíceps braquial	Tres series de veinte repeticiones de contracciones excéntricas máximas en máquina isocinética (60°/s) en un rango de movimiento de 110° (65°-175°) con un descanso de 15 segundos entre repetición y 5 minutos entre series.	Antes del protocolo (PRE), inmediatamente después, 2 horas (2H) y 1 día después del protocolo.	100% de la CVM	↓	4,16 ± 0,34m/s (PRE) vs 3,43 ± 0,44m/s (2H), p<0,01.
Piitulainen, et al. 2012	n=16/Bíceps braquial	Cincuenta repeticiones de contracciones excéntricas máximas en máquina isocinética (60°/s) dividido en 2 fases (F1: 65°-120° / F2: 120°-175°). Se determinó un descanso de 3 segundos entre fases y 20 segundos entre cada repetición.	Antes del protocolo (PRE), dos horas (2H), dos y cuatro días después del protocolo.	10%, 20%, 30%, 40%, 50% y 75% de la CVM.	↓	40% CVM: 4,4 ± 0,3 m/s (PRE), 4,2 ± 0,3m/s (2H), p<0,05. 50% CVM: 4,5 ± 0,3m/s (PRE), 4,2 ± 0,3m/s (2H), p<0,01. 75% CVM: 4,4 ± 0,3m/s (PRE), 4,2 ± 0,3m/s (2H), p<0,01).
Cadore et al. 2014.	n=22/Vasto lateral	Programa de entrenamiento de seis semanas, aplicando contracciones excéntricas (casos) y contracciones concéntricas (controles). El entrenamiento incluía progresiones de ocho, diez y doce repeticiones desde dos hasta cinco series, con descansos de cinco minutos entre cada serie. Para las contracciones se utilizó una máquina isocinética (60°/s) con un rango de movimiento de 90° en la articulación de rodilla. (90°-180°).	Antes del entrenamiento (PRE) y después de seis semanas de entrenamiento (POST).	100% CVM	↑	4,17 ± 1,62m/s (PRE) vs 4,44 ± 1,19m/s (POST), p<0,05.
González et al. 2014.	n=16/Vasto lateral	Se realizaron dos sesiones de 2 CVM y cuatro series de veinte contracciones dinámicas (concéntricas y excéntricas) separadas por 1 semana. Entre cada serie había un descanso de dos minutos. Se utilizó una máquina isocinética (60°/s) con un rango de movimiento de 90° en la articulación de rodilla. (90°-180°).	Antes del protocolo, inmediatamente después (ID) del protocolo y 5 minutos (5M) después del protocolo.	100% de la CVM	ND	2,1 ± 0,1m/s (PRE); 2,2 ± 0,1m/s (ID); 2,1 ± 0,1m/s (5M); p>0,05.
Nasrabadi, et al. 2018	n=15/Vasto lateral y vasto medial oblicuo	Se realizaron dos sesiones de 2 CVM y cuatro series de veinte contracciones dinámicas (concéntricas y excéntricas) separadas por 1 semana. Entre cada serie había un descanso de dos minutos. Se utilizó una máquina isocinética (60°/s) con un rango de movimiento de 90° en la articulación de rodilla. (90°-180°).	Previo al protocolo de ejercicio, dos horas y veinticuatro horas posterior al protocolo.		↓	100% CVM vasto lateral: 4,9 ± 0,59 m/s (PRE) vs 4,5 ± 0,46 m/s (2H), p<0,05, y 4,5 ± 0,44 m/s (24H post-ejercicio), p<0,05. 100% CVM vasto medial oblicuo: 5,3 ± 0,61 m/s (PRE) vs 4,8 ± 0,54 m/s (2H), p< 0,05, y 4,9 ± 0,57 m/s (24H), p< 0,05. 50% CVM: 24H: -26.1% (VMO) vs -20.1% (VL), p<0,05.

