Article

Los Efectos a Corto y Largo Plazo del Entrenamiento de la Fuerza con Diferentes Requerimientos de Estabilidad

Atle Hole Saeterbakken, Alexander Olsen, David George Behm, Hilde Bremseth Bardstu y Vidar Andersen

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar los efectos a corto y largo plazo del entrenamiento de fuerza (RT) con diferentes requerimientos de estabilidad. Cincuenta y nueve hombres se sometieron a un período de familiarización de 3 semanas seguido de un período de entrenamiento de 7 semanas. Durante la familiarización, todos los participantes entrenaron cuatro sesiones de sentadilla con una máquina Smith, pesos libres y pesos libres parados sobre una tabla de equilibrio. Después de la semana 3, los participantes fueron asignados aleatoriamente a un programa de RT de estabilidad baja (Máquina Smith), media (Pesos Libres) o alta (Tabla de Equilibrio) y a un grupo de Control. Todos los participantes fueron evaluados pre-, luego de la semana 3 y post-intervención. Se evaluaron diez repeticiones máximas (10RM), tasa de desarrollo de fuerza (RFD), electromiografía (EMG) y contracción isométrica voluntaria máxima (MVIC) en las tres condiciones de sentadilla, además del countermovement jump (CMJ) en superficies estables e inestables, y el grosor muscular. Después de la familiarización, se observaron mayores cargas de 10RM (21,8-27,3%), MVIC (7,4-13,5%), RFD (29,7-43,8%) y CMJ (4,9-8,5%) en todas las condiciones. Entre la semana 3 y 10, el grupo de Pesos Libres y el de Tabla de Equilibrio mejoraron de forma similar las 10RM en todas las condiciones. El grupo de Máquina Smith demostró una mayor mejora en el ejercicio entrenado que los ejercicios de estabilidad media y alta. Todos los grupos de entrenamiento mostraron una mejora similar en el grosor muscular, la RFD y la MVIC. No hubo mejora del CMJ en la superficie estable, pero el grupo de Tabla de Equilibrio demostró una mejora significativamente mayor en la superficie inestable. En conclusión, el RT con requerimiento de baja, media o alta estabilidad resultó en mejoras similares en condiciones de prueba entrenadas y no entrenadas, excepto por el mayor CMJ en la superficie inestable del grupo de Tabla de Equilibrio. Sólo se observó una mayor fuerza de 10RM en el ejercicio entrenado que en el no entrenado en el grupo con requerimento de baja estabilidad. La familiarización se asoció con mejoras sustanciales en las 10RM y el CMJ, con una gran mejora asociada con requerimientos más altos de estabilidad. Estos resultados sugieren que una alta estabilidad puede aumentar la fuerza, el grosor muscular y las mediciones de fuerza explosiva de forma similar al entrenamiento con menor estabilidad.

INTRODUCCIÓN

La especificidad de la tarea o la especificidad del entrenamiento en el entrenamiento de la fuerza conducen a una mayor ganancia de la fuerza cuando las pruebas y el entrenamiento implican tareas similares [1-3]. Sin embargo, la transferencia

de la fuerza a tareas diferentes es sustancialmente menor, a pesar de la participación de grupos musculares similares (es decir, sentadillas y extensión de piernas) [1-3]. La especificidad de la tarea en el entrenamiento de la fuerza depende de la velocidad [4], la forma de contracción [1, 2] y el patrón de movimiento [5].

Los defensores de la inestabilidad en el entrenamiento de la fuerza han sugerido que las condiciones inestables podrían mejorar la coordinación, la propiocepción, el equilibrio y la activación muscular en mayor medida que las condiciones estables [6-8]. Los enfoques más utilizados para aumentar los requerimientos de estabilidad intentan aumentar los grados de libertad, como utilizar pesos libres en lugar de máquinas de entrenamiento [5, 9] o cambiar de una superficie estable a una inestable [5, 10]. Se ha argumentado que bajo condiciones inestables, los músculos involucrados darán prioridad a la estabilidad sobre la producción de fuerza [6, 8]. Los estudios que examinan los efectos agudos de la inestabilidad han demostrado una disminución de la fuerza dinámica [11], la fuerza de salida [12, 13], la tasa de desarrollo de la fuerza (RFD) [12] y la altura de salto [14] cuando se utilizan superficies inestables en comparación con superficies estables. Esto ha llevado a varios investigadores a argumentar que la inestabilidad en la fuerza puede proporcionar un estímulo sustancialmente menor para las adaptaciones del entrenamiento de la fuerza en comparación con los enfoques tradicionales [8, 15, 16].

Los estudios que examinan la inestabilidad en el entrenamiento de la fuerza no han proporcionado pruebas completas o concluyentes con respecto a la activación muscular o la transferencia de tareas a condiciones más estables [11, 15, 17, 18]. La falta de pruebas completas puede atribuirse a varias limitaciones en estudios anteriores. Por ejemplo, una familiarización mínima con las condiciones inestables antes de la prueba experimental puede favorecer las tareas realizadas en condiciones estables [10, 19]. Las diferencias en el estado de entrenamiento entre los participantes (es decir, no entrenados versus deportistas) pueden dar lugar a conclusiones diferentes que examinen una tarea similar [5, 19, 20]. Además, el uso de la intensidad absoluta en lugar de la relativa al examinar diferentes requerimientos de estabilidad puede explicar los resultados no concluyentes [11, 18, 21].

Un metanálisis sistemático [22] de 22 estudios de entrenamiento informó que el entrenamiento de fuerza inestable comparado con el estable demostró resultados inconsistentes. Algunos estudios informaron cambios inducidos por el entrenamiento a favor del entrenamiento de fuerza inestable, mientras que otros muestran mayores beneficios del entrenamiento con un entrenamiento de fuerza estable [22]. Los autores concluyeron que el entrenamiento de fuerza inestable tuvo beneficios adicionales limitados para la fuerza muscular, la potencia y el equilibrio. Además, el uso del entrenamiento de fuerza inestable versus el estable sólo se recomienda parcialmente. Sin embargo, ningún estudio ha examinado el efecto a largo plazo del entrenamiento de fuerza inestable sobre las adaptaciones morfológicas.

Sólo unos pocos estudios de intervención han examinado programas de entrenamiento de fuerza con diferentes requerimientos de estabilidad [3, 5, 10, 19, 23]. En general, estos estudios informan una mejora similar de la fuerza [10, 19, 23, 24] y una actividad electromiográfica (EMG) similar, independientemente de las prescripciones de estabilidad [5, 10]. Por ejemplo, los participantes sin experiencia en entrenamiento de fuerza entrenaron durante 7 semanas bajo condiciones de entrenamiento de fuerza estables o inestables, sin mostrar diferencias generales (es decir, fuerza de extensión de piernas, equilibrio estático y dinámico, salto en largo, shuttle run y sprint), excepto por las mayores adaptaciones de entrenamiento para el número de sentadillas realizadas (8,9%) y el test de salto con pierna derecha (6,2%) [25]. Sparkes y Behm [10] informaron que el grupo de entrenamiento inestable tendió ($p = 0,06$) a mostrar una mayor mejora en la relación de fuerza estable-a-inestable que el grupo estable. Sin embargo, estos autores sólo examinaron dos niveles de condiciones de estabilidad [10].

