

Article

Efectos Agudos de un Ejercicio de Estiramiento y Vibración Mecánica en los Isquiotibiales

Sara A. Rodrigues¹, André S. Rabelo^{1,2}, Bruno P. Couto¹, Daisy Motta-Santos¹, Marcos D. M. Drummond¹, Reginaldo Gonçalves¹, Ronaldo A. D. Silva¹ y Leszek A. Szmuchrowski¹

¹Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Belo Horizonte, Brasil

²Universidade Federal de Maranhão - UFMA, São Luís, Brasil

RESUMEN

Este estudio comparó las respuestas agudas de ROMmáx, Torquemáx, ROMpse, Torquepse, Rigidez Muscular y Energía en el estiramiento estático pasivo de los isquiotibiales, la vibración mecánica de los isquiotibiales y una combinación de ambos. Doce sujetos masculinos (media $\pm$ DE, 22,3 $\pm$ 1,9 años, 176 $\pm$ 3 cm de altura, 77,3 $\pm$ 9,0 kg de masa) no entrenados en flexibilidad fueron voluntarios para participar en esta investigación. El estudio fue de diseño cuadrado latino con todos los sujetos que completaron cuatro condiciones: (a) control (CON); - ninguna intervención; (b) estiramiento (ES) - 4 x 30 seg de estiramiento estático pasivo de los músculos isquiotibiales al 90% del ROMmáx; (c) vibración (VIB) - 4 x 30 seg episodios de vibración aplicados a los músculos isquiotibiales; y (d) estiramiento con vibración (ES + VIB) - una combinación de los protocolos de estiramiento y de vibración. El rendimiento de las variables se evaluó utilizando una Flexmachine antes y después de las condiciones experimentales. Los resultados no mostraron diferencias significativas entre las condiciones de ROMmáx, Torquemáx, ROMpse y Torquepse ($P > 0,05$). Hubo una disminución significativa en ES entre la basal y después de la intervención para la Rigidez Muscular ($P = 0,007$) y la Energía ($P = 0,0024$). El entrenamiento convencional y el uso de la vibración, como se especifica en este estudio, no mejoraron las adaptaciones de los sujetos al entrenamiento de la flexibilidad. Sin embargo, para la Rigidez Muscular y la Energía, el entrenamiento convencional parece reducir ambas en comparación con la vibración mecánica.

Palabras Clave: Flexmachine, Vibración Mecánica, Estiramiento

INTRODUCCIÓN

La flexibilidad se considera un componente importante del rendimiento físico de un atleta. Es un requisito para un buen rendimiento en varias modalidades deportivas como la gimnasia artística, el taekwondo y el buceo (7,8,33).

La evaluación de las adaptaciones en el entrenamiento de flexibilidad generalmente se realiza a través de la medición del rango de movimiento (ROM) en una articulación (28). Sin embargo, las adaptaciones tienen un carácter multidimensional, y la medida aislada del ROM representa sólo una de las dimensiones (32). También es necesario conocer el área de la sección transversal del músculo elongado, la tensión aplicada al tejido y el tiempo durante el cual se aplicó la tensión.

La mejora aguda de la flexibilidad se basa en teorías mecánicas y sensoriales (29,32). Una explicación mecánica para la

mejora de la flexibilidad es la deformación viscoelástica (6). Otra explicación mecánica es la relajación neuromuscular (32). Sin embargo, la teoría sensorial justifica la mejora del ROM aumentando la capacidad del individuo para tolerar el dolor (25) que modifica la sensación de incomodidad al estiramiento (22,32).

La mejora de la flexibilidad suele ser el resultado del estiramiento de los músculos utilizando diferentes técnicas (8). La facilitación neuromuscular propioceptiva (FNP) y el estiramiento estático pasivo son las dos técnicas de estiramiento más utilizadas en el atletismo y la práctica clínica (12,26). Otro método que ha demostrado mejorar la flexibilidad es el uso de vibraciones mecánicas (7, 11, 18). El uso de la vibración mecánica durante el entrenamiento de flexibilidad ha sido verificado por numerosos estudios (1,4,7,17,18,28,30) desde los años setenta, y se ha aplicado de dos maneras: vibración de todo el cuerpo (VTC) y vibración localizada (VL).

Algunas hipótesis pueden explicar la ganancia en el ROM cuando el músculo está expuesto a vibraciones mecánicas (3,11,17,18), como el umbral de dolor aumentado, la temperatura del tejido y la relajación de los músculos estirados inducidos por vibración. Sin embargo, las metodologías empleadas en los estudios de flexibilidad no pueden probar o refutar las hipótesis. No hay relación entre causa y efecto, ya que no miden parámetros y variables suficientes.

