

Concentraciones y movilidad relativa de isoformas de titina después de tres distintos entrenamientos de flexibilidad

Concentrations and relative mobility of titin isophorms after three different flexibility trainings

ESTÉLIO HENRIQUE MARTIN-DANTAS^{1,2,5}, ELIANE GOMES DA SILVA-BORGES¹,
GABRIEL GASTÉLUM-CUADRAS³, MAURA LOURENÇO-FERNANDES¹ Y RENATO RAMOS-COELHO⁴

Recibido: Enero 17, 2018

Aceptado: Marzo 3, 2019

Resumen

La flexibilidad muscular es un importante componente de aptitud física y está relacionada con el desempeño de actividades diarias y deportivas. Es determinada por factores intrínsecos y extrínsecos. En el caso de los intrínsecos, se destaca la concentración de titina en los músculos esqueléticos. El objetivo de este estudio fue comparar las concentraciones y la movilidad relativa de las isoformas T1 y T2 de titina después de 16 semanas de entrenamiento con diferentes ejercicios de flexibilidad. Para ello, 51 individuos entrenados, del sexo masculino con edades entre los 19 y 26 años, y con por lo menos 6 meses de entrenamiento físico, fueron divididos en tres grupos: elongación, flexibilización activa y flexibilización pasiva. La elongación no implicó ninguna modificación que pueda desvirtuar los porcentuales y la movilidad de las isoformas de titina. Los grupos que realizaron flexibilización presentaron disminución porcentual de la isoforma T1 y aumento porcentual de la isoforma T2, además del aumento de la movilidad relativa de estas dos isoformas de titina. La flexibilización pasiva implicó en mayores alteraciones en los porcentuales de las isoformas T1 ($\Delta\% = -11.30\%$ para $p < 0.05$) y T2 ($\Delta\% = 21.45\%$ para $p < 0.05$). La flexibilización activa promovió mayor aumento de movilidad relativa de las isoformas T1 ($\Delta\% = 26.53\%$ para $p < 0.05$) y T2 ($\Delta\% = 10.96\%$ para $p < 0.05$) de titina.

Palabras clave: elongación, flexibilización activa, flexibilización pasiva, proteínas musculares.

Abstract

Flexibility is an important component of physical fitness, is important to the performance of daily life and sports activities. Intrinsic and extrinsic factors determine flexibility and Titin is a very important intrinsic factor due to concentrations of its isoforms and its mobility. The objective of this study was to compare the concentration amounts and the relative mobility of Titin T1 and T2 isoforms after the execution of elongation and active and passive stretching techniques. To do it, 51 male subjects with age varying to 19 to 26 years and at least 6 months of physical training were divided into three groups: elongation, active stretching, and passive stretching. Elongation did not cause any significant changes in the percentages and in the mobility of Titin isoforms. Stretching decreased T1 isoform, augmented T2 isoforms, and give more relative mobility to Titin T1 and T2 isoforms. Passive stretching altered more Titin isoforms concentration of T1 ($\Delta\% = -11.30\%$ to $p < 0.05$) and T2 ($\Delta\% = 21.45\%$ to $p < 0.05$). Active stretching improves more relative mobility of T1 ($\Delta\% = 26.53\%$ to $p < 0.05$) and T2 ($\Delta\% = 10.96\%$ to $p < 0.05$) Titin isoforms.

Keywords: elongation, active stretching, passive stretching, muscle proteins.

¹ UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (UNIRIO). Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Enfermagem e Biociências (PpgEnfBio). Rua Xavier Sigaud, 290, sala 203, Praia Vermelha. Rio de Janeiro, RJ, 22290-180. Tel (55 21) 2542-6018.

² UNIVERSIDADE TIRADENTES (UNIT). Programa de Pós-graduação em Saúde e Ambiente (PSA). Aracaju, Brasil.

³ UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA. C. Escorza, 900, Col. Centro. Chihuahua, México, 31000.

⁴ UNIVERSIDADE DE TIRADENTES (UNIT). Laboratório de Biociência da Motricidade Humana. Rua Murilo Dantas, 3000, Farolândia. Aracaju, SE, 49032-490.

⁵ Dirección electrónica del autor de correspondencia: estelio.dantas@unirio.br

Introducción

La flexibilidad es un importante componente de aptitud física y está relacionada con el desempeño de actividades de vida diaria y deportivas (Pereira *et al.*, 2011). Esta cualidad física es determinada por factores intrínsecos y extrínsecos. Entre los intrínsecos, se destaca la concentración de titina en los músculos esqueléticos (Dantas, 2018).

Dicha proteína es gigante, pues se extiende del Disco Z a la línea M donde se conecta al filamento grueso de miosina; se relaciona con el retorno de largo de los sarcómeros después de su contracción o estiramiento (Friedrick *et al.*, 2012). Debido a esta característica anatómica, aunque hay duda acerca de su resistencia mecánica (Li *et al.*, 2018), la titina es la principal responsable de la tensión pasiva y para orientar la hipertrofia longitudinal del músculo (Brynnel *et al.*, 2019). Esto sucede porque la titina mantiene la integridad de los sarcómeros en descanso y actúa en el mantenimiento del correcto posicionamiento de la miosina durante la contracción muscular. Además de esto, se le atribuye una acción similar a un sensor de fuerza activo que ayuda en el control de la contracción y en el mantenimiento de la tensión muscular durante el estiramiento (Lemke y Schnorrer, 2017).