Más recientemente, Saeterbakken et al. [5] compararon la especificidad de la tarea y el tiempo de adaptación de los deportistas que entrenan press de banca en una máquina Smith, con mancuernas en un banco o en una pelota suiza. Los grupos que entrenaban con la pelota suiza y las mancuernas demostraron una mayor mejora con el ejercicio entrenado que con el grupo estable de máquinas Smith. Las mayores mejoras se observaron en las primeras 3 semanas para todos los grupos, pero fueron más notables para los dos grupos de entrenamiento inestable [5]. Además, Saeaterbakken et al. [5] examinaron la transferencia de la fuerza a un ejercicio no entrenado (press de banca tradicional con peso libre). La transferencia de la fuerza fue similar para el grupo estable de máquinas Smith en comparación con la mejora general en los ejercicios entrenados, pero menor para el grupo de pelota suiza y el grupo de mancuernas.

A pesar del creciente interés en el efecto de la inestabilidad en el entrenamiento de la fuerza, la mayoría de la bibliografía científica no ha examinado las adaptaciones a largo plazo, y la mayoría ha probado sólo unos pocos parámetros y no ha comparado la transferencia de la fuerza entre diferentes condiciones de estabilidad [11, 13, 24]. Por lo tanto, el propósito del estudio era doble: (1) examinar las adaptaciones a corto plazo de la EMG y las propiedades musculares (grosor muscular, fuerza muscular y mediciones explosivas) tras un período de familiarización de 3 semanas en los participantes en el entrenamiento con tres ejercicios de sentadilla a través de tres niveles de estabilidad diferentes; (2) examinar las adaptaciones a largo plazo de las propiedades musculares tras un programa de entrenamiento progresivo de fureza de 7 semanas con requerimientos bajos, medios o altos de estabilidad. Se planteó la hipótesis de que 1) durante el período de

familiarización se observaría la mayor mejora en los ejercicios con el mayor requerimiento de estabilidad y 2) en el período de intervención se observaría una mayor fuerza y mediciones explosivas para los grupos de entrenamiento con requerimientos medios y altos de estabilidad [5].

MÉTODOS

Diseño

Se utilizó un estudio aleatorio y controlado para examinar los efectos de tres ejercicios de sentadilla con diferentes condiciones de estabilidad mediante la evaluación de 10 repeticiones máximas (10RM), contracción isométrica voluntaria máxima (MVIC), RFD, countermovement jump (CMJ), grosor muscular y actividad EMG. Los tres ejercicios, realizados con un grado de inestabilidad bajo, medio o alto, consistieron en sentadillas realizadas en una máquina Smith (bajo), sentadillas con pesos libres (medio) o sentadillas con pesos libres estando parados sobre dos tablas de equilibrio (alto). Todos los participantes fueron evaluados tres veces: antes de la intervención (pre-test), después de 3 semanas (post-familiarización) y después de 10 semanas (7 semanas post-familiarización) de entrenamiento (Fig. 1). Durante las primeras 3 semanas (período de familiarización), todos los participantes entrenaron cada uno de los tres ejercicios de sentadilla. Después del test de la semana 3, los participantes fueron asignados aleatoriamente a un grupo de control o a grupos que realizaron entrenamiento dos veces por semana durante 7 semanas con un grado de inestabilidad bajo, medio o alto. Los participantes del grupo de Control se abstuvieron de todo entrenamiento de fuerza dirigido a las piernas entre el test de la semana 3 y el test de la semana 10 (post-test).

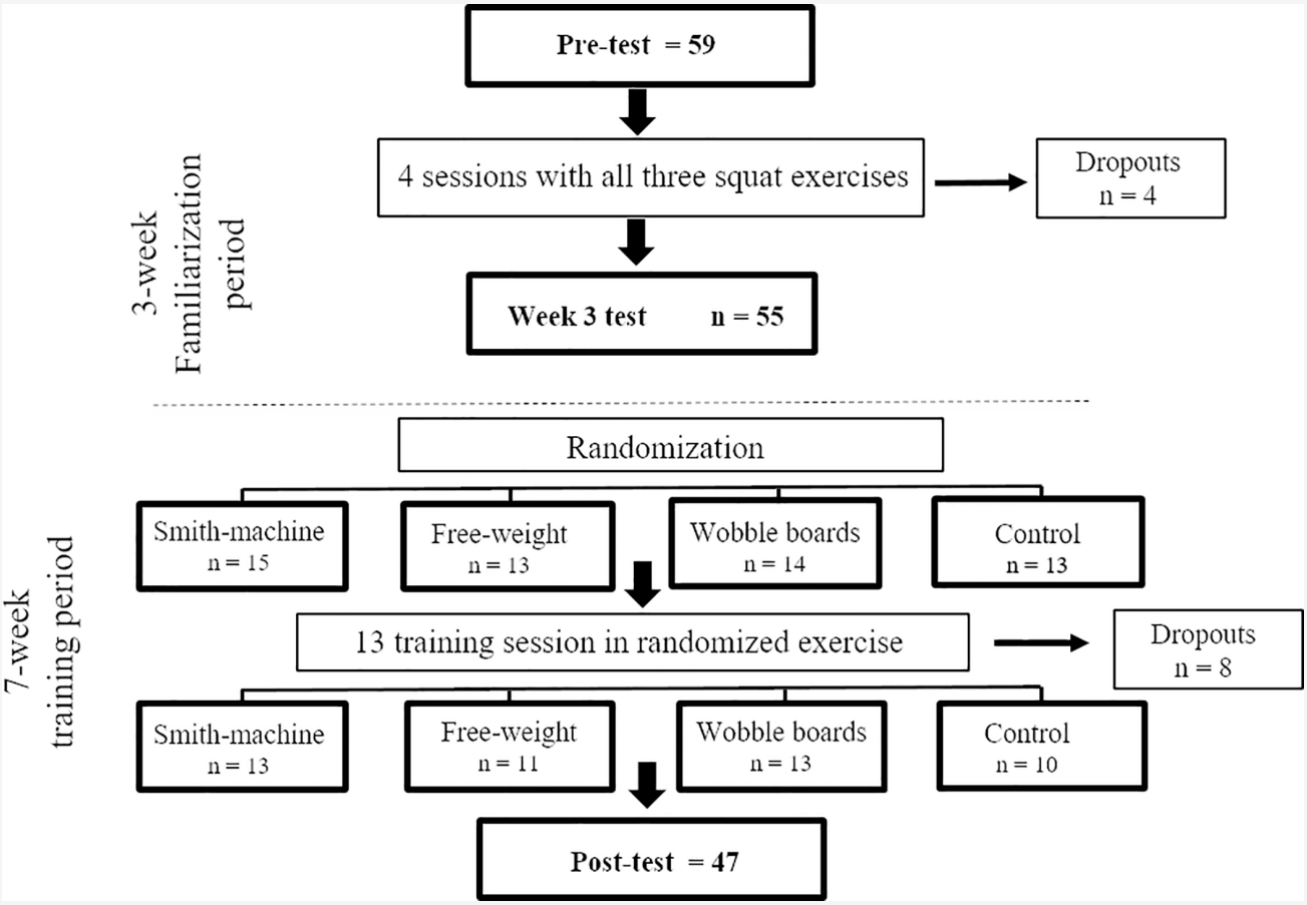

Figura 1. *Una visión general del estudio.*

https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214302.g001

Participantes

Cincuenta y nueve hombres físicamente activos y sanos se ofrecieron como participantes (22,7 ± 3,3 años, peso corporal 78,9 ± 8,4 kg, altura 180,2 ± 5,5 cm). Los participantes tuvieron un promedio de 4,7 ± 3,8 años de experiencia en el entrenamiento de la fuerza (Tabla 1), pero ninguno había realizado entrenamiento de fuerza de piernas regularmente durante los últimos seis meses (< 1 sesión por semana). Los criterios de inclusión para participar en el estudio fueron: no haber realizado un entrenamiento regular de fuerza en las piernas en los últimos seis meses, no haber podido levantar el doble de su peso corporal en sentadilla, no haber realizado una sentadilla de 90° con la técnica adecuada (ver procedimientos de prueba) y estar libre de lesiones o dolor, además de ser hombre.