Encontramos sólo dos estudios que analizaron otra adaptación al entrenamiento de flexibilidad además del ROM. Cronin et al. (5) y Herda et al. (16) también evaluaron la rigidez y no encontraron cambios significativos en el grupo que fue expuesto a la vibración mecánica. Estos estudios son contrarios a los resultados de los estudios de Atha y Wheatley (1); Fagnani et al. (7); Kinser et al. (19); Sands et al. (28); Sands et al. (27), dado que no identificaron una mejora significativa en el ROM.

Es posible que la vibración mecánica mejore la flexibilidad. Sin embargo, hay dos deficiencias importantes. La primera es una investigación que cubre las diferentes dimensiones de las adaptaciones de la unidad músculo-tendinosa (UMT) al entrenamiento de flexibilidad, cuando está asociada con la exposición a vibraciones mecánicas, que aún no se ha llevado a cabo. La segunda deficiencia son las metodologías utilizadas en estudios previos. No permiten la conclusión de que la aplicación de la vibración mecánica es más eficiente en la mejora de la flexibilidad en comparación con el entrenamiento convencional.

Por lo tanto, el propósito de este estudio fue investigar las respuestas agudas de los músculos posteriores del muslo que resultan del estiramiento estático pasivo en asociación con la vibración mecánica. Para este propósito evaluamos: Rango de Movimiento Máximo (ROMmáx), Torque Máximo (Torquemáx), Primera Sensación de Estiramiento en el Rango de Movimiento (ROMpse), Primera Sensación de Estiramiento en el Torque (Torquepse), Rigidez Muscular y Energía en el estiramiento estático pasivo de los músculos posteriores del muslo en cuatro condiciones: (a) control (CON); - ninguna intervención; (b) estiramiento (ES) - 4 x 30 seg de estiramiento estático pasivo de los músculos isquiotibiales al 90% del ROMmáx; (c) vibración (VIB) - 4 x 30 seg episodios de vibración aplicados a los músculos isquiotibiales; y (d) estiramiento con vibración (ES + VIB) - una combinación de los protocolos de estiramiento y de vibración. También investigamos si la aplicación de vibraciones mecánicas aisladas puede mejorar la flexibilidad en comparación con el estiramiento estático pasivo de los músculos posteriores del muslo.

MÉTODOS

Sujetos

Doce hombres sanos ($22,15 \pm 0,50$ años de edad, masa corporal $76,52 \pm 2,56$ kg, peso de la pierna $30,85 \pm 1,49$ N, no involucrados en ninguna actividad de entrenamiento de flexibilidad y de fuerza de miembros inferiores en los últimos 12 meses) participaron voluntariamente en este estudio. Todos los sujetos fueron plenamente informados de la naturaleza del estudio. Firmaron declaraciones de consentimiento y sabían que podían retirarse del estudio en cualquier momento. Este proyecto fue aprobado por el Comité de Ética en Investigación de la Universidad Federal de Minas Gerais con el número CAAE: 02556212.9.0000.5149.

Diseño Experimental

El presente estudio se caracteriza como de tipo experimental, utilizando un diseño con medidas repetidas, y las situaciones experimentales se distribuyen en cuadrado latino 4X4.

Procedimientos Experimentales

Todas las sesiones se llevaron a cabo a la misma hora del día para minimizar los efectos de las variaciones de temperatura durante el día. La primera situación experimental se realizó con un mínimo de 24 horas y un máximo de 48 horas después de la sesión de familiarización. Entre las sesiones experimentales, se adoptó un intervalo de 5 días para garantizar la no

interferencia de la situación anterior (31).

En la sesión de familiarización, se realizaron mediciones antropométricas (masa corporal en kg y altura en cm, balanza Filizola con estadiómetro - precisión de 0,1 kg y 0,5 cm, respectivamente) para caracterizar la muestra y medir la masa de la pierna-pie, para la corrección del torque por gravedad. Cada sujeto se colocó en el dispositivo isocinético llamado Flexmachine (Figura 1), y se registraron todos los ajustes realizados en el posicionamiento del sujeto en el dispositivo para días posteriores de secciones experimentales (goniómetro digital - Bosch, DWM 40 L).

A los sujetos se les indicó cómo operar la Flexmachine: (a) presione el botón de inicio y el brazo mecánico sube; (b) presione el botón para registrar la primera sensación de estiramiento (pse); (c) llegada al ROM máximo; y (d) presione el botón para bajar. Este procedimiento se denominó la Maniobra de Estiramiento (24). Cada maniobra de estiramiento duró aproximadamente 30 segundos (15 segundos para ascender y 15 segundos para descender). Las velocidades de ascenso y descenso del brazo mecánico se fijaron en 5°/seg (15). Cuando el sujeto demostró que entendía cómo manejar correctamente el equipo y su formato de curva torque versus ROM estaba dentro del estándar, se consideró que el sujeto estaba familiarizado con el procedimiento.