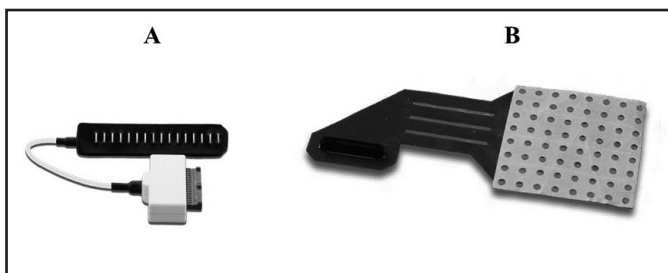
ND: No hay diferencias; CVM: contracción voluntaria máxima.

reportaron disminuciones significativas de la VCFM al superar el 40% de la CVM, observadas luego de dos horas post-ejercicio (2H). Sin embargo, sólo un estudio reportó los valores promedios de la VCFM (durante el 40% CVM:  $4,4 \pm 0,3$  m/s (previo al ejercicio (PRE)) vs  $4,2 \pm 0,3$  m/s (2H),  $p < 0,05$ ; 50% CVM:  $4,5 \pm 0,3$  m/s (PRE) vs  $4,2 \pm 0,3$  m/s (2H),  $p < 0,01$ ; 75% CVM:  $4,4 \pm 0,3$  m/s (PRE) vs  $4,2 \pm 0,3$  m/s (2H),  $p < 0,01$ )<sup>9</sup>. Así mismo, aquellos estudios que evaluaron la VCFM post-ejercicio excéntrico en el bíceps braquial, durante contracciones isométricas o dinámicas máximas reportaron: (a) reducciones significativas de la VCFM a las 2H post-ejercicio en el grupo expuesto a contracciones excéntricas (100% CVM:  $4,16 \pm 0,34$  m/s (PRE) vs  $3,43 \pm 0,44$  m/s (2H),  $p < 0,01$ <sup>18</sup>; y 100% CVM:  $4,1 \pm 0,3$  m/s (PRE) vs  $3,8 \pm 0,4$  m/s (2H),  $p < 0,01$ )<sup>11</sup>. Respecto a los estudios que evaluaron el efecto del ejercicio excéntrico en la VCFM en el cuádriceps se reportaron: (a) disminuciones significativas de la VCFM durante las contracciones isométricas máximas en el vasto lateral (VL:  $4,9 \pm 0,59$  m/s (PRE) vs  $4,5 \pm 0,46$  m/s (2H),  $p < 0,05$ , y vasto medial oblicuo (VMO:  $5,3 \pm 0,61$  m/s (PRE) vs  $4,8 \pm 0,54$  m/s (2H),  $p < 0,05$ , y  $4,9 \pm 0,57$  m/s (24H),  $p < 0,05$ )<sup>19</sup>; (b) en base al mismo estudio, se observa un mayor porcentaje de decaimiento de la VCFM en el vasto medial oblicuo vs vasto lateral durante contracciones sub máximas (50% CVM) sostenidas (24H: - 26,1% (VMO) vs - 20,1% (VL),  $p < 0,05$ )<sup>19</sup>; y (c) un aumento significativo de la VCFM durante contracciones isométricas máximas en el grupo sometido a un entrenamiento excéntrico ( $4,17 \pm 1,62$  m/s (PRE) vs  $4,44 \pm 1,19$  m/s (seis semanas post-ejercicio),  $p < 0,05$ )<sup>16</sup>.

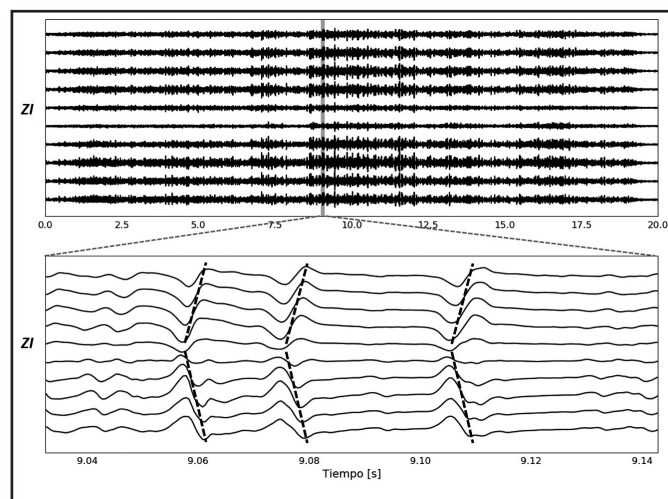
### Protocolos de ejercicios excéntricos utilizados para inducir daño muscular