Como hay un gen responsable de la síntesis de la titina, sus isoformas son diferenciadas por el empalme celular (Linke y Hamdany, 2014). Del mismo modo, la presencia de estas isoformas varía en los músculos de acuerdo con el tipo de fibra muscular que contienen, lo que indica la especificidad de cada isoforma de titina (Cornachione *et al.*, 2016). Pero, independiente de la isoforma, la titina puede ser degradada en cualquier proceso que involucre el daño muscular y sus fragmentos pueden ser encontrados tanto en muestras de orina (Rouillon *et al.*, 2014) como en biopsias musculares (Cornachione *et al.*, 2016).

Entre los factores extrínsecos capaces de actuar sobre la flexibilidad muscular se destacan los ejercicios específicos para la ganancia de esta cualidad física. Por lo que se dividen los ejercicios de flexibilidad en dos grupos: elongación y flexibilización. Las técnicas de elongación aseguran el mantenimiento de los niveles de flexibilidad y tienen que hacer parte del entrenamiento físico de individuos sanos. Las técnicas de flexibilización, por su parte, logran el aumento de la longitud muscular a través del aumento secuencial de la cantidad de sarcómeros (Dantas, 2018).

Debido a la mayor intensidad con que se realizan las técnicas de flexibilización, se cree que este ejercicio puede influir en las isoformas proximales (T1) y distales (T2) de la titina (Pereira *et al.*, 2011). De este modo, el presente estudio tiene como objetivo comparar las cantidades porcentuales y la movilidad relativa de las isoformas T1 y T2 de la titina, después de la aplicación de un programa de elongación y de flexibilización activa y pasiva. Para ello, se ha adoptado como hipótesis nula (H0) el caso en que no haya diferencias significativas en las cantidades y porcentuales y en la movilidad relativa de las isoformas T1 y T2 de la titina, después de la ejecución de técnicas de elongación y de flexibilización activa y pasiva.

Materiales y métodos

Universo de muestreo.

Se han utilizado 51 individuos del sexo masculino (17 en cada grupo) con edades entre los 19 y 26 años, con por lo menos 6 meses de entrenamiento físico. Otra característica de los sujetos seleccionados es que nunca habían hecho uso de esteroides anabolizantes, hormona de crecimiento o cualquier tipo de droga para mejora de su rendimiento. No así, los que usaban de vitaminas, minerales o suplementos naturales. Cada uno de los sujetos respondió a un cuestionario médico que evaluó las condiciones y contraindicaciones de participación en el estudio. Todos ellos presentaban algún nivel de acortamiento muscular del cuádriceps, medido a través del protocolo LABIFIE de goniometría en la intensidad definida por la escala PERFLEX (Dantas *et al.*, 2008).

Biopsia muscular.

Se realizaron dos biopsias musculares, en la semana 0 y en la semana 16, utilizándose una técnica de biopsia percutánea de aguja con succión (Dubowitz *et al.*, 2013). Las muestras de tejido fueron obtenidas de un tercio de largo, a partir del epicóndilo lateral hasta la espina ilíaca anterior superior, en el músculo

vasto lateral anterior al tracto iliotibial (Chen *et al.*, 2019). Aproximadamente 60-75 mg de músculo esquelético de los atletas fueron recolectados y congelados para su análisis posterior.

Análisis de la titina.

Las muestras fueron seccionadas en serie, con espesura de 40 mm, utilizándose criostato y puestas en un tampón de lisina, que contenía 10% de glicerol (w/v), b-mercaptoetanol (50 g/l), 2% SDS (w/v), y 0.1% bromofenol azul en un 0.5 M Tris-HCl (pH 6.8). Posteriormente, las muestras fueron puestas a 60 °C por 1 min. El procedimiento de SDS gel poliacrilamida electroforesis (PAGE) se usó como procedimiento patrón. Las muestras (5 ml) fueron dispuestas y aceleradas utilizándose un sistema de electroforesis Mini-proteína II (Bio-Rad, Hércules, CA), utilizando el 2% de gel SDS-PAGE, reforzados con agarosa para la separación de las bandas de titina. Se utilizó un tampón patrón. La aceleración electroforética fue realizada con 7 mA/2 placas por 30 min, seguido de 15 mA/2 placas entre 2 a 3 h en temperatura ambiente (24 °C). Todo el gel fue marcado con un colorante coloidal, el marcador azul patrón de ICN Pharmaceuticals INC. (ICN, Costa Mesa, CA). El procesamiento de la imagen fue hecho usándose un escáner liso (ScanJet 4C, Hewlett Packard, Palo Alto, CA) y una macro representación gráfica del gel (ScionImage, Versión Beta 2, Frederick, MD), que posibilita el cálculo de áreas de pico integradas para cada banda, expresada en relación al área total (Dubowitz *et al.*, 2013).

Western blotting.