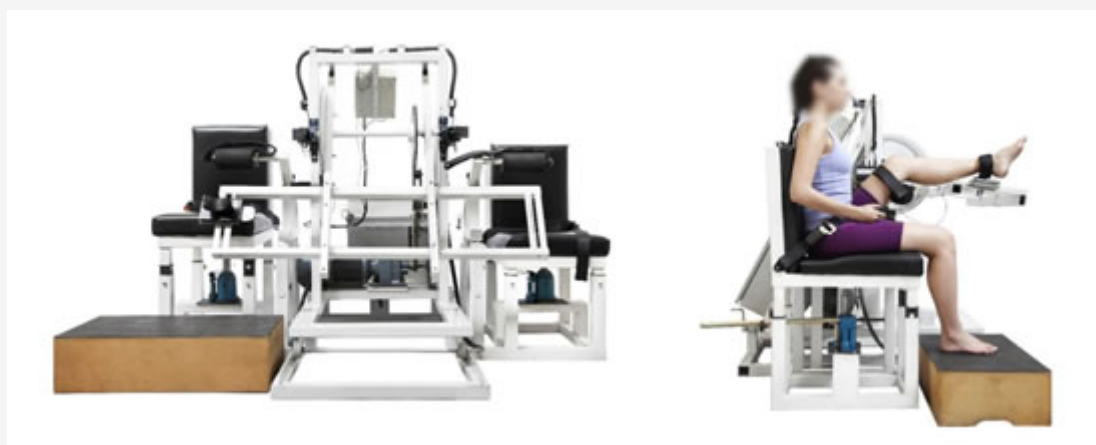


Figura 1. Flexmachine. Fuente: Archivo de fotos de BIOLAB-CENESP

Sesión de Control (CON)

La sesión de control se dividió en tres momentos: comienzo, reposo y prueba-posterior. Al comienzo y en la prueba-posterior, el sujeto se colocó en la Flexmachine siguiendo el posicionamiento establecido durante la familiarización. Cada sujeto realizó la Prueba de Maniobras de Estiramiento tres veces. En reposo, el sujeto permaneció sentado durante 4 minutos (tiempo similar para realizar las diferentes situaciones experimentales). Después de este intervalo, el sujeto fue reposicionado en la Flexmachine y realizó la prueba-posterior. Cada sujeto tuvo autocontrol. Con el fin de recoger los momentos del comienzo y de la prueba-posterior, los sujetos usaron una venda en los ojos para evitar establecer un punto visual para determinar el ROM_{máx}. Durante la Maniobra de Estiramiento, el investigador siempre le dio al sujeto la siguiente orientación: "Recuerda que debes ir a ROM Máximo." El segundo evaluador controló la computadora que registró los valores de ROM_{máx}, Torquemáx, ROM_{pse} y Torque_{pse}. El evaluador también determinó si la Prueba de Maniobra de Estiramiento era válida examinando las curvas del ROM y el torque.

En las demás situaciones experimentales, los procedimientos adoptados para los momentos del comienzo y prueba-posterior fueron idénticos a los de la sesión de control. Entre estos momentos, los sujetos ejecutaron cada una de las intervenciones experimentales.

Intervenciones Experimentales

Situación Experimental 1 (ES) - Estiramiento

El miembro inferior derecho de cada sujeto fue sometido a estiramiento estático pasivo de los músculos posteriores del muslo. El protocolo de estiramiento consistió en 4 series de 30 segundos, manteniendo el 90% del ROM_{máx} encontrado al comienzo. Cada maniobra de estiramiento duró aproximadamente 30 segundos (15 segundos para ascender y 15 segundos para descender).

Situación Experimental 2 (VIB) - Vibración

El miembro inferior derecho de cada sujeto fue sometido sólo a vibraciones mecánicas. La forma del estímulo vibratorio utilizado fue $f = 30$ Hz y amplitud de 3 mm (7,23,36). La aplicación de la vibración fue directa al vientre muscular de los músculos posteriores del muslo. El estímulo vibratorio se aplicó durante 4 series de 30 segundos, con intervalo de 30 segundos entre los estímulos, tiempo análogo al estiramiento muscular en ES. El sujeto fue colocado en una silla construida para el presente estudio, que imita los ajustes permitidos en la Flexmachine (Figura 2). Esta silla había adaptado un dispositivo vibratorio para la ejecución del entrenamiento con vibración mecánica. Por lo tanto, el sujeto estaba sentado, manteniendo sólo 45° de flexión de cadera del miembro a ser entrenado y apoyando la región posterior del muslo en el dispositivo vibratorio como se muestra en la Figura 2 (A, B y C). El voluntario fue instruido para relajar el miembro inferior derecho durante la intervención.