Cinco estudios utilizaron máquinas isocinéticas en el desarrollo de protocolos de ejercicio excéntrico, considerando los músculos bíceps braquial<sup>9,11,18</sup> y vasto lateral<sup>16,20</sup>. Por otra parte, sólo un estudio utilizó una máquina de "press piernas" para inducir daño muscular excéntrico en el vasto lateral y vasto medial oblicuo<sup>19</sup>. En relación con las características de los protocolos de ejercicio excéntrico para el bíceps braquial, tres estudios aplicaron diferentes cargas para inducir daño muscular<sup>9,11,18</sup>. En relación con las cargas aplicadas, algunas investigaciones utilizaron una serie de cincuenta repeticiones con descansos de veinte segundos<sup>9,11</sup>, mientras que otro estudio aplicó tres series de veinte repeticiones con

**Figura 1. Ilustra dos tipos de electrodos de superficie. A) arreglo lineal de 16 electrodos (dry array SA16-5 ied 5 mm, OT Bioelettronica, Torino, Italy), y B) matriz de 64 electrodos (ELSCH064NM3 ied 10 mm, OT Bioelettronica, Torino, Italy).**



**Figura 2. Muestra el registro de los potenciales de acción de unidades motoras adquiridas con electromiografía de superficie de alta densidad, durante 20 segundos de una contracción isométrica submáxima (60%) del gastrocnemio medial (imagen superior). La captura fue obtenida con un arreglo lineal de 16 canales (dry array SA16-5 ied 5 mm, OT Bioelettronica, Torino, Italy). En esta oportunidad se muestra el registro de 10 canales en una ventana de 0,1s (entre 9,04s y 9,14s, imagen inferior). Las líneas discontinuas verticales describen la orientación de la propagación de los potenciales (imagen inferior). ZI: localización de la zona de inervación.**



descansos de cinco minutos inter-serie<sup>18</sup>. Otro punto relevante, se relaciona con la velocidad de las máquinas isocinéticas utilizadas en cada estudio, las cuales fueron utilizadas a 1 rad/s<sup>11</sup> y 60°/s<sup>9,18</sup>. Finalmente, respecto a las características del movimiento desarrollado, dos estudios dividieron el rango de movimiento en 2 fases (Fase 1: 65°-120° y Fase 2: 120°-175°) separadas por tres segundos<sup>9,11</sup>, mientras que el resto de las investigaciones mantuvieron la contracción excéntrica máxima durante todo el rango de movimiento (ROM). Respecto a la magnitud del ROM utilizado sobre la articulación del codo, las contracciones se realizaron entre los 65°-175°<sup>9,11,18</sup>. Los protocolos de ejercicio excéntrico para el cuádriceps (vasto lateral y medial), dos estudios aplicaron diferentes cargas para inducir daño muscular<sup>16,19</sup> y sólo un estudio desarrolló contracciones excéntricas hasta la fatiga<sup>20</sup>. De estos tres estudios, uno de ellos aplicó una intervención de contracciones excéntricas<sup>19</sup>, otro generó exposiciones aleatorizadas de contracciones dinámicas fatigantes<sup>20</sup>, y el último realizó un programa de entrenamiento con contracciones excéntricas durante seis semanas<sup>16</sup>. Dos investigaciones asociadas al ejercicio excéntrico de cuádriceps utilizaron cuatro series, considerando veinte<sup>20</sup> y veinticinco contracciones<sup>19</sup>, con descansos de dos<sup>20</sup> y tres<sup>19</sup> minutos entre cada serie. En el caso del entrenamiento de seis semanas desarrollado por Cadore *et al.*, las progresiones incluían ocho, diez y doce repeticiones desde dos hasta cinco series, con descansos de cinco minutos entre cada serie<sup>16</sup>. Aquellos estudios que aplicaron el protocolo de ejercicio excéntrico con una máquina isocinética en cuádriceps, usaron velocidades angulares de 60°/s en un rango de movimiento de rodilla entre los 180°-90°<sup>16,20</sup>. Por otra parte, el estudio que implementó