La identificación inicial de las cantidades porcentuales y de la movilidad relativa de las isoformas T1 y T2 de titina se hizo por patrones de migración, basándose en 2% de gel de poliacrilamida, reforzados con agarosa. Adicionalmente, con una proteína patrón se marcó la localización de la miosina en 205 Kd (Kaleidoscope Prestarined Standard, Bio-Rad). La inmunotransferencia fue usada para certificar la identificación de las bandas de titina y la transferencia por electroforesis para la membrana PtVDF se hizo a 30 V en un tampón con 192 mM de glicina, 25 mM Tris, y 20% metanol con temperatura ambiente por 12 h, usando una Mini-proteína II TransBlotCell. Se utilizó el anticuerpo primario monoclonal titin clone. La visualización de la inmunoreactividad se hizo por

medio de un anticuerpo secundario IgGgoatantimouse y un reactivo con cloro peroxidasa, 4 cloro-1-naftol horseradisch de la BioRad (Mahmood y Yang, 2012).

Programas de entrenamiento de flexibilidad.

Esta investigación se fundamenta en un estudio de tipo longitudinal de 16 semanas que engloba tres grupos, ya mencionados. Dos grupos realizaron flexibilización en los niveles 61 a 80 de la escala PERFLEX (Nodari *et al.*, 2012). El primero de ellos realizó tres series de 10 repeticiones de flexibilización activa; el segundo, tres series con 10 s de flexibilización pasiva; y el tercero se constituyó como grupo control, realizando 3 series, 3 veces en la semana de elongación activa, con 4 insistencias de 4 s de duración, en los mismos niveles de la escala PERFLEX utilizados por Soares *et al.* (2016). El intervalo entre las series de elongación fue de 4 s (Dantas, 2018). Los sujetos fueron distribuidos en los grupos, de acuerdo con la flexibilidad de los cuádriceps, asegurándose que el promedio de cada grupo no tuviera diferencias significativas.

Procedimientos estadísticos.

A través de la prueba t Student pareado (SPSS 22.0) se determinó la diferencia entre los promedios del porcentual de las isoformas T1 y T2 de titina, la diferencia entre las alteraciones porcentuales de las isoformas de titina, a causa de cada uno de los entrenamientos de flexibilidad utilizados. Así como las diferencias de los promedios de la movilidad relativa de las isoformas T1 y T2 de titina y las modificaciones porcentuales en la movilidad relativa de titina en cada grupo, antes y después del entrenamiento de flexibilidad propuesto. La prueba t Student independiente se usó para verificar la diferencia entre el efecto de cada uno de los entrenamientos de flexibilidad propuestos, sobre los promedios de la movilidad relativa de las isoformas T1 y T2 de titina. Admitiendo un nivel de significancia $\alpha = 0.05$, por lo que el rechazo de H_0 se dio siempre que p-valor < 0.05.

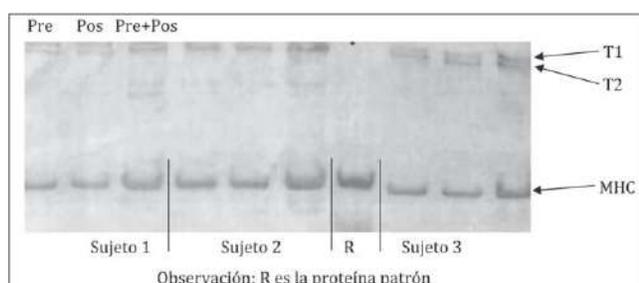
Ética del estudio.

El estudio fue realizado en la Universidad Federal del Estado de Rio de Janeiro (UNIRIO), en el mes de marzo de 2015 y fue aprobado por el Comité de Ética de dicha institución el 30 de noviembre de 2014, de acuerdo con el dictamen 1.846.335.

Resultados

La Figura 1 muestra los resultados del gel de electroforesis de poliacrilamida al 2% reforzado con agarosa para separar la titina del tipo 1 del tipo 2. En la línea superior se ve los dos tipos de titina separadamente y, en la inferior, la cadena pesada de miosina.

Figura 1. Gel de electroforesis de poliacrilamida al 2% reforzado con agarosa para separar las bandas de titina.



La identificación inicial de las cantidades porcentuales y de la movilidad relativa de las isoformas T1 y T2 de titina se hizo por patrones de migración, basándose en 2% de gel de poliacrilamida, reforzados con agarosa. Adicionalmente, con una proteína patrón se marcó la localización de la miosina en 205 Kd (Kaleidoscope Prestarined Standard, Bio-Rad). La inmunotransferencia fue usada para certificar la identificación de las bandas de titina y la transferencia por electroforesis para la membrana PtVDF se hizo a 30 V en un tampón con 192 mM de glicina, 25 mM Tris, y 20% metanol con temperatura ambiente por 12 h, usando una Mini-proteína II TransBlotCell. Se utilizó el anticuerpo primario titina monoclonal. La

visualización de la inmunoreactividad se hizo por medio de un anticuerpo secundario IgGoatantimouse y un reactivo con cloro peroxidasa, 4 cloro-1-naftol horseradisch de la BioRad (Mahmood y Yang, 2012).

Las características de los sujetos de cada uno de los grupos experimentales prueban la homogeneidad de la muestra en cada uno de ellos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características iniciales de los grupos.