Tabla 1. *Una visión general de los datos antropométricos y los años de entrenamiento de la fuerza.*

	SM# (n = 13)	FW# (n = 11)	WB# (n = 13)	CON# (n = 10)
Age (years)	23.2 ± 4.8	23.0 ± 1.8	23.6 ± 3.7	21.1 ± 1.7
Body-weight (kg)	75.9 ± 7.2	81.5 ± 9.3	78.9 ± 7.7	81.2 ± 10.9
Height (cm)	178.4 ± 7.2	182.9 ± 4.1	180.2 ± 4.6	179.8 ± 7.4
Years of resistance training	4.7 ± 4.4	4.7 ± 4.1	6.1 ± 3.5	4.4 ± 4.5

SM = Smith machine group, FW = Free weight group, WB = Free weight standing on wobble boards group and CON = control group.

https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214302.t001

https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214302.t001

Declaración de Ética

Todos los participantes fueron informados verbalmente y por escrito de los procedimientos del estudio y de los posibles riesgos. Se obtuvo el consentimiento informado por escrito de los participantes antes de la inclusión en el estudio. El estudio fue aprobado por los Comités Regionales de Salud Médica y Ética de la Investigación de Noruega (39024/3/HIT) y se ajusta a la Declaración de Helsinki (2013). El participante dio su consentimiento informado por escrito (de acuerdo con las pautas de consentimiento de PLOS) para que sus imágenes se reprodujeran en este manuscrito.

Procedimientos de Prueba

Antes de cada sesión de prueba y entrenamiento, los participantes realizaron un calentamiento estandarizado de sentadillas con peso libre que consistió en 20 repeticiones al 25% de 1RM, 10 repeticiones al 50% de 1RM y 8 repeticiones al 70% de 1RM [5]. Se utilizó 1RM auto-informada para las cargas de calentamiento antes del pre-test. Después del pre-test, se utilizó la carga más elevada levantada en el entrenamiento. Después del test de la semana 3, el calentamiento se realizó de acuerdo a la modalidad de la sentadilla del grupo (baja, media o alta inestabilidad) a la que los participantes fueron asignados al azar.

Todos los tests se realizaron durante una sesión en la que se efectuaron mediciones del grosor muscular, la MVIC, la RFD, las 10RM en cada una de las tres variaciones de sentadilla, y el CMJ en superficies estables e inestables. El grosor del músculo siempre se midió primero, pero los tests restantes eran aleatorios para evitar sesgos en el rendimiento debido a la fatiga. El orden de los tests para cada participante se realizó de forma idéntica al pre-test.

Grosor del Músculo

El grosor del músculo vasto lateral (pie dominante) de los participantes se midió mediante ecografía (LogicScan 128 EXT-1Z; Telemed, Vilnius, Lituania) antes de iniciar el procedimiento de calentamiento, y los resultados se analizaron con el software correspondiente (Echo Wave II; Telemed, Vilnius, Lituania). A los participantes se les instruyó que se acostaran decúbito supino en una posición relajada (almohada pequeña debajo de la rodilla) con las rodillas extendidas aproximadamente a 170°. El grosor se midió en el medio entre el trocánter mayor y el cóndilo lateral [26]. El grosor del músculo se determinó a partir de seis mediciones de la distancia entre la aponeurosis profunda y la superficial [26]. Se excluyeron los valores más bajos y más altos, y la media de las cuatro mediciones restantes se utilizó en análisis posteriores [26]. El coeficiente de variación (CV) del grosor del músculo fue del 1,1%.

MVIC, RFD Y EMG

Las mediciones de MVIC, EMG y RFD se realizaron durante el mismo test. Los participantes se mantuvieron con un balanceo natural en la parte baja de la espalda (curvatura lumbar), con una distancia entre los pies elegida por ellos mismos y con las rodillas en un ángulo de 90°, que fue medido manualmente a lo largo del fémur y el peroné con un transportador. Dos celdas de fuerza (Ergotest Technology AS, Langesund, Norge) se fijaron al piso, y dos bandas no elásticas ajustables se fijaron entre las celdas de fuerza y la barra para sentadilla usando la máquina Smith, pesos libres o pesos libres combinados con tablas de equilibrio (Fig. 2). Las bandas no elásticas se ajustaron para que el ángulo de la rodilla permaneciera a 90° durante el test. La altura desde la barra hasta el suelo se midió para cada condición para su uso en la semana 3 y en el post-test para asegurar condiciones idénticas. No hubo diferencias en la altura de la barra (medida desde la barra hasta el pie) entre las condiciones. A los participantes no se les permitió cambiar el ángulo de su rodilla antes de comenzar el test, y se les instruyó que presionaran la barra ligeramente hacia arriba para tensar las bandas entre la barra y las celdas de fuerza. Los participantes generaron entonces la máxima fuerza lo más rápidamente posible y mantuvieron esta máxima producción de fuerza durante al menos 3 seg [13]. Se realizaron tres intentos en cada una de las tres modalidades de sentadilla con un descanso de 2-3 minutos entre cada intento y entre cada ejercicio.

Figura 2. *Procedimientos de prueba para la RFD, EMG y MVIC con grados de baja, media y alta inestabilidad*

https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214302.g002

Los electrodos se colocaron en el vasto lateral (VL), vasto medial (VM), recto femoral (RF), bíceps femoral (BF) y sóleo (SOL) del pie dominante de acuerdo con recomendaciones actuales, guías del SENIAM y estudios previos [13, 27]. Se utilizaron puntos de referencia anatómicos para asegurar la misma colocación de los electrodos, y el mismo líder del test realizó todas las mediciones EMG. Se afeitó el vello corporal en cada uno de los lugares, luego se rasuró la piel y se lavó con alcohol antes de colocar los electrodos de superficie recubiertos de gel (Dri-Stick Silver circular sEMG Elektroder AE-131; NeuroDyne Medical, Cambridge, MA, EEUU). Para minimizar el ruido de fuentes externas, la señal EMG en bruto fue filtrada y amplificada usando un pre-amplificador ubicado lo más cerca posible del punto de captación. Las señales se filtraron a través de filtros paso alto y bajo (frecuencia de corte máxima de 8-600 Hz). Las señales EMG en bruto se convirtieron a señales de media cuadrática (RMS) utilizando un hardware de red de circuitos (constante media de 12 ms, respuesta de frecuencia de 450 kHz, error total ± 0,5%). La señal convertida a RMS se muestreó a una frecuencia de 1000 Hz utilizando un convertidor A/D de 16 bits con una tasa de rechazo común de 106 dB. La EMG se normalizó usando la mayor activación muscular en una ventana de 3 segundos. Los participantes realizaron dos contracciones isométricas voluntarias máximas para todos los músculos utilizando resistencia manual. Se les ordenó que logren la máxima fuerza lo antes posible [28]. Para el bíceps femoral, los participantes se recostaron en decúbito prono con un ángulo de rodilla de aproximadamente 45° antes de intentar realizar una flexión de rodilla. Para el cuádriceps, los participantes se sentaron en un banco con un ángulo de rodilla de 90° antes de intentar extender la rodilla. Para el sóleo, los participantes se sentaron en una silla con una flexión de 30° en el tobillo antes de intentar extenderlo. Todos los ejercicios han sido descritos en detalle en otra parte [12, 28, 29].