la "press pierna", utilizó una carga externa igual al 150% CVM en un rango de movimiento de rodilla entre los 180°-60°<sup>19</sup>.

## Técnicas utilizadas para registrar la señal EMG y estimar la VCFM

Según la literatura recolectada, la captura de las señales electromiográficas fue a través de matrices de sesenta y cuatro electrodos<sup>9,11</sup>, o arreglos lineales de ocho electrodos<sup>16,18-20</sup>. Considerando una distancia inter-electrodo de ocho<sup>9,11</sup> y cinco<sup>16,18-20</sup> milímetros (Figura 1B). En todos los casos, la zona de inervación se localizó antes de ubicar los electrodos sobre la piel. Esto se desarrolla con arreglos lineales de dieciséis<sup>9,11,16,18,20</sup> u ocho<sup>19</sup> electrodos de superficie (Figura 1A). Adicionalmente, diferentes estudios reportan la adquisición de las señales de EMG amplificando a un ancho de banda entre 10-750 Hz<sup>9,11,18</sup>, y 10 - 500 Hz<sup>16,19,20</sup>, considerando también un filtro pasa banda entre 20-450 Hz<sup>11</sup>, 10 - 500 Hz<sup>16</sup>, o 10 - 750 Hz<sup>9,18</sup>. Todas las investigaciones utilizaron una frecuencia de muestreo de 2048 Hz, las cuales fueron digitalizadas con un conversor análogo digital de 12 bits. En relación con la estimación de la VCFM y la selección de los canales de EMG, los estudios mencionan diferentes metodologías, distinguiendo los siguientes puntos: (a) considerar dos o tres<sup>9,11,18</sup> canales adyacentes en la dirección longitudinal del músculo; (b) utilizar un número máximo de canales de acuerdo a la propagación de potenciales de acción con cambios mínimos de forma sin la presencia de la zona de inervación<sup>19</sup>; y (c) considerando la selección arbitraria de algunos canales de EMG<sup>16,20</sup> (ver Figura 2). Es importante mencionar que algunos estudios declaran excluir aquellos canales con presencia de ruido, cercanos a la zona de inervación y de forma más categórica, descartar aquellos valores de VCFM fuera de un rango fisiológico (2-6 m/s)<sup>9,11,18</sup>.

## Discusión

El uso de contracciones excéntricas en el sistema musculoesquelético ha sido una herramienta útil en la terapia física y el deporte, dada las múltiples adaptaciones neuromusculares que puede inducir<sup>21,22</sup>. En el mismo contexto, una de las variables utilizadas en la descripción de estas adaptaciones ha sido la VCFM, la cual ha permitido establecer posibles cambios en la permeabilidad de la membrana posterior al daño muscular generado por el ejercicio<sup>16,21,23</sup>. En relación con el entrenamiento deportivo y ejercicio terapéutico, las contracciones excéntricas se han llevado el protagonismo, demostrando un mayor efecto adaptativo en comparación a otros tipos de contracciones musculares<sup>8</sup>. Sin embargo, es importante considerar que esta adaptación podría ser el resultado del daño mecánico selectivo de un conjunto de fibras musculares, especialmente fibras tipo II (rápidas)<sup>3</sup>. En el mismo contexto, la EMGs de alta densidad ha permitido pesquisar posibles cambios neuromusculares a partir del registro de los PAUMs ubicadas en regiones superficiales del músculo evaluado, las cuales modificarían su actividad luego de contracciones excéntricas<sup>24</sup>. Aunque la cantidad de estudios es limitada, los resultados en base al comportamiento de la VCFM podrían estar determinado, en alguna medida, por la arquitectura de cada músculo, y de forma hipotética, en su resistencia