Variables	Flexibilización activa	Flexibilización pasiva	Elongación
Edad (años)	22.5 ± 2.7	21.4 ± 2.3	22.8 ± 2.9
Altura (cm)	179.9 ± 9.4	181.9 ± 7.6	180.2 ± 8.2
Peso (kg)	83.7 ± 10.2	84.3 ± 12.4	83.9 ± 13.2

Tras la realización de los procedimientos ya mencionados, se obtuvieron los resultados, con las comparaciones de las concentraciones de acuerdo a promedios porcentuales de las isoformas T1 y T2 de titina antes y después de las 16 semanas de entrenamiento de flexibilidad. Así como la comparación entre los promedios porcentuales de isoformas T1 y T2 de titina antes y después del entrenamiento de flexibilidad para cada una de las técnicas de entrenamiento utilizadas (Cuadro 2 y 3).

Como se puede apreciar, los tres tipos de entrenamiento provocan modificaciones en las concentraciones de las isoformas T1 y T2. Se observa que T1 disminuyó en porcentaje con los entrenamientos, mientras T2 aumentó. Este cambio fue estadísticamente significativo para flexibilización pasiva y activa, pero sin significancia para los sujetos sometidos a técnicas de elongación (Cuadro 2).

Cuadro 2. Comparación de los promedios porcentuales de las isoformas T1 y T2 de titina antes (pre) y después (pos) 16 semanas de entrenamiento de flexibilidad.

Variables	$\bar{x} \pm s$		Delta	SE _D	t	P	Δ%	
	Pre	Pos						
T1	Flexibilización activa	67.3 ± 3.5	62.6 ± 3.4	4.7	1.18	3.98	< 0.05 *	-6.98
	Flexibilización pasiva	65.5 ± 4.0	58.1 ± 4.4	7.4	1.43	5.17	< 0.05 *	-11.30
	Elongación	56.5 ± 4.3	55.6 ± 6.3	0.9	1.84	0.48	> 0.05	-1.59
T2	Flexibilización activa	32.7 ± 3.5	37.4 ± 3.4	4.7	1.18	-3.98	< 0.05 *	14.37
	Flexibilización pasiva	34.5 ± 4.0	41.9 ± 4.4	7.4	1.43	-5.17	< 0.05 *	21.45
	Elongación	43.5 ± 4.3	44.4 ± 6.3	0.9	1.84	-0.48	> 0.05	2.07

Nota: $\bar{x} \pm s$ (promedio ± desviación estándar); SE_D (error estándar de la diferencia); t (test-t Student); * (diferencia significativa entre el promedio antes y después del entrenamiento de flexibilidad); Δ% (delta porcentual).

Por otro lado, en el grupo que realizó el ejercicio de flexibilización pasiva, en relación con el grupo que lo realizó activamente, hubo disminución en el porcentual de la isoforma T1 y aumento porcentual de la isoforma T2, ambas puntuaciones significativas (Cuadro 3).

Pero no se encontraron diferencias significativas en la disminución porcentual de la isoforma T1, tampoco en el aumento de la isoforma T2, entre los promedios de los grupos que realizaron la flexibilización pasiva y elongación. Además, los integrantes de este último grupo presentaron valores porcentuales discrepantes en relación con los demás grupos, incluso en la semana 0 (Cuadro 3).

Entre los grupos de flexibilización activa y de elongación hubo diferencias significativas, los sujetos de este último grupo presentaron tanto disminución porcentual de la isoforma T1 como aumento porcentual de la isoforma T2 (Cuadro 3).

A continuación, se muestran los resultados obtenidos (Cuadro 4) antes y después de las 16 semanas de entrenamiento de flexibilidad para la movilidad relativa de las isoformas T1 y T2 de titina. Así como los resultados obtenidos (Cuadro 5) entre la movilidad relativa de las isoformas T1 y T2 de titina antes y después del entrenamiento de flexibilidad, para cada una de las técnicas de entrenamiento utilizadas.

Cuadro 3. Comparación de los promedios porcentuales de las isoformas T1 y T2 de titina antes y después de cada uno de los métodos de entrenamiento de flexibilidad.

Variables	$x \pm s$		SE _D	T	P	Δ%
	Pre	Pos				
Flexibilización activa-pasiva	62.6 ± 3.4	58.1 ± 4.4	1.33	3.38	< 0.05 *	-7.19
T1 Flexibilización activa-elongación	62.6 ± 3.4	55.6 ± 6.3	1.72	4.06	< 0.05 *	-11.18
Flexibilización pasiva-elongación	58.1 ± 4.4	55.6 ± 6.3	1.86	1.34	> 0.05	-4.30
Flexibilización activa-pasiva	37.4 ± 3.4	41.9 ± 4.4	1.34	-3.35	< 0.05 *	12.03
T2 Flexibilización activa-elongación	37.4 ± 3.4	44.4 ± 6.3	1.72	-4.06	< 0.05 *	18.72
Flexibilización pasiva-elongación	41.9 ± 4.4	44.4 ± 6.3	1.85	-1.35	> 0.05	5.97

Nota: $x \pm s$ (promedio ± desviación estándar); SE_D (error estándar de la diferencia); t (test-t Student); * (diferencia significativa entre el promedio antes y después del entrenamiento de flexibilidad); Δ% (delta porcentual).

Cuadro 4. Comparación de la movilidad relativa de las isoformas T1 y T2 antes y después de 16 semanas de entrenamiento de flexibilidad.