Figura 2. Silla Vibradora (A: Vista frontal, B: Vista lateral, *Dispositivo Vibratorio, C: Posición del Sujeto, D: Estiramiento mediante Flexmachine).

Intervención Experimental 3 (ES + VIB) - Estiramiento con Vibración

Cada sujeto fue sometido simultáneamente al estiramiento con vibración mecánica. La silla descrita se usó para estirar al sujeto en una posición que imitaba la posición de evaluación en la Flexmachine. Con el sujeto correctamente posicionado, la pierna del miembro a ser entrenado se colocó en un soporte unido a un cable de acero, el cual pasó a través de una polea (Figura 2D) controlada por un trinquete manual que permitía que la extremidad fuera llevada por el investigador hacia el ROM de entrenamiento. Se utilizó un electrogoniómetro (Sistema EMG) para monitorizar el ROMmáx a ser alcanzado durante la intervención (90% del ROMmáx encontrado en el pre-test). El miembro inferior del sujeto fue elevado a este ROM determinado por el investigador con una velocidad menor o igual a $5^\circ/\text{seg}$ (15). La velocidad se controló utilizando el programa DasyLab 11.0 (DasytecDaten System Technik GmbH, Alemania).

Análisis Estadístico

El Rango de Movimiento Máximo (ROMmáx), el Torque Máximo (Torquemáx), la Primera Sensación de Estiramiento en el Rango de Movimiento (ROMpse), y la Primera Sensación de Estiramiento en el Torque (Torquepse), utilizados para el análisis de datos fueron la media de tres Maniobras de Estiramiento realizadas y se expresaron como media $\pm$ DE (31). La rigidez utilizada para el análisis de los datos se calculó mediante la relación entre la variación del torque y el ROM, ambos registrados durante la maniobra de prueba. La curva torque versus ROM se dividió en tres tercios y sólo se tomó la tercera para el análisis de datos, ya que es la porción más lineal de la curva. La energía utilizada para el análisis de datos se calculó por la integral del área por debajo de la curva torque versus ROM.

La normalidad de todos los datos se verificó mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Para la comparación de las situaciones experimentales, se realizó un ANOVA bidireccional entre el comienzo y después de las intervenciones. Si había una diferencia significativa, se utilizaba un *post hoc* de Tukey. El nivel de significación se estableció en $P < 0,05$. Para el análisis estadístico de los datos, se utilizó el GraphPad Prism 7.0.

RESULTADOS

No se encontraron diferencias en los valores basales entre todas las situaciones (CON, ES, VIB y ES + VIB), considerando todas las variables observadas (ROM_{máx}, Torquemáx, ROM_{pse}, Torque_{pse}, Rigidez Muscular y Energía). La Tabla 1 (Comienzo/Después-Intervención) demuestra la media y la desviación estándar de los valores absolutos para cada una de las variables analizadas en las cuatro situaciones.

Tabla 1. Variables al Comienzo y Después de las Intervenciones (media $\pm$ DE).

Variables		CONTROL	ESTIRAMIENTO	VIBRACIÓN	ESTIRAMIENTO + VIBRACIÓN
ROM _{máx} (°)	Comienzo	104.19 $\pm$ 12.92	103.89 $\pm$ 13.76	106.25 $\pm$ 11.42	107.49 $\pm$ 11.86
	Después Int.	111.30 $\pm$ 12.95	110.78 $\pm$ 14.29	114.16 $\pm$ 11.31	113.66 $\pm$ 12.60
Torque _{máx} (Nm)	Comienzo	76.87 $\pm$ 17.45	75.83 $\pm$ 18.27	78.47 $\pm$ 17.03	77.13 $\pm$ 21.87
	Después Int.	83.05 $\pm$ 17.34	77.86 $\pm$ 18.97	85.27 $\pm$ 17.45	81.65 $\pm$ 18.72
ROM _{pse} (°)	Comienzo	71.82 $\pm$ 9.66	71.23 $\pm$ 10.19	71.17 $\pm$ 12.07	71.82 $\pm$ 10.27
	Después Int.	76.84 $\pm$ 9.45	75.00 $\pm$ 8.06	79.94 $\pm$ 9.93	78.53 $\pm$ 10.28
Torque _{pse} (Nm)	Comienzo	31.02 $\pm$ 11.10	31.68 $\pm$ 9.02	32.90 $\pm$ 11.55	32.24 $\pm$ 12.49
	Después Int.	34.02 $\pm$ 10.91	27.87 $\pm$ 9.08	38.81 $\pm$ 13.10	35.38 $\pm$ 10.30
Rigidez Muscular (Nm/°)	Comienzo	0.98 $\pm$ 0.19	0.97 $\pm$ 0.20	0.95 $\pm$ 0.17	0.93 $\pm$ 0.25
	Después Int.	0.89 $\pm$ 0.18	0.83 $\pm$ 0.13 [#]	0.90 $\pm$ 0.17	0.90 $\pm$ 0.16
Energía (Nm*°)	Comienzo	778.92 $\pm$ 176.57	811.75 $\pm$ 311.31	911.96 $\pm$ 298.92	882.04 $\pm$ 355.56
	Después Int.	712.25 $\pm$ 211.16	599.04 $\pm$ 222.03 [#]	801.13 $\pm$ 247.64	738.67 $\pm$ 92.41