Las mediciones de la MVIC y de la EMG se superpusieron, y el principio y el final de los resultados de las fuerzas isométricas se identificaron utilizando el sistema MuscleLab 6000 (Ergotest Technology AS, Langesund, Norge). La MVIC se calculó como la media de la mayor fuerza de salida sobre una ventana de 2,0 segundos con la menor variación de fuerza, y la actividad EMG se calculó sobre la misma ventana [13]. La RFD se calculó desde el inicio de la producción de fuerza sobre una ventana de 0,2 segundos [30]. El intento con la MVIC y la RFD más altas se utilizó en análisis posteriores. Los

datos de la MVIC, la EMG y la RFD fueron analizados con el software correspondiente (v10.5; Ergotest Technology AS, Langesund, Norge).

10 Repeticiones Máximas (10RM)

Los participantes realizaron las sentadillas con un grado de inestabilidad bajo, medio o alto utilizando una máquina Smith (bajo), pesos libres (medio) o pesos libres mientras estaban parados sobre dos tablas de equilibrio (alto). El orden de los tests fue aleatorio. La profundidad de la sentadilla se midió y controló colocando una banda horizontal detrás de los participantes. Se les instruyó que tocaran ligeramente la banda con sus glúteos antes de presionar hacia arriba [31]. La altura de la banda correspondía a un ángulo de 90° de las rodillas. Los participantes utilizaron el ancho de pies que ellos preferían. La distancia entre los talones y los dedos grandes de los pies se midió y se utilizó en los tests y el entrenamiento [31]. Los participantes mantuvieron un balanceo natural en la parte baja de la espalda durante todo el levantamiento. Las cargas se bajaron a una velocidad controlada antes de ser levantadas de nuevo. Sólo se permitían pequeñas pausas entre repeticiones. No se permitió el uso de cinturones ni rodilleras. Si los participantes completaban 10 repeticiones, las cargas se incrementaban hasta el fallo o hasta que los participantes y el líder del test acordaban que la carga era la verdadera 10RM. Se usaron entre 1 y 3 intentos para identificar las cargas de 10RM. A los participantes se les permitió un descanso de 3-5 minutos entre cada intento y entre las tres modalidades de sentadilla [5, 31].

Countermovement Jump (CMJ)

El ejercicio de CMJ se realizó en una superficie estable (plataforma de fuerza) e inestable (dos tablas de equilibrio). Las dos tablas de equilibrio (Theraquatics, Montgomery, EEUU.) se colocaron en la plataforma de fuerza (Ergotest Technology AS, Langesund, Norge) utilizada para medir la altura del salto. Las tablas de equilibrio eran idénticas a las utilizadas para realizar la sentadilla con un alto grado de inestabilidad. El CMJ comenzó desde una posición de pie con las manos colocadas en las caderas. Los participantes utilizaron una profundidad elegida por ellos mismos [26]. La altura del salto se calculó por el impulso usando un programa de software comercial (MuscleLab V8.13; Ergotest Technology AS). Se realizaron tres intentos tanto para el CMJ estable como para el inestable, con 1-2 minutos de descanso entre cada intento. El salto más alto para cada condición se utilizó en análisis posteriores.

Procedimientos de Entrenamiento

A los participantes se les instruyó que se abstuvieran de todo entrenamiento de fuerza en la parte inferior del cuerpo, aparte del entrenamiento realizado en el estudio. Entre el test pre-intervención y el de la semana 3, todos los participantes realizaron cuatro sesiones de sentadillas separadas por tres días. En las sesiones, los participantes realizaron una serie de 10RM en cada una de las tres modalidades de sentadilla. El orden fue aleatorio. Si los participantes estaban seguros de que podían aumentar la carga después de completar una serie, la carga se aumentaba antes de la siguiente sesión. La profundidad de la sentadilla fue medida y controlada para cada participante como se describe en el procedimiento del test de 10RM [31]. Dos líderes de test actuaron como observadores y dieron incentivos verbales durante el test y el entrenamiento. Cuatro participantes abandonaron el estudio durante el período de familiarización. De tres a cinco días después de la finalización de la cuarta sesión de entrenamiento, los participantes fueron sometidos a un nuevo test (test de la semana 3; véase la Fig. 1).

Los procedimientos de calentamiento fueron idénticos a los procedimientos del test, pero se realizaron de manera diferente según el grupo en el que se asignaron aleatoriamente (por ejemplo, el grupo de máquina Smith utilizó la máquina Smith). El entrenamiento específico de grupo se realizó dos veces por semana durante 6 semanas (12 sesiones). El entrenamiento se realizó con un aumento lineal de intensidad; las sesiones 1 a 4 se realizaron con tres series de 10RM, las sesiones 5 a 10 con cuatro series de 8RM, y las sesiones 11 y 12 con cuatro series de 6RM. Si los participantes pudieron completar la última serie con el número correcto de repeticiones, la carga se incrementó en 2,5 kg o 5,0 kg en la siguiente sesión [5, 31]. Los líderes del test dieron incentivos verbales, actuaron como observadores y se aseguraron de que la técnica fuera la adecuada. Los líderes del test estuvieron presentes durante el 99,6% de todas las sesiones. En la décima semana (sesión 13), los participantes realizaron una sesión idéntica a la realizada durante el período de familiarización (10RM en las tres modalidades de sentadilla). La sesión se llevó a cabo para aumentar la fiabilidad de 10RM en el test de post-intervención realizado de 3 a 5 días después de la sesión 13.

Entre la semana 3 y los tests post-intervención, ocho participantes abandonaron el estudio por razones no relacionadas con el mismo (Fig. 1). No hubo diferencias en el volumen de entrenamiento entre los grupos de entrenamiento ($p = 0,256$).

Estadísticas

La prueba de esfericidad de Mauchly indicó que la suposición de esfericidad no había sido violada, x2 (2) = 1,292-5,713, p = 0,057-0,524). Para los datos recolectados durante el período de familiarización (test pre-intervención a test de la semana 3), se utilizó un ANOVA bidireccional (3 niveles de condiciones de estabilidad × 2 tiempos de test) para el análisis de las

variables 10RM, MVIC, RFD, CMJ y EMG. Se compararon las mismas variables dependientes entre el test de la semana 3 y el test post-intervención en un ANOVA de diseño mixto bidireccional (4 grupos × 2 tiempos de test) para cada uno de los tres requerimientos de estabilidad utilizando el software SPSS (v23.0; Chicago, IL, EEUU). Cuando se detectaron diferencias con el ANOVA, se aplicaron *t*-tests pareados con la corrección post hoc de Bonferroni. La significación estadística fue aceptada en $p \leq 0,05$, y todos los resultados se presentan como la media ± desviación estándar y el tamaño del efecto de Cohen (ES). Un ES de 0,2 se consideró pequeño, 0,5 mediano y 0,8 grande [32].

RESULTADOS

Período de Familiarización (desde la pre-intervención hasta la semana 3)

No hubo interacción significativa entre el ejercicio y el tiempo para las cargas de 10RM, la MVIC, la RFD o la actividad EMG (F = 0,019-1,106, valores p entre 0,334 y 0,981). Para las cargas de 10RM, hubo un efecto principal para el tiempo (F = 891,344, $p \leq 0,001$) y un efecto principal para el nivel de las condiciones de estabilidad (F = 12,124, $p \leq 0,001$). El ejercicio más inestable (tabla de equilibrio) demostró mayores mejoras relativas que los ejercicios estables medios (pesos libres) y bajos (máquina Smith) (Tabla 2). Los resultados de la MVIC y la actividad EMG en el sóleo y el vasto lateral mostraron un aumento significativo con el tiempo (F = 3,930-22,059, valores p que van de ≤0,001 a 0,050), pero no con el ejercicio (F = 0,121-1,462, valores p entre 0,236 y 0,886). Para la RFD y las otras medidas musculares, no hubo efectos significativos del tiempo o del ejercicio (F = 0,130-3,549, valores p entre 0,062 y 0,878, Tabla 3). Para detalles sobre las cargas de 10RM, la MVIC, el CMJ y la EMG, ver Tabla 2, Tabla 3, Archivo S1, Archivo S2 y Archivo S4.