Variables	$x \pm s$		Delta	SE _D	T	P	Δ%
	Pre	Pos					
Flexibilización activa	0.49 ± 0.02	0.62 ± 0.04	0.13	0.009	-14.44	< 0.05 *	26.53
T1 Flexibilización pasiva	0.48 ± 0.02	0.52 ± 0.03	0.04	0.008	5.00	< 0.05 *	8.33
Elongación	0.52 ± 0.03	0.53 ± 0.02	0.01	0.008	-1.25	> 0.05	1.92
Flexibilización activa	0.73 ± 0.02	0.81 ± 0.05	0.08	0.012	6.66	< 0.05 *	10.96
T2 Flexibilización pasiva	0.71 ± 0.02	0.79 ± 0.04	0.08	0.008	-10.00	< 0.05 *	11.27
Elongación	0.79 ± 0.06	0.80 ± 0.04	0.01	0.016	-0.62	> 0.05	1.27

Nota: $x \pm s$ (promedio ± desviación estándar); SE_D (error estándar de la diferencia); t (test-t Student); * (diferencia significativa entre el promedio antes y después del entrenamiento de flexibilidad); Δ% (delta porcentual).

Cuadro 5. Comparación de los promedios de movilidad relativa de las isoformas T1 y T2 titina antes y después de cada uno de los métodos de entrenamiento de flexibilidad.

Variables	$\bar{x} \pm s$		SE _D	T	P	Δ%	
	Pre	Pos					
	Flexibilización activa-pasiva	0.62 ± 0.04	0.52 ± 0.03	0.011	10.00	< 0.05 *	-16.13
T1	Flexibilización activa-elongación	0.62 ± 0.04	0.53 ± 0.02	0.009	10.00	< 0.05 *	-14.52
	Flexibilización pasiva-elongación	0.52 ± 0.03	0.53 ± 0.02	0.008	-1.25	> 0.05	1.92
T2	Flexibilización activa-pasiva	0.81 ± 0.05	0.79 ± 0.04	0.03	0.66	> 0.05	-2.47
	Flexibilización activa-elongación	0.81 ± 0.05	0.80 ± 0.04	0.03	0.33	> 0.05	-1.23
	Flexibilización pasiva-elongación	0.79 ± 0.04	0.80 ± 0.04	0.01	-1.00	> 0.05	1.27

Nota: $\bar{x} \pm s$ (promedio ± desviación estándar); SE_D (error estándar de la diferencia); t (test-t Student); * (diferencia significativa entre el promedio antes y después del entrenamiento de flexibilidad); Δ% (delta porcentual).

Los resultados obtenidos muestran que la isoforma T1 de titina tuvo su movilidad relativa aumentada, de forma estadísticamente significativa ($p < 0.05$), por el entrenamiento de flexibilización activa, cuando fueron comparadas la flexibilización pasiva y la elongación. Pero no hubo diferencia estadísticamente significativa ($p > 0.05$) en la movilidad relativa de la isoforma T1 en respuesta a los ejercicios de flexibilización pasiva de elongación (Cuadro 5).

De igual forma, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) entre el promedio de la movilidad relativa de la isoforma T2 de titina después de los entrenamientos de flexibilización activa o pasiva, los entrenamientos de flexibilización activo y elongación, así como en los entrenamientos de flexibilización pasiva o elongación utilizados en este estudio (Cuadro 5).

De este modo, los resultados pueden resumirse de la siguiente forma: el entrenamiento de flexibilización se mostró más efectivo ($p < 0.05$) que el de elongación para la disminución porcentual de la isoforma T1 y para el aumento de la isoforma T2; así mismo, fue más efectivo para el aumento de la movilidad relativa de las isoformas T1 y T2 de titina. El entrenamiento de elongación no presentó resultados positivos ($p > 0.05$) para alteración de los porcentuales de las isoformas T1 y T2 de titina, ni para el aumento de la movilidad de estas. La flexibilización pasiva se implicó en mayores alteraciones en los porcentuales de las isoformas T1 y T2 de titina ($p < 0.05$). Por último, la flexibilización activa fue el entrenamiento de mejor resultado ($p < 0.05$) para el aumento de la movilidad relativa de la isoforma T1 y T2 de titina.

Discusión

En este estudio se utilizó la escala PERFLEX para definir la intensidad de los ejercicios de flexibilidad propuestos sobre la respuesta de las diferentes isoformas de titina, evaluada a través de la biopsia muscular y de la técnica Western blotting (WB). La escala arriba mencionada ha sido validada por Dantas *et al.* (2008) para la valoración de la intensidad necesaria para promover alteraciones en las diferentes isoformas de titina.

Rouillon *et al.* (2014), al estudiar fragmentos de isoformas de titina en la orina de pacientes con distrofia muscular de Duchenne, analizadas por el Western blotting (WB), verificaron que seres humanos representan dos isoformas (T1 y T2), lo que corresponde al resultado de las biopsias del presente estudio, también analizados con este protocolo, de acuerdo con Lemke y Schnorrer (2017). La diferencia entre las técnicas de análisis de titina, biopsia y fragmentos en la orina, correspondieron a la naturaleza del estudio de Rouillon *et al.* (2014), en el que verificaron el uso de los fragmentos de titina en la orina como marcador de degeneración muscular.