ROM = Rango de movimiento; *pse* = Primera sensación de estiramiento; *máx* = Máximo; *DE* = desviación estándar; # Diferencia significativa entre el comienzo y después de la intervención, *P* < 0,05

No se encontraron diferencias estadísticas entre el comienzo y el después de las intervenciones en ROM_{máx}, ROM_{pse}, Torquemáx y Torque_{pse} para todas las situaciones (CON, ES, VIB y ES + VIB). Las variables Rigidez Muscular (*P* = 0,007) y Energía (*P* = 0,0024) mostraron diferencias estadísticas entre el comienzo y el después de la intervención ES. La Rigidez Muscular y la Energía presentaron una disminución después de la intervención (Tabla 1).

DISCUSIÓN

El propósito del presente estudio fue investigar la influencia aguda de la vibración mecánica en las adaptaciones agudas al estiramiento estático pasivo de los extensores de cadera. El primer estudio (1) utilizando la vibración mecánica como una forma de intentar maximizar las ganancias en flexibilidad comparó los efectos del uso de la vibración aislada y el estiramiento convencional de los flexores de cadera. El presente estudio no encontró ganancias en flexibilidad con

vibración mecánica. Es importante destacar que las características del estímulo vibratorio aplicado por Atha y Wheatley (1) son diferentes de las utilizadas en el presente estudio y, por lo tanto, pueden ser una razón para la falta de concordancia.

Kinser et al. (19) investigaron el efecto de la aplicación de la vibración aislada para mejorar el ROM_{máx}. Aplicaron la vibración a los cuádriceps y evaluaron la flexibilidad de los isquiotibiales utilizando el rendimiento de las gimnastas en el movimiento de apertura anterior de piernas. Los resultados demostraron un aumento del 9,1% en flexibilidad en la pierna derecha y un 10% en la pierna izquierda. Sin embargo, en el presente estudio el grupo muscular que recibió el estímulo vibratorio fue el mismo que el que se evaluó para la flexibilidad. Curiosamente, el estudio de Kinser y colegas (19) evaluó la flexibilidad de los músculos del muslo posterior cuando, de hecho, el cuádriceps sintió el estímulo vibratorio. En efecto, el estímulo vibratorio es antagónico al movimiento usado para evaluar la flexibilidad de las gimnastas, lo que hace difícil establecer una relación entre los resultados encontrados.

El estudio de Cronin et al. (5) también investigó si la exposición a la vibración aislada conduciría a un aumento del ROM de extensión de rodilla. Si bien el estímulo vibratorio fue similar al diseño del presente estudio en el que no se encontró mejoría en la intervención ES, ellos encontraron una mejoría del 2% en la flexibilidad en la situación de estiramiento y ninguna mejoría en la flexibilidad después de la exposición a la vibración mecánica aislada.

En cuanto a las conclusiones de Sands et al. (27) y Sands et al. (28), demostraron un aumento significativo en el ROM_{máx} de los sujetos después del entrenamiento con vibración. La explicación de esta diferencia entre sus estudios y el presente estudio puede deberse a la diferencia en la muestra. Sands y colegas (27,28) realizaron sus estudios con gimnastas entrenados en flexibilidad que pudieron haber contribuido al aumento en el rendimiento de los mismos.

Los resultados de este estudio no encontraron una diferencia significativa en el Torquemáx. Esta variable está estrechamente vinculada al ROM_{máx}, ya que cuanto mayor es el ROM de una articulación, más tejido que rodea esta articulación se estira y, por tanto, mayor es el torque de resistencia que producen los tejidos. Entonces, si hubo un ROM_{máx} mayor para cualquier situación experimental, uno esperaría un Torquemáx más alto.