a la fatiga. Un ejemplo de esto se evidencia en los resultados reportados por Nasrabadi *et al.* 2018, quienes describen un porcentaje de descenso de la VCFM por el vasto medial oblicuo significativamente mayor al vasto lateral, posterior a 24H de la aplicación de un protocolo de ejercicio excéntrico<sup>19</sup>. Atribuyendo este hallazgo a las diferencias morfológicas de cada porción muscular<sup>19</sup>. Por el contrario, Piitulainen *et al.* 2013 evaluaron la VCFM de ambas porciones del bíceps braquial, durante contracciones excéntricas máximas, reportando un aumento significativo de la VCFM, sin encontrar diferencias entre ambas porciones<sup>10</sup>. Estos resultados podrían apoyar la hipótesis vinculada a la arquitectura muscular, y su posible relación con el funcionamiento y comportamiento de los PAUMs frente al ejercicio excéntrico. Adicionalmente, estudios histológicos han comprobado que la magnitud del daño muscular inducido por ejercicio excéntrico podría depender de la arquitectura del musculoesquelético<sup>25</sup>.

Un hallazgo interesante observado en los artículos recopilados tiene relación con el daño muscular y el efecto esperado sobre la VCFM. En consecuencia, pese a que los indicadores inflamatorios de daño muscular alcanzan un valor máximo luego de 24H post-ejercicio, la VCFM describe su máximo decaimiento a las 2H post-ejercicio, y luego de 24H retorna a niveles basales<sup>9,11,18</sup>. Sin embargo, estas investigaciones proponen que el comportamiento de la VCFM no se asocia de forma directa al daño muscular luego de 2H post-ejercicio, sino a un desequilibrio químico inducido por las altas cargas excéntricas<sup>16,19,26</sup>. Según la literatura, lo anterior se ha explicado por un desbalance iónico de sodio [Na<sup>+</sup>] y potasio [K<sup>+</sup>], lo cual alteraría la permeabilidad de la membrana<sup>26</sup>. Esto ha generado una hipótesis en base a la presencia de canales de sodio [Na<sup>+</sup>] y calcio [Ca<sup>2+</sup>] sensibles al estiramiento de las fibras musculares dañadas<sup>3</sup>, lo cual alteraría tanto el sarcolema como el complejo de túbulos-T de la región afectada y, como consecuencia, provocaría un retraso del potencial de acción en la membrana<sup>26</sup>. Estos cambios podrían ser más visibles a altas contracciones musculares, afectando principalmente a fibras de contracción rápida<sup>9,11,18</sup>. Sin embargo, no existe suficiente evidencia para determinar si la propuesta descrita anteriormente podría afectar a todo el sistema musculoesquelético de manera similar<sup>18,19</sup>, o bien, si la arquitectura muscular podría jugar un rol esencial en el comportamiento de la VCFM. Otro efecto desarrollado por agentes externos sobre la VCFM, ha sido discutido por Bazzucchi *et al.*, quienes sugieren que el uso de elementos ergogénicos, como la administración oral de quercetina, también podría modular el efecto del ejercicio excéntrico sobre la VCFM del bíceps braquial<sup>27</sup>.

Por otro lado, los protocolos de ejercicio excéntrico varían dependiendo del músculo evaluado, siendo el bíceps braquial<sup>9,11,18</sup> y las porciones del cuádriceps<sup>16,19,20</sup> los más estudiados. Adicionalmente, el uso de máquinas isocinéticas se observa en la mayoría de las investigaciones<sup>9,11,16,18,20</sup>, destacando el control del movimiento en los diferentes segmentos del cuerpo y la caracterización del volumen de ejercicio excéntrico empleado. Respecto al entrenamiento excéntrico, los hallazgos reportados por Cadore *et al.*, sugieren que el comportamiento de la VCFM no difiere entre entrenamientos con contracciones excéntricas y concéntricas<sup>16</sup>. Sin embargo, es necesario que futuras investigaciones puedan indagar prospectivamente el comportamiento de la VCFM considerando distintos grupos musculares, luego de contracciones excéntricas y concéntricas.