Tabla 2. *Cambios en 10RM, MVIC, RFD y CMJ para las diferentes condiciones de estabilidad entre el pre-test y el test de la semana 3.*

	Stability requirements	Pre-test	Week 3 test	% improvement	p-values	Effect size
10RM# (kg)	Low (SM#)	109.1 ± 21.1	130.9 ± 18.5	22.2 ± 14.6%	p<0.001	1.10
	Medium (FW#)	101.4 ± 17.2	122.0 ± 16.7	21.8 ± 12.7%	p<0.001	1.22
	High (WB#)	91.1 ± 16.5	122.0 ± 16.7	27.3* ± 13.0%	p<0.001	1.86
MVIC# (N)	Low (SM)	887 ± 271	955 ± 245	10.2 ± 36.9%	p = 0.067	0.26
	Medium (FW)	874 ± 226	932 ± 252	7.4 ± 19.4%	p = 0.144	0.24
	High (WB)	854 ± 243	958 ± 232	13.5 ± 29.0%	p<0.001	0.44
RFD# (Ns^{-1})	Low (SM)	2403 ± 1070	2661 ± 1080	43.8 ± 120.5%	p>0.407	0.24
	Medium (FW)	2517 ± 1166	2450 ± 1273	39.2 ± 150.8%	p>0.407	0.05
	High (WB)	2446 ± 1090	2707 ± 1276	29.7 ± 103.1%	p>0.407	0.22
CMJ# (cm)	Stable surface	34.4 ± 4.7	35.9 ± 4.5	4.9 ± 8.8%	p<0.001	0.33
	Unstable Surface	28.6 ± 5.0	30.8 ± 4.8	8.5* ± 11.0%	p<0.001	0.45

* relatively greater improvements than the other exercises $p<0.05$.

10RM = 10 repetition maximum, MVIC = Maximal voluntary isometric contraction, RFD = Rate of force development, CMJ = countermovement jump, SM = Smith Machine, FW = Free-weight, WB = Wobble boards.

https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214302.t002

https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214302.t002

Tabla 3. *Cambios relativos (%) en la actividad electromiográfica (EMG) entre el pre-test y el test de la semana 3 para las diferentes condiciones de estabilidad.*

	Muscle	Low stability requirement	Medium stability requirement	High stability requirement
EMG#	Vastus medialis	15.3 ± 53.8 ES# = 0.01	30.5 ± 73.5% ES = 0.33	26.8 ± 64.6% ES = 0.23
	Vastus lateralis	14.3 ± 53.9% ES = 0.20	17.7 ± 57.0% ES = 0.24	15.6 ± 38.5% ES = 0.34
	Rectus femoris	11.9 ± 48.7% ES = 0.04	14.6 ± 55.9% ES = 0.18	18.0 ± 59.1% ES = 0.28
	Soleus	36.2 ± 99.7% ES = 0.31	56.7 ± 51.6% * ES = 0.45	44.6 ± 101.8% * ES = 0.52
	Biceps femoris	6.9 ± 46.5% ES = 0.11	8.5 ± 37.2% ES = 0.20	49.7 ± 199.1% ES = 0.34

* Greater EMG activity at week 3 test $p<0.05$.

ES = effect size, EMG = electromyography.

https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214302.t003

https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214302.t003

Período de Entrenamiento (semana 3 hasta la post-intervención)

Diez Repeticiones Máximas (10RM)

Hubo una interacción significativa entre el tiempo y el grupo para los tres ejercicios (F = 15,904-26,199, p ≤ 0,001). El grupo de máquina Smith demostró una mayor mejora en el ejercicio entrenado que en el ejercicio de pesos libres (p = 0,044, ES = 0,14), y en los ejercicios de la tabla de equilibrio (p = 0,060, ES = 0,30, Fig 3 y Tabla 4). Los grupos de Pesos Libres y de Tabla de Equilibrio demostraron una mejora similar en la fuerza de 10RM en los ejercicios entrenados y no entrenados en el test post-intervención (p ≤ 0,001, ES = 0,14-1,24). Aún así, todos los grupos de entrenamiento demostraron mayores mejoras que el grupo de control (p ≤ 0,001, ES = 2,32-3,92). Todos los detalles se presentan en la Tabla 4 y en la Figura 3.

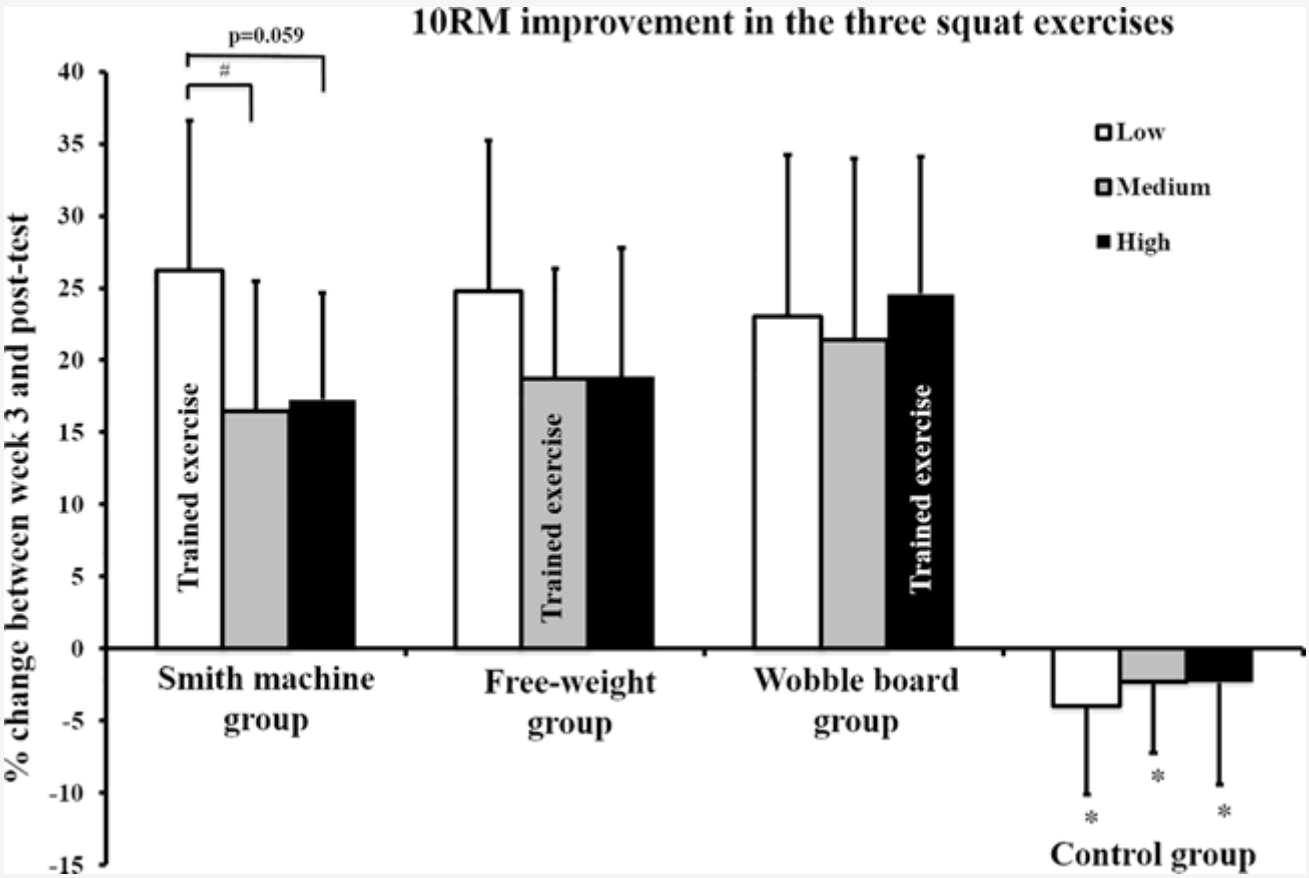

Figura 3. *Mejora en las cargas de 10RM en ejercicios entrenados y no entrenados.*

https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214302.g003

Tabla 4. *Cambios en 10RM, MVIC y RFD con requisitos de estabilidad bajos, medios o altos para los grupos entre el test de la semana 3 y el post-test.*