El entrenamiento de flexibilización propuesto se mostró más efectivo que el de elongación para la disminución porcentual de la isoforma T1, aumento porcentual de la isoforma T2 y aumento de la movilidad relativa de las isoformas T1 y T2 de titina. Al mismo tiempo, la elongación no presentó resultados positivos, tanto para la alteración de los porcentuales de las isoformas T1 y T2 de titina, como para el aumento de la movilidad.

Estos resultados divergieron de lo obtenido por Apostopoulos *et al.* (2019), quienes observaron que incluso ejercicios de elongación son capaces de promover ganancias de flexibilidad muscular de extensores de rodilla. Sin embargo, en menor amplitud que la obtenida a través del entrenamiento de flexibilización. La contradicción de esto puede tener relación con el uso de una escala de valoración de la intensidad diferente de la escala PERFLEX. Estos autores tampoco verificaron si estas ganancias obtenidas por elongación se debían a cambios porcentuales o de movilidad de titina.

Además de la diferencia representada por el grupo muscular trabajado y la falta de uso de una escala de intensidad de flexibilidad, donde también hay variación de intervalo entre las series de flexibilización y elongación, el presente estudio adoptó un intervalo de 15 s para flexibilización y 4 s para elongación. Por su parte, Torres *et al.* (2008) adoptaron intervalos de 30 s entre las series de flexibilización, verificando la pérdida de la capacidad de producción de fuerza muscular en la mano, evaluada con un dinamómetro manual.

Sin embargo, este trabajo no evaluó el efecto del entrenamiento de flexibilidad o de la fuerza muscular sobre la titina. De este modo, no hay forma de establecer una relación entre los datos encontrados en el presente estudio con los eventuales efectos agudos del entrenamiento de flexibilización sobre la titina. De igual forma, no es posible verificar si la titina está relacionada a la disminución de la fuerza muscular después del entrenamiento de flexibilidad. Pero Cornachione *et al.* (2015), en su estudio con miofilamentos de conejos asociaron alteraciones de tensión estática muscular con cambios de calcio, dependientes en las propiedades de la titina que no involucrarían la interacción de la titina con la actina. Este hallazgo, sin embargo, aunque sea capaz de explicar la influencia de la titina en la pérdida de fuerza muscular tras ejercicios de flexibilidad, aún necesita ser analizado en músculos de seres humanos.

Al compararse las diferentes formas de flexibilización, se observó que este ejercicio de forma pasiva resulta en mayores alteraciones en los porcentuales de las isoformas T1 y T2 de titina. Por otro lado, la forma de entrenamiento activo ha dado

mayor resultado para el aumento de la movilidad relativa de la isoforma T1 y T2 de titina. Estos resultados corroboran en parte los observados por Medeiros y Martini (2018), quienes verificaron en su revisión diferentes efectos entre la flexibilización activa, la facilitación neuromuscular propioceptiva (FNP), y la flexibilización pasiva, sobre la amplitud de movimiento de flexores plantares. Todas las modalidades de flexibilización mejoraron la flexibilidad, pero la activa presentó resultados inferiores a la flexibilización pasiva y la FNP. De nuevo, no se analizaron los comportamientos de las isoformas de titina, lo que no permite la comparación de dicho estudio con el presente.

Además, las diferencias en la arquitectura muscular de los músculos extensores de la rodilla, cuando son comparados con los flexores plantares como el ángulo de penetración de las fibras de los gastrocnemios y el largo del tendón de inserción en el calcáneo (Martins *et al.*, 2012), que difieren mucho del músculo vasto lateral, lo que también pueden tener influencia en las diferencias con los resultados en ese estudio.

Sin embargo, no es posible definir si esos resultados obtenidos implican en un aumento de la eficiencia de la titina para retornar el sarcómero a su estado original, tras alongarse o contraerse (Friedrich *et al.*, 2012). Nuevos estudios con este objetivo son deseables.

Conclusiones

Los resultados indicaron que la flexibilización activa ha promovido más ganancia de movilidad relativa de las isoformas T1 y T2 de titina, lo que indica que este sea el ejercicio más recomendado para la mejora de este componente intrínseco de flexibilidad muscular.

El mayor aumento porcentual de la isoforma T1 de titina en función del ejercicio de flexibilización pasiva ha indicado que este tipo de ejercicio actúa sobre el componente intrínseco de la flexibilización muscular.

La ausencia de efecto de elongación sobre la concentración y movilidad relativa de las isoformas T1 e T2 de titina ha indicado que ese tipo de ejercicio no actúa sobre la proteína.

De ese modo, se ha verificado que, dentro de un programa de entrenamiento para una ganancia de flexibilidad muscular, los ejercicios preferenciales son la flexibilización activa, seguida de flexibilización pasiva. Si la idea central es el mantenimiento de flexibilidad muscular, el ejercicio de elongación es lo recomendado. De esa manera, cabe a los entrenadores elegir el ejercicio de flexibilidad que será utilizado en función de sus objetivos con su atleta.