Según los artículos recopilados, la EMGs de alta densidad podría representar el denominador común para registrar los diferentes PAUMs, asociado al posterior procesamiento de la VCFM. Sin embargo, la variación en la adquisición de la señal electromiográfica está representada por el uso de múltiples electrodos, destacando la configuración de arreglos lineales<sup>16,19</sup> y matrices<sup>11,18</sup>. Así mismo, los criterios considerados para estimar la VCFM son variados, sin embargo, se pueden destacar puntos esenciales como: la ubicación de la zona de inervación (previo al cálculo de la VCFM), selección del número de canales adyacentes, exclusión de canales con ruido, y descartar los valores fuera de un rango fisiológico (2-6m/s)<sup>9,11,18</sup>.

Dentro de las limitaciones de esta investigación, es posible mencionar algunos aspectos: i) la selección por conveniencia en todos los estudios, ii) la selección de artículos sólo en idioma inglés, iii) las limitaciones propias de una revisión bibliográfica<sup>28</sup>.

## Conclusión

En conclusión, los resultados sugieren que el comportamiento de la VCFM en relación con el ejercicio excéntrico podría estar modulado por una serie de factores intrínsecos que han sido modificados. Sin embargo, aún no hay evidencia suficiente para comprobar la variación de la VCFM producto del ejercicio excéntrico, considerando que los músculos más evaluados han sido el bíceps braquial y las porciones del cuádriceps. Esto podría ser un desafío para el uso de la EMG de alta densidad, una de las técnicas frecuentemente utilizadas, según los artículos seleccionados.

## Agradecimientos

Los investigadores quieren agradecer el apoyo brindado por: "Fondo de Ayuda a la Investigación (FAI: INV-IN-2017-01), Universidad de los Andes, Santiago, Chile".

## Conflicto de interés

Los autores no declaran conflicto de interés alguno.