		Low stability requirement		Medium stability requirement		High stability requirement		
		Week 3-test	Post-test	Week 3-test	Post-test	Week 3-test	Post-test	ES#
10RM# (kg)	SM#	127.7 ± 19.9	160.4 ± 22.7*	116.4 ± 18.5	144.2 ± 19.7*	110.0 ± 16.4	134.6 ± 18.8*	1.41–1.61
	FW#	133.4 ± 19.6	154.5 ± 20.3*	125.9 ± 18.5	148.9 ± 19.9*	116.9 ± 15.7	140.0 ± 19.1*	1.08–1.46
	WB#	132.5 ± 17.9	155.4 ± 23.3*	125.2 ± 16.0	148.9 ± 22.7*	116.9 ± 14.2	145.8 ± 21.7*	1.14–1.62
	CON#	130.3 ± 1825	124.5 ± 14.6	121.0 ± 12.9	118.3 ± 14.5	114.3 ± 15.7	112.3 ± 21.4	0.11–0.37
MVIC# (N)	SM	941 ± 251	1063 ± 285*	920 ± 265	1062 ± 328*	972 ± 256	1047 ± 297	0.27–0.48
	FW	1012 ± 270	1131 ± 241	943 ± 280	1133 ± 277*	977 ± 241	1090 ± 227	0.40–0.48
	WB	977 ± 284	1135 ± 272*	1008 ± 269	1114 ± 256*	1019 ± 237	1135 ± 273*	0.40–0.57
	CON	902 ± 339	941 ± 356	873 ± 337	916 ± 320	889 ± 335	911 ± 343	0.10–0.22
RFD# (Ns^{-1})	SM	2530 ± 697	3461 ± 1073*	2710 ± 1191	3145 ± 1160	2926 ± 1035	3009 ± 1401	0.07–1.03
	FW	2412 ± 1445	3695 ± 1081*	1913 ± 1330	3463 ± 1083*	2651 ± 1456	3387 ± 1418	0.51–1.28
	WB	3113 ± 1288	3565 ± 1000*	3003 ± 1403	3565 ± 987	3025 ± 1506	3265 ± 1579	0.18–0.46
	CON	2553 ± 604	2653 ± 1025	1938 ± 896	2501 ± 1209	2129 ± 1071	2217 ± 1381	0.07–0.53

* greater than week 3-test.

ES = Effect size. 10RM = 10 repetition maximum, MVIC = Maximal voluntary isometric contraction, RFD = Rate of force development, SM = Smith machine group, FW = Free-weight group, WB = Wobble board group and CON = Control group.

https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214302.t004

https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214302.t004

Contracción Isométrica Voluntaria Máxima (MVIC)

No hubo una interacción significativa ni un efecto principal del grupo sobre la MVIC (F = 0,568-1,255, valores p entre 0,302 y 0,639), pero sí un efecto principal significativo sobre el tiempo para todas las condiciones de estabilidad (Máquina Smith, Pesos Libres y Tabla de Equilibrio (F = 8,083-19,056, valores p de ≤0,001 a 0,007). Ninguno de los grupos demostró una mayor mejora en el ejercicio entrenado que en el no entrenado (especificidad de la tarea), pero los grupos de Máquina Smith y de Tabla de Equilibrio mostraron mejoras significativas en la fuerza a la condición de estabilidad no entrenada (p < 0,050). Todos los detalles se presentan en la Tabla 4.

Tasa de Desarrollo de la Fuerza (RFD)

No hubo interacción significativa o efecto principal de grupo sobre la RFD (F = 0,275-1,994, valores p de 0,230 a 0,843), pero se observó un efecto principal para el tiempo de los ejercicios con requisitos bajos y medios de estabilidad (Máquina Smith y Pesos Libres; F = 15,930-18,832, p ≤ 0,001), pero no para el requerimiento alto de estabilidad (Tabla de Equilibrio; F = 1,489, p = 0,230). Todos los grupos de entrenamiento demostraron una mejora en la RFD en la máquina Smith (los requerimientos más bajos de estabilidad (p = 0,022-0,041; ES = 0,53-1,03). En el ejercicio de pesos libres (requisito medio de estabilidad), ninguno de los grupos de entrenamiento mejoró la RFD (p = 0,062-0,445; ES = 0,37-0,66). El grupo de Control no demostró ninguna mejora en el ejercicio de la máquina Smith ni en el de pesos libres (p = 0,105 y 1,000, ES = 0,05 y 0,76). Todos los detalles se presentan en la Tabla 4.

Grosor del Músculo

Hubo una interacción entre el tiempo y el grupo para el grosor muscular (F = 4,521; p = 0,008). Los grupos de Máquina Smith, Pesos Libres y Tabla de Equilibrio mostraron incrementos de 6,3%, 3,8% y 4,4% en el grosor del músculo, respectivamente (valores p que oscilan entre <0,001 y 0,049, ES = 0,14-0,45), pero ninguno de los grupos mostró una mayor mejora sobre ningún otro grupo (valores p de 0,826 a 1,000). El grupo de Control tuvo una disminución de -0,1% en el grosor muscular (p = 0,327, Archivo S3).

Countermovement Jump (CMJ)

Se observó una interacción para el CMJ en una superficie inestable (F = 4,304, p = 0,010), pero no se observaron interacciones o efectos significativos para la superficie estable (F = 0,046-1,416, valores p entre 0,251 y 0,831). El grupo de Tabla de Equilibrio fue el único grupo que demostró una mejora en la superficie inestable, y esta mejora fue mayor que la de los grupos de Pesos Libres y de Control (valores p de 0,014 a 0,020, ES = 0,66 y 1,36). Todos los detalles se presentan en la Tabla 5 y en la Figura 4.