En el presente estudio, se analizó ROM_{pse} y Torque_{pse} en un intento de registrar posibles cambios en la tolerancia al estiramiento de los sujetos (13,14). Después del entrenamiento de flexibilidad, se espera que haya un aumento significativo en ROM_{pse} y Torque_{pse}. Esto significa que el sujeto (o atleta) comienza a sentir el estiramiento que tiene lugar durante un mayor ROM después del entrenamiento y, en consecuencia, el torque en ese punto también sería mayor. Los resultados del presente estudio indican que en todas las situaciones, excepto la situación ES, el estímulo aplicado fue suficiente para generar un aumento de ROM_{pse} y Torque_{pse} como se esperaba y, sin embargo, no hubo diferencias significativas entre el comienzo y el después de las intervenciones.

La rigidez muscular es la segunda variable más investigada además del ROM cuando se trata de entrenamiento de flexibilidad. Una reducción en la rigidez, tal como se identifica mediante la reducción de la pendiente de la curva ROM versus torque, conduciría a un aumento en el ROM conseguido por la articulación (31). Por lo tanto, mientras Babaei et al. (2) señalan que todavía no hay consenso de que el entrenamiento de la flexibilidad conduzca a una reducción de la rigidez muscular, los resultados del presente estudio demuestran que hubo una disminución significativa de la rigidez muscular en la intervención ES. Resultados similares también se encontraron como un efecto agudo del entrenamiento de flexibilidad en un estudio de Lundeborg y colegas (21). Sin embargo, este resultado es contrario a los hallazgos de otros estudios (15,23,25) que no observaron reducción en la rigidez muscular. Estas diferencias pueden deberse a la configuración del estímulo de entrenamiento como intensidad y duración.

Además de una serie de otras mediciones, Herda et al. (16) examinaron los efectos agudos de 20 min de estiramiento pasivo versus 20 min de vibración. Ellos encontraron que el rango de movimiento pasivo se incrementó en un 19% y la rigidez músculo-tendinosa disminuyó un 28% después del estiramiento pasivo, pero no cambió después de la vibración. Sus resultados son similares con lo que se encontró en el presente estudio, en particular la disminución de la rigidez muscular después de la intervención de estiramiento.

Con el fin de obtener la energía absorbida por la unidad músculo-tendón, se midió el área por debajo de la curva torque versus ROM (10). Dado que hubo una diferencia significativa en la rigidez muscular en el presente estudio, se esperaba que hubiera una diferencia en la energía de los sujetos. Esta expectativa se confirmó. Hubo una disminución significativa de la energía después de la intervención ES ($P = 0,0024$). Esta reducción se produjo de forma similar al informe de Magnusson (21), que también analizó sólo un tercio de la curva torque versus ROM (21). En cuanto a la comparación de las intervenciones VIB y ES + VIB, no se encontraron estudios que evaluaran estas variables después del entrenamiento de flexibilidad.

Para justificar los efectos de la vibración en las adaptaciones estructurales que se producen con mejoras en la flexibilidad, Atha y Wheatley (1) sugieren que se produce alguna inhibición de las fibras aferentes tipo II. Por lo tanto, es probable que una mayor amplitud de vibración aplicada en este estudio puede haber influido en la respuesta. Ya que el estímulo

vibratorio se caracteriza no sólo por la frecuencia sino también por la amplitud de la vibración, y que cuando ambos se combinan, generan diferentes aceleraciones en el tejido expuesto.

Además, una de las justificaciones para la mejora de la flexibilidad promovida por la vibración es el potencial efecto analgésico (o calmante) del estímulo de vibración que aumenta el umbral del dolor (17,19,20,27,30). Este efecto analgésico podría ser identificado a través del ROMpse y el Torquepse, pero no se observó respuesta en el presente estudio.

Otro mecanismo que la vibración puede redefinir es el límite de movimiento y la posición de los mecanorreceptores, permitiendo así un ROM mayor por medio de la propiocepción alterada (27). Sin embargo, según Weerakkody et al. (30), esta propiocepción alterada se observó sólo a frecuencias más altas, que es diferente de la utilizada en el presente estudio.

La vibración mecánica es capaz de aumentar la temperatura del tejido más rápidamente que los ejercicios de calentamiento (9), lo cual sería una de las principales formas de reducir la rigidez muscular (2). Sin embargo, a pesar de la hiperemia local observada en los sujetos expuestos a la vibración, el presente estudio no tenía herramientas capaces de medir el cambio en la temperatura intramuscular generado por la aplicación del estímulo vibratorio. Puede ser que 30 Hz no generen un aumento de la temperatura capaz de cambiar las variables relacionadas con la flexibilidad.