## Bibliografía

- Oliveira AS, Caputo F, Aagaard P, Corvino RB, Gonçalves M, Denadai BS. Isokinetic eccentric resistance training prevents loss in mechanical muscle function after running. *Eur J Appl Physiol*. 2013;113:2301–11.
- Semmler JG. Motor unit activity after eccentric exercise and muscle damage in humans. *Acta Physiol*. 2014;210:754–67.
- Douglas J, Pearson S, Ross A, McGuigan M. Chronic adaptations to eccentric training: A systematic review. *Sport Med*. 2017;47:917–41.
- Valencia O, Cristi I, Ahumada D, Meza K, Salas R, Weinstein A, et al. The initial impact with forefoot increases the muscular activity of gastrocnemius during running. A quantitative study of electromyographic activity. *Retos*. 2020;38:271–5.
- Valencia O, Hudson MJ, Carpes F, Kunzler M, Gándara F, Le Roy I, et al. Modification of kinematic and electromyographic patterns in the lower limb by the use of cell phones. *Retos*. 2021;39:354–8.
- Rolian C, Lieberman DE, Hamill J, Scott JW, Werbel W. Walking, running and the evolution of short toes in humans. *J Exp Biol*. 2009;212:713–21.
- Lindstedt SL, LaStayo PC, Reich TE. When active muscles lengthen: properties and consequences of eccentric contractions. *Physiology*. 2001;16:256–61.
- Hody S, Croisier J-L, Bury T, Rogister B, Leprince P. Eccentric muscle contractions: risks and benefits. *Front Physiol*. 2019;10:536.
- Piitulainen H, Holobar A, Avela J. Changes in motor unit characteristics after eccentric elbow flexor exercise. *Scand J Med Sci Sports*. 2012;22:418–29.
- Piitulainen H, Botter A, Merletti R, Avela J. Multi-channel electromyography during maximal isometric and dynamic contractions. *J Electromyogr Kinesiol*. 2013;23:302–10.
- Piitulainen H, Bottas R, Komi P, Linnamo V, Avela J. Impaired action potential conduction at high force levels after eccentric exercise. *J Electromyogr Kinesiol*. 2010;20:879–87.
- Farina D, Merletti R, Enoka RM. The extraction of neural strategies from the surface EMG. *J Appl Physiol*. 2004;96:1486–95.
- Farina D, Pozzo M, Merlo E, Bottin A, Merletti R. Assessment of average muscle fiber conduction velocity from surface EMG signals during fatiguing dynamic contractions. *IEEE Trans Biomed Eng*. 2004;51:1383–93.
- Blijham PJ, Hengstman GJD, Ter Laak HJ, Van Engelen BGM, Zwarts MJ. Muscle-fiber conduction velocity and electromyography as diagnostic tools in patients with suspected inflammatory myopathy: A prospective study. *Muscle Nerve*. 2004;29:46–50.
- Klaver-Krói EG, Rasker JJ, Henriquez NR, Verheijen WG, Zwarts MJ. Muscle fiber velocity and electromyographic signs of fatigue in fibromyalgia. *Muscle Nerve*. 2012;46:738–45.
- Cadore EL, González-Izal M, Pallarés JG, Rodríguez-Falces J, Häkkinen K, Kraemer WJ, et al. Muscle conduction velocity, strength, neural activity, and morphological changes after eccentric and concentric training. *Scand J Med Sci Sports*. 2014;24:343–52.
- Martinez-Valdes E, Guzman-Venegas RA, Silvestre RA, Macdonald JH, Falla D, Arandeda OF, et al. Electromyographic adjustments during continuous and intermittent incremental fatiguing cycling. *Scand J Med Sci Sports*. 2016;26:1273–82.
- Piitulainen H, Botter A, Merletti R, Avela J. Muscle fiber conduction velocity is more affected after eccentric than concentric exercise. *Eur J Appl Physiol*. 2011;111:261–73.
- Nasrabadi R, Izanloo Z, Sharifnezad A, Hamedinia MR, Hedayatpour N. Muscle fiber conduction velocity of the vastus medialis and lateralis muscle after eccentric exercise induced-muscle damage. *J Electromyogr Kinesiol*. 2018;43:118–26.
- Gonzalez-Izal M, Cadore EL, Izquierdo M. Muscle conduction velocity, surface electromyography variables, and echo intensity during concentric and eccentric fatigue. *Muscle Nerve*. 2014;49:389–97.
- Enoka RM. Eccentric contractions require unique activation strategies by the nervous system. *J Appl Physiol*. 1996;81:2339–46.
- Clarkson PM, Hubal MJ. Exercise-induced muscle damage in humans. *Am J Phys Med Rehabil*. 2002;81:S52–69.
- Del Vecchio A, Bazzucchi I, Felici F. Variability of estimates of muscle fiber conduction velocity and surface EMG amplitude across subjects and processing intervals. *J Electromyogr Kinesiol*. 2018;40:102–9.
- Merletti R, Holobar A, Farina D. Analysis of motor units with high-density surface electromyography. *J Electromyogr Kinesiol*. 2008;18:879–90.
- Hedayatpour N, Falla D. Physiological and neural adaptations to eccentric exercise: mechanisms and considerations for training. *Biomed Res Int*. 2015;2015:1–7.
- McBride TA, Stockert BW, Gorin FA, Carlsen RC. Stretch-activated ion channels contribute to membrane depolarization after eccentric contractions. *J Appl Physiol*. 2000;88:91–101.
- Bazzucchi I, Patrizio F, Ceci R, Duranti G, Sgrò P, Sabatini S, et al. The effects of quercetin supplementation on eccentric exercise-induced muscle damage. *Nutrients*. 2019;11:205.
- Franco JVA, Arancibia M, Simancas-Racines D, Madrid E. Syntheses of biomedical information: narrative reviews, systematic reviews and emerging formats. *Medwave*. 2018;18:e7354.