Literatura citada

- APOSTOLOPOULOS, N. C., I. M. Lahart, M. J. Plyley, *et al.* 2018. The effects of different passive static stretching intensities on recovery from unaccustomed eccentric exercise – a randomized controlled trial. *Ap Physiol Nutr Metabolism* 43(8):806-15.
- BOSCHER, J., M. Conceição, A. de Oliveira, and E. H. Dantas. 2009. Acute effects of static stretching on muscle strength. *Biomedical Human Kinetics* 1:52-55.
- BRYNNEL, A., Y. Hernandez, B. Kiss, *et al.* 2019. Downsizing the giant titin reveals its dominant roles in skeletal muscle passive stiffness and longitudinal hypertrophy. *Biophysical Journal* 116(3-S1):403A.
- CHEN, X., S. Abbey, A. Bharmal, *et al.* 2019. Neurovascular structures in human vastus lateralis muscle and the ideal biopsy site. *Scand J Med Sci Sports* 29:504-514
- CORNACHIONE, A. S., F. Leite, M. A. Bagni, and D. E. Rassier. 2016. The increase in non-cross-bridge forces after stretch of activated striated muscle is related to titin isoforms. *Am J Physiol Cell Physiol* 310:C19-C26
- DANTAS, E. H. 2018. Alongamento e Flexionamento. 6 ed. Saraiva, Rio de Janeiro.
- DANTAS, E. H., P. Teixeira, R. Gomez de Souza, R. Simao, *et al.* 2008. Escala de esfuerzo percibido em la flexibilidad (PERFLEX): ¿um instrumento adimensional para evaluarse la intensidad? *Fit Perf J.* 7(5):289-94.
- DUBOWITZ, V. C., A. Sewry, A. Oldfors, and R. Lane. 2013. *Muscle Biopsy: A Practical Approach*, 4 ed. Saunders Ltd. 592p.
- FRIEDRICH, B. M., E. Fischer-Friedrich, N. S. Gov and S. A. Safran. 2012. Sarcomeric pattern formation by actin cluster coalescence. *PLoS Comput Biol* 8(6):e1002544.
- LEMKE, S. B. and F. Schnorrer. 2017. Mechanical forces during muscle development. *Mechanism of Development* 144:92-101.
- LI, Y., A. Unger, M. Von Frieling-Salewsky, *et al.* 2018. Quantifying the Titin Contribution to Muscle Force Generation using a Novel Method to Specifically Cleave the Titin Springs in Situ. *Biophysical Journal* 114(3):645A.
- LINKE, W. A., and N. Hamdani. 2014. Gigantic business: titin properties and function through thick and thin. *Circulation Research*. 114(6):1052-1068.
- MAHMOOD, T., and P. C. Yang. 2012. Western blot: Techniques, theory and trouble shooting. *North Am J MedSci*. 4:429-434
- MARTINS, N. S. F., C. C. Peixinho, and L. F. Oliveira. 2012. Confiabilidade de medidas de arquitetura muscular do tríceps sural por ultrassonografia de imagem. *Rev. Bras. Cineantropom. Desempenho Hum.* 14 (2):212-220.
- MEDEIROS, D. M., and T. F. Martini. 2018. Chronic effect of different types of stretching on ankle dorsiflexion range of motion: Systematic review and meta-analysis. *The Foot* 34:28-35.
- NODARI, R. J., L. A. dos Santos, C. J. Nogueira y E. H. Dantas. 2012. Comparação entre diferentes volumes de flexionamento sobre a força explosiva. *R. Bras. Ci. e Mov.* 20(3):72-78.
- PEREIRA, T., G. Weber, and S. Cavalcante. 2011. Influência da flexibilidad no desenvolvimento da força muscular. *Ver Bras Fisio Exercício* 10(3):132-6.
- ROUILLON, J., and A. Zocevic, *et al.* 2014. Proteomics profiling of urine reveals specific titin fragments as biomarkers of Duchenne muscular dystrophy. *Neuromuscular Disorders* 24:563-573.
- SOARES, P., V. Cabral, M. Mendes, R. Vieira, G. Avolio, and R. Gomez de Souza. 2016. Efeitos do Programa Escola de Postura e Reeducação Postural Global sobre a amplitude de movimento e níveis de dor em pacientes com lombalgia crónica. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte* 9(1):23-28. 

Este artículo es citado así:

Martin-Dantas, E. H., E. Gomes da Silva-Borges, G. Gastélum-Cuadras, M. Lourenço-Fernandes y R. Ramos-Coelho. 2019. Concentraciones y movilidad relativa de isoformas de titina después de tres distintos entrenamientos de flexibilidad.

TECNOCENCIA Chihuahua 13(1):15-23.

DOI: <https://doi.org/10.54167/tch.v13i1.304>

Resumen curricular del autor y coautores

ESTÉLIO HENRIQUE MARTIN DANTAS. Obtuvo la Licenciatura en Ciencias Militares por la Academia Militar de las Agulhas Negras (1972) y en Educación Física por la Escuela de Educación Física del Ejército (1979). Hizo Maestría en Operaciones Militares (Escuela de Perfeccionamiento de Oficiales - 1981); Educación Física (Universidad Federal de Río de Janeiro - 1985) y en Educación (Universidad del Estado de Río de Janeiro - 1986); Obtuvo el grado de Doctor en Entrenamiento Deportivo (Universidad del Estado de Río de Janeiro - 1988); Realizó tres Posdoctorados: en Psicofisiología (Universidad Gama Filho - 2001), en Fisiología (Universidad Católica San Antonio de Murcia, España - 2001) y en Biofísica (Universidad de Valencia, España - 2010). Actualmente es Profesor Catedrático del programa de Doctorado en Enfermería y Biociencias, de la Universidad Federal del Estado de Río de Janeiro (UNIRIO) y del programa de Maestría y Doctorado en Salud y Ambiente (PSA) de la Universidad Tiradentes (UNIT) - Aracaju / SE. Autor de más de 500 artículos en revistas científicas, 745 trabajos en anales de congresos y dictó 833 conferencias o cursos; a lo largo de su carrera ha formado 7 post-doctores, 50 doctores y 131 maestros. Presidente de Honor de la International Human Motricity Network (IHMN).