Otras posibles consideraciones que pueden haber interferido con la falta de confirmación de las respuestas esperadas en este estudio son: (a) la inexperiencia de los sujetos con flexibilidad que hizo difícil determinar su ROM máximo; (b) el uso del 90% del ROM máximo puede haber sido insuficiente para promover alteraciones de estiramiento en los sujetos; y (c) la falta de familiarización de los sujetos con la Flexmachine que distrajo de la correcta ejecución de las maniobras de estiramiento para alcanzar el ROM máximo.

CONCLUSIÓN

Los resultados del presente estudio muestran que las respuestas agudas de ROMmáx, Torquemáx, ROMpse y Torquepse se manifiestan de manera similar después del estiramiento estático pasivo de los músculos posteriores del muslo, después de la vibración mecánica y después de una combinación del estiramiento estático pasivo de los músculos posteriores del muslo asociado a la vibración mecánica. Las variables Rigidez Muscular y Energía disminuyeron significativamente después del estiramiento estático pasivo de los músculos posteriores del muslo. Además, la aplicación de vibraciones mecánicas aisladas no parece mejorar la flexibilidad cuando se compara con el estiramiento estático pasivo de los músculos posteriores del muslo.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a la “Fundação de Amparo á Pesquisa do Estado de Minas Gerais” (FAPEMIG) y la “Pró Reitoria de Pesquisa da UFMG” por su notable apoyo en este artículo.

Dirección de correo: Professor Leszek Antoni Szmuschowski, Laboratory of Load Evaluation. Physical Education School, Federal University of Minas Gerais, Antônio Carlos Av. 6.627, Belo Horizonte, Brazil, Email:leszek_br@yahoo.com.br. Phone: +5531991926305.

REFERENCIAS

1. Atha J, Wheatley DW. (1976). Joint mobility changes due to low frequency vibration and stretching exercise. *Br J Sports Med.* 1976;10(1):26-34.
2. Babaei B, Velasquez-Mao AJ, Thomopoulos S, Elson EL, Abramowitch SD, Genin GM. (2017). Discrete quasi-linear viscoelastic damping analysis of connective tissues, and the biomechanics of stretching. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2017;69:193-202.
3. Bosco C, Colli R, Introini E et al. (1999). Adaptive responses of human skeletal muscle to vibration exposure. *Clin Physiol.* 1999;19(2):183-187.
4. Cochrane DJ, Stannard SR. (2005). Acute whole body vibration training increases vertical jump and flexibility performance in elite