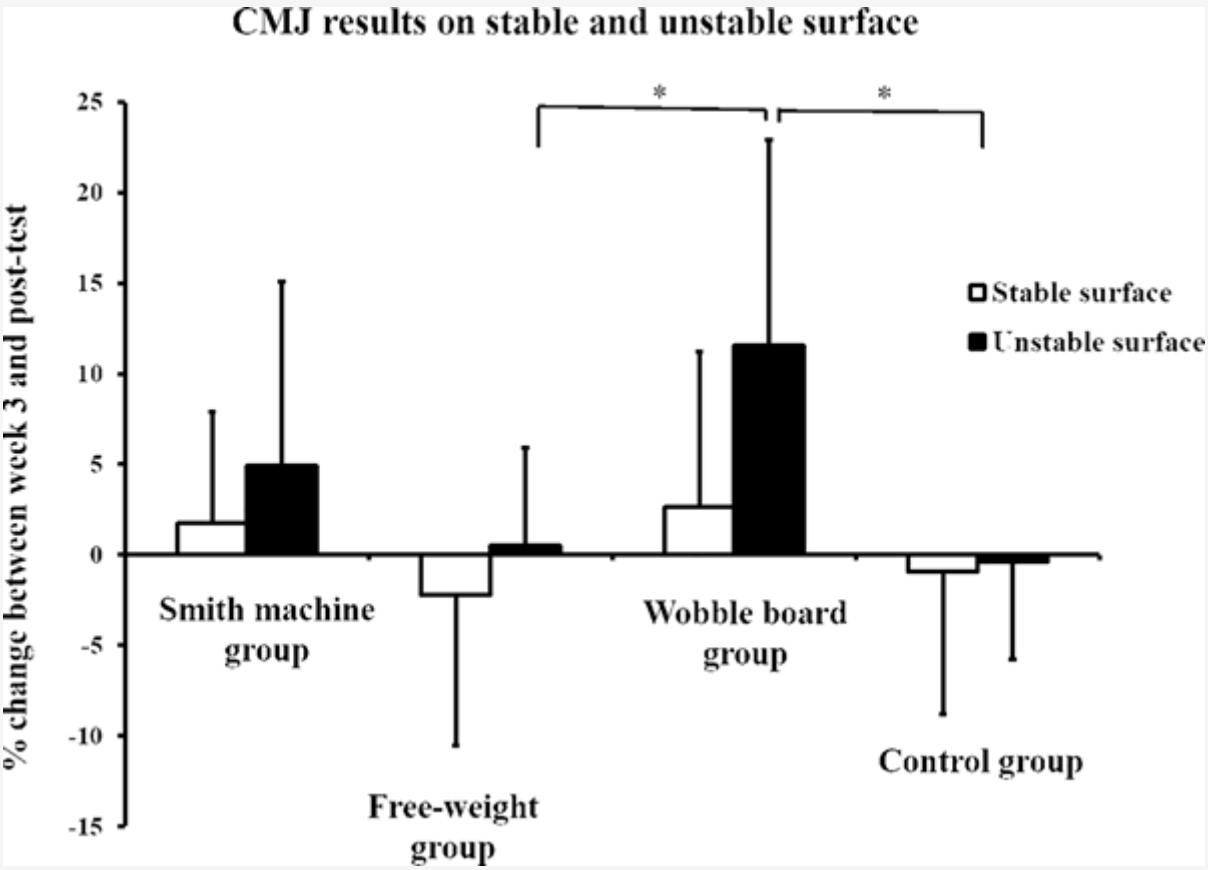

Figura 4. *Mejora del CMJ en superficies estables e inestables.*

https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214302.g004

Tabla 5. *Altura de salto para los grupos en la semana 3 y en el post-test.*

	SM# group		FW# group		WB# group		CON# group	
	Week 3-test	Post-test	Week 3-test	Post-test	Week 3-test	Post-test	Week 3-test	Post-test
CMJ stable surface (cm)	36.9 ± 4.6	37.4 ± 3.9	35.1 ± 4.9	34.4 ± 5.9	36.8 ± 4.8	37.6 ± 4.7	34.4 ± 3.4	34.1 ± 4.7
Effect size	0.12		-0.13		0.17		-0.07	
CMJ unstable surface (cm)	32.0 ± 4.1	33.4 ± 3.6‡	30.8 ± 6.7	30.8 ± 6.2	30.9 ± 4.5	34.1 ± 3.5*‡	29.1 ± 3.6	29.0 ± 4.1
Effect size	0.36		0.00		0.79		-0.03	

*greater than week 3 test

‡ greater than CON.

SM = Smith machine group, FW = Free-weight group, WB = Wobble board group, CON = Control group, CMJ = countermovement jump.

https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214302.t005

https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214302.t005

Actividad Electromiográfica (EMG)

Con el requerimiento bajo de estabilidad, hubo un efecto principal significativo del grupo sobre la actividad EMG del recto femoral (F = 3,200, p = 0,034) y un efecto principal significativo del tiempo sobre el sóleo (F = 6,571, p = 0,015). El análisis post hoc no demostró diferencias significativas entre los grupos en el recto femoral (p = 1,000, ES = 0,00-0,59), sino un 22% (±21,8%) de mayor activación del sóleo en el grupo de Pesos Libres (p = 0,015, ES = 0,31). Para los otros músculos, no hubo interacción ni efectos significativos sobre la actividad EMG (F = 0,052-2,544, valores p de 0,071 a

0,869). Con el requisito medio de estabilidad, hubo una interacción para el vasto medial (F = 2,899, p = 0,047) y un efecto principal significativo del grupo sobre la actividad EMG del recto femoral (F = 2,900, p = 0,047). El análisis post hoc para ambos músculos no mostró diferencias significativas (valores p entre 0,056 y 1,000). Para los otros músculos, no hubo interacciones o efectos significativos principales sobre la actividad EMG (F = 0,065-3,281, valores p entre 0,078 y 0,834). No se observaron interacciones ni efectos significativos principales para el requerimiento alto de estabilidad (F = 0,300-3,211, valores p entre 0,082 y 0,933).

DISCUSIÓN

El período de familiarización (pre-test de la semana 3) condujo a mejoras en las cargas de 10RM (todos los ejercicios) y el CMJ (superficies estables e inestables), con una mayor mejora observada con el requerimiento alto de estabilidad que con los otros. Durante el periodo de intervención (post-test de la semana 3), todos los grupos de entrenamiento mejoraron la fuerza de 10RM en las tres condiciones (Máquina Smith, Pesos Libres y Tabla de Equilibrio). Sólo el grupo de Máquina Smith demostró una mayor mejora de las 10RM en el ejercicio entrenado que en los otros ejercicios probados (especificidad de la tarea). El grupo de Pesos Libres y el grupo de Tabla de Equilibrio demostraron una fuerza similar a la del ejercicio no entrenado (transferencia de la fuerza entre condiciones). Para la MVIC y la RFD, ningún grupo demostró una mayor mejora en el ejercicio entrenado que en las otras condiciones. Sin embargo, el grupo de Tabla de Equilibrio demostró una mayor mejora en el CMJ en la superficie inestable que los grupos de Pesos Libres y de Control.

Período de Familiarización (entre el pre-test y el test de la semana 3)

Como se planteó en la hipótesis, los participantes mejoraron sus cargas de 10RM en los tres ejercicios de sentadilla desde la pre-intervención hasta la prueba de la semana 3, con una mayor mejora observada para los ejercicios con el requisito más alto de estabilidad (Pesos Libres sobre Tabla de Equilibrio). El período de familiarización incluyó cuatro sesiones de entrenamiento que consistieron en una sola serie de 10RM en cada uno de los tres ejercicios. A pesar de ello, la mejora porcentual fue similar a la mejora observada durante el periodo de entrenamiento (7 semanas de entrenamiento, 2 veces por semana, con 3-4 series). Estos resultados demuestran un efecto masivo de familiarización a corto plazo con la inestabilidad, que probablemente fue causada por los efectos de aprendizaje (mejor coordinación intermuscular) de las diferentes condiciones [2]. Los resultados son de gran importancia y tienen grandes implicaciones metodológicas. Los resultados de estudios anteriores que no incluían sesiones de familiarización antes de comparar el ejercicio con diferentes condiciones de estabilidad [15, 17, 33], deben interpretarse con precaución, especialmente cuando se incluyen pacientes o principiantes del entrenamiento de la fuerza. Sin embargo, Wahl y Behm demostraron [34] que no había diferencias entre las condiciones cuando los atletas entrenados en fuerza realizaban ejercicios con una estabilidad diferente que puede ser el resultado de los estados de entrenamiento de los participantes. Sin embargo, los resultados fueron apoyados por hallazgos anteriores [5, 35]. Por ejemplo, Saeterbakken et al. [5] examinaron diferentes condiciones de estabilidad en ejercicios de press de banca y demostraron la mayor mejora en el grupo con el requerimiento más alto de estabilidad durante las primeras 3 semanas de entrenamiento. La mayor mejora en las cargas de 10RM con el requerimiento más alto de estabilidad o los efectos de aprendizaje pueden haber resultado en una mayor mejora del CMJ bajo condiciones inestables en comparación con condiciones estables. Estos hallazgos fueron apoyados por Kean et al. [36] quienes encontraron una mejora en la altura del CMJ después de 6 semanas de entrenamiento de equilibrio (no fuerza). El equilibrio mejorado favorece a los vectores de fuerza (salidas de fuerza más verticales y menos horizontales), así como la disminución de la actividad co-contráctil [36].