ELIANE GOMES DA SILVA BORGES. Tiene Maestría en Ciencia de la Motricidad Humana. Universidad Castelo Branco, UCB/RJ, Brasil. Especialización en danza y educación, Universidad Castelo Branco. (UNIRIO). Especialización en elaboración de artículos científicos. Universidad Federal del Estado de Rio de Janeiro (UNIRIO). Labora en extensión universitaria interdisciplinaria de geriatría y gerontología (Carga horaria: 360h), Universidad Federal Fluminense. Es miembro de la Asociación Brasileña de Gerontología y Geriatría (SBGG). Sectores de actividad: Educación; Actividades Recreativas, Culturales y Deportivas. Licenciatura en Educación Física, Universidad Salgado de Oliveira, UNIVERSO, Brasil. Actualmente participa en proyecto de investigación en la Universidad Federal Fluminense teniendo como línea: la autonomía, el condicionamiento físico y la calidad de vida de adultos mayores con Alzheimer. Tiene experiencia en el área de Educación, actuando principalmente en los siguientes temas: gerontología, psicomotricidad y danza. Es miembro de la International Human Motricity Network (IHMN).

GABRIEL GASTÉLUM CUADRAS. Terminó sus estudios de Licenciatura en Educación Física en la Universidad Autónoma de Sinaloa en el año de 1994, reconocido como mejor promedio de esa generación. En 1995 obtuvo su titulación por promedio. Concluyó estudios de Maestría en Ciencias del Deporte (opción Psicología) con Mención Honorífica en la defensa de tesis el año de 1998, en la Universidad Autónoma de Chihuahua. En esta misma institución estudió la Maestría en Psicomotricidad. Realizó su Doctorado en Actividad Física y Salud en la Universidad de Granada, España, concluyendo sus estudios con su defensa de tesis en el 2011, en la que obtuvo mención "Cum Laude". Labora desde 2001 en la Universidad Autónoma de Chihuahua, es Tiempo Completo Titular "C" desde el 2010, impartiendo clases en todos los niveles. Actualmente es parte del Núcleo Básico del Programa Doctoral en Ciencias de la Cultura Física, con dos tesis doctorales dirigidas concluidas y tres más en proceso, con más de 30 tesis de grado de maestría. Es autor y/o coautor de al menos 20 artículos científicos, ha participado como ponente en más de 10 congresos nacionales e internacionales. Actualmente pertenece al Sistema Nacional de Investigadores (SNI, Nivel I). Es miembro activo del Consejo Mexicano para la Acreditación de la Enseñanza de la Cultura de la Actividad Física, A.C. Es Director Académico de la International Human Motricity Network (IHMN).

MAURA LOURENÇO FERNANDES. Tiene Maestría en Ciencia de la Motricidad Humana (2007), es Pos-graduada en Fisiología del ejercicio y sus bases nutricionales (2002) y graduada en Educación Física (2000). Actualmente es profesora de Entrenamiento Físico Militar en la Academia de la Policía Militar de MG. Trabaja en la Fuerza Aérea Brasileña (FAB) como Oficial en Jefe de la Sección de Educación Física del CIAAR. Trabaja como evaluadora de pacientes y en prescripción de actividad física, Personal Trainer. Experiencia como Profesora de la Universidad, principalmente con las disciplinas teórico-práctica en evaluación física, actividad física adaptada, educación física escolar, fisiología del ejercicio, entrenamiento deportivo, metodología de enseñanza. Salud y calidad de vida, Dermatoglifia, prácticas supervisadas, orientación de monografías y artículos. Tiene un gran número de trabajos publicados. Experiencia como profesora en cursos de postgrado y simposios, profesora de Educación Física escolar y aplicadora de prueba física en concursos públicos. Esa miembro de la Comisión Propia de Evaluación (CPAI) de la APM MG y miembro investigador del laboratorio de ciencia de la motricidad Humana de la UNIRIO.

RENATO RAMOS COELHO. Obtuvo la graduación en Fisioterapia por la Universidad Federal de Minas Gerais (2000) y en Ingeniería de Producción por el Centro Universitario Claretiano (2018). Hizo Maestría en Motricidad Humana (Universidad Castelo Branco - 2006); Obtuvo el grado de Doctor en Ciencia en Ingeniería (Universidad Federal de Río de Janeiro - 2015). Actualmente es Fisioterapeuta del Ayuntamiento Municipal de Contagem e investigador en el Laboratorio del Biociencia de la Motricidad Humana (LABIMH). Autor de 9 artículos en revistas científicas, 21 trabajos en anales de congresos y dictó 15 conferencias o cursos. Director Técnico de la Nomus Consultoría en Salud e Seguridad del Trabajo.