- female field hockey players. *Br J Sports Med*. 2005;39(11):860-865.
5. Cronin J, Nash M, Whatman C. (2008). The acute effects of hamstring stretching and vibration on dynamic knee joint range of motion and jump performance. *Phys Ther Sport*. 2008;9(2):89-96.
 6. de Weijer VC, Gorniak GC, Shamus E. (2003). The effect of static stretch and warm-up exercise on hamstring length over the course of 24 hours. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2003;33(12):727-733.
 7. Fagnani F, Giombini A, Di Cesare A, Pigozzi F, Di Salvo V. (2006). The effects of a whole-body vibration program on muscle performance and flexibility in female athletes. *Am J Phys Med Rehabil*. 2006;85(12):956-962.
 8. Feland JB, Marin HN. (2004). Effect of submaximal contraction intensity in contract-relax proprioceptive neuromuscular facilitation stretching. *Br J Sports Med*. 2004;38(4):E 18.
 9. Fuller JT, Thomson RL, Howe PR, Buckley JD. (2013). Effect of vibration on muscle perfusion: A systematic review. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2013;33(1):1-10.
 10. Gajdosik RL. (2006). Relation of age and passive properties of an ankle dorsiflexion stretch to the timed one-leg stance test in older women. *Percept Mot Skills*. 2006;103(1):177-182.
 11. Gerodimos V, Zafeiridis A, Karatrantou K, Vasilopoulou T, Chanou K, Pispirikou E. (2010). The acute effects of different whole-body vibration amplitudes and frequencies on flexibility and vertical jumping performance. *J Sci Med Sport*. 2010;13(4):438-443.
 12. Haff G. (2006). Roundtable discussion: Flexibility training. *J Strength and Cond Res*. 2006; 28:64-85.
 13. Halbertsma JP, Göeken LN. (1994). Stretching exercises: Effect on passive extensibility and stiffness in short hamstrings of healthy subjects. *Arch Phys Med Rehabil*. 1994;75 (9):976-81.
 14. Halbertsma JP, van Bolhuis AI, Göeken LN. (1996). Sport stretching: Effect on passive muscle stiffness of short hamstrings. *Arch Phys Med Rehabil*. 1996;77(7):688-692.
 15. Herda TJ, Costa PB, Walter AA, et al. (2011). Effects of two modes of static stretching on muscle strength and stiffness. *Med Sci Sports Exerc*. 2011;43(9):1777-1784.
 16. Herda TJ, Ryan ED, Smith AE, et al. (2009). Acute effects of passive stretching vs vibration on the neuromuscular function of the plantar flexors. *Scand J Med Sci Sports*. 2009;19 (5):703-713.
 17. Issurin VB, Liebermann DG, Tenenbaum G. (1994). Effect of vibratory stimulation training on maximal force and flexibility. *J Sports Sci*. 1994;12(6):561-566.
 18. Jacobs PL, Burns P. (2009). Acute enhancement of lower-extremity dynamic strength and flexibility with whole-body vibration. *J Strength Cond Res*. 2009;23(1):51-57.
 19. Kinser AM, Ramsey MW, O'Bryant HS, Ayres CA, Sands WA, Stone MH. (2008). Vibration and stretching effects on flexibility and explosive strength in young gymnasts. *Med Sci Sports Exerc*. 2008;40(1):133-140.
 20. Lundeborg T, Nordemar R, Ottoson D. (1984). Pain alleviation by vibratory stimulation. *Pain*. 1984;20(1):25-44.
 21. Magnusson SP. (1998). Passive properties of human skeletal muscle during stretch maneuvers. A review. *Scand J Med Sci Sports*. 1998;8(2):65-77.
 22. Magnusson SP, Aagaard P, Nielson JJ. (2000). Passive energy return after repeated stretches of the hamstring muscle-tendon unit. *Med Sci Sports Exerc*. 2000;32(6):1160-1164.
 23. Magnusson SP, Simonsen EB, Aagaard P, Dyhre-Poulsen P, McHugh MP, Kjaer M. (1996). Mechanical and physical responses to stretching with and without preisometric contraction in human skeletal muscle. *Arch Phys Med Rehabil*. 1996;77(4):373-378.
 24. Magnusson SP, Simonsen EB, Aagaard P, Gleim GW, McHugh MP, Kjaer M. (1995). Viscoelastic response to repeated static stretching in the human hamstring muscle. *Scand J Med Sci Sports*. 1995;5(6):342-347.
 25. Magnusson SP, Simonsen EB, Aagaard P, Sørensen H, Kjaer M. (1996). A mechanism for altered flexibility in human skeletal muscle. *J Physiol*. 1996;497 (Pt 1):291-298.
 26. O'Hara J, Cartwright A, Wade CD, Hough AD, Shum GL. (2011). Efficacy of static stretching and proprioceptive neuromuscular facilitation stretch on hamstrings length after a single session. *J Strength Cond Res*. 2011;25(6):1586-1591.
 27. Sands WA, McNeal JR, Stone MH, Haff GG, Kinser AM. (2008). Effect of vibration on forward split flexibility and pain perception in young male gymnasts. *Int J Sports Physiol Perform*. 2008;3(4):469-481.
 28. Sands WA, McNeal JR, Stone MH, Russell EM, Jemni M. (2006). Flexibility enhancement with vibration: Acute and long-term. *Med Sci Sports Exerc*. 2006;38(4):720-725.
 29. Taylor DC, Dalton JD, Seaber AV, Garrett WE. (1990). Viscoelastic properties of muscle-tendon units. *The biomechanical effects of stretching*. *Am J Sports Med*. 1990;18(3): 300-309.
 30. Weerakkody NS, Mahns DA, Taylor JL, Gandevia SC. (2007). Impairment of human proprioception by high-frequency cutaneous vibration. *J Physiol*. 2007;581(Pt 3):971-980.
 31. Weir JP. (2005). Quantifying test-retest reliability using the intraclass correlation coefficient and the SEM. *J Strength Cond Res*. 2005;19(1):231-240.
 32. Weppeler CH, Magnusson SP. (2010). Increasing muscle extensibility: a matter of increasing length or modifying sensation? *Phys Ther*. 2010;90(3):438-449.
 33. Woods K, Bishop P, Jones E. (2007). Warm-up and stretching in the prevention of muscular injury. *Sports Med*. 2007;37(12):1089-1099.

Cita Original

Rodrigues SA, Rabelo AS, Couto BP, Motta-Santos D, Drummond MDM, Gonçalves R, Silva RAD, Szmuchrowski LA. Efectos Agudos de un Ejercicio de Estiramiento y Vibración Mecánica en los isquiotibiales. *JEPonline* 2017;20(4):46-57.