A pesar de una mejora en la fuerza de las 10RM de un 22-27% después del período de familiarización, no hubo mejoras significativas en la MVIC o la RFD, independientemente de las condiciones de estabilidad. La ausencia de diferencias puede explicarse por la falta de especificidad de la contracción, el corto período de entrenamiento y la actividad EMG similar en el presente estudio [2]. Una actividad EMG similar y la gran variación en la activación muscular (ver Tabla 3) pueden estar relacionadas con el estado de entrenamiento de los participantes [2, 37].

Período de Entrenamiento (semana 3 hasta el test post-intervención)

Después del período de entrenamiento, todos los grupos mejoraron la fuerza de 10RM en todos los ejercicios y las mejoras fueron mayores que en el grupo de Control. Los grupos de Pesos Libres y de Tabla de Equilibrio demostraron mejoras similares en la fuerza entre ejercicios entrenados y no entrenados (es decir, transferencia de la fuerza), pero el grupo de Máquina Smith demostró una mayor mejora en los ejercicios entrenados (tests de Máquina Smith) que en los ejercicios no entrenados (es decir, especificidad de la tarea). La falta de resultados de especificidad de la tarea del grupo de Pesos Libres y de Tabla de Equilibrio fue sorprendente. Sin embargo, los ejercicios de fuerza inestables tienden a priorizar las funciones de estabilidad de los músculos antes de la generación de la fuerza [6, 7]. Los programas de ejercicios inestables

para los grupos de Pesos Libres y Tabla de Equilbrio pueden haber promovido funciones de movilización que permiten a los participantes generar una gran fuerza externa mientras estabilizan las articulaciones [5, 7, 10]. El entrenamiento del grupo con el requerimiento más bajo de estabilidad (grupo de Máquina Smith), podría enfocarse principalmente en mover la barra con un mínimo de atención a la estabilidad y el equilibrio. Sin embargo, cuando se realizan tests con requerimientos medios y altos de estabilidad, los músculos implicados darán prioridad a la estabilidad sobre la producción de fuerza [6, 8]. La fuerza similar en el ejercicio entrenado y no entrenado en los grupos de Pesos Libres y Tabla de Equilibrio puede haber sido el resultado del período de familiarización. La notable mejora en la carga de 10RM después del período de familiarización puede haber disminuido el potencial de mejora adicional (efecto techo o meseta) o haber dado lugar a un efecto de aprendizaje a corto plazo que hizo que los diferentes requisitos de estabilidad fueran manejables en el test post-intervención [5].

Los resultados de 10RM en el presente estudio no fueron tan hipotéticos o apoyados por hallazgos anteriores. Aunque Sparkes y Behm [10] demostraron una mejora similar en la fuerza dinámica, se observó una mejor relación fuerza estable-a-inestable en los grupos que entrenaron en superficies inestables, en comparación con los que entrenaron en superficies estables. Además, Saeterbakken et al. [5] encontraron que el grupo de entrenamiento con el requerimiento más bajo de estabilidad era el único grupo que no demostraba una mayor mejora en el ejercicio entrenado en comparación con los ejercicios de press de banca con mayores requisitos de estabilidad. Sin embargo, el estudio de Saeterbakken et al. [5] examinó el press de banca de los atletas entrenados y, lo que es importante, no incluyó un período de familiarización, lo que puede ayudar a explicar los diferentes hallazgos. El período de familiarización puede, por lo tanto, explicar los resultados contradictorios en comparación con estudios anteriores [5, 10]. Sin embargo, todos los grupos de entrenamiento en el presente estudio demostraron mejoras similares en la fuerza de 10RM, que fueron mayores que el grupo de Control.

El grupo de Tabla de Equilibrio fue el único grupo que demostró una mejora en el CMJ, pero sólo cuando se utilizó la superficie inestable. La mejora fue mayor que en los grupos de Pesos Libres y de Control. Basado en la especificidad de la tarea y la especulación previa [7, 38], el resultado para el grupo de Tabla de Equilibrio fue como la hipótesis. Sin embargo, como el grupo de Máquina Smith ha sido entrenado con los requisitos de estabilidad más bajos, teóricamente deberían mostrar una mejora en el CMJ en la superficie estable. Sin embargo, ninguno de los grupos demostró una mejora en el CMJ en la superficie estable, lo que significa que el grupo de Tabla de Equilibrio no mostró transferencia entre los requerimentos de estabilidad. Los resultados están respaldados por hallazgos anteriores. Por ejemplo, Sparkes y Behm [10] demostraron una tendencia ($p = 0,09$) a una gran mejora en el CMJ para el grupo inestable en comparación con el grupo estable. Sin embargo, los estudios anteriores se limitaron al probar el CMJ sólo en una superficie estable [10, 39].

Ninguno de los grupos de entrenamiento demostró una mayor mejora en los ejercicios entrenados en comparación con los no entrenados (especificidad de la tarea) para la MVIC. La falta de especificidad de la tarea para el ejercicio entrenado podría ser el resultado de estímulos de entrenamiento similares, confirmados por las similitudes en el volumen de entrenamiento, el grosor muscular y la actividad EMG entre grupos o los procedimientos de prueba. Al probar la MVIC con el mayor requerimiento de estabilidad, los participantes pudieron estabilizar los segmentos antes de generar su máxima fuerza. Sin embargo, un procedimiento de prueba idéntico empleado en un estudio agudo demostró una mayor MVIC en ejercicios estables en comparación con tres ejercicios inestables con requerimientos de estabilidad crecientes [13]. Por lo tanto, los resultados fueron sorprendentes y no se ajustaron a las hipótesis. Aún así, estudios anteriores han demostrado una mejora sustancialmente menor en la fuerza isométrica que en el entrenamiento de fuerza dinámico [1, 2], lo que puede explicar los resultados. Se podría especular que el entrenamiento durante el período de familiarización que involucra sentadillas dinámicas en condiciones similares (requisitos altos de estabilidad), resulta en un efecto de aprendizaje a corto plazo relacionado con la maximización de la generación de la fuerza al mismo tiempo que se mantiene la estabilidad [5]. Los resultados de la MVIC del presente estudio fueron apoyados por estudios anteriores [10, 39]. Tanto Sparkes y Behm [10] como Kibele et al. [39] demostraron mejoras similares en la MVIC después del entrenamiento en superficies estables o inestables.

Todos los grupos demostraron mejoras en la MVIC en ejercicios entrenados, pero sólo el grupo de Tabla de Equilibrio demostró una mejora con los requisitos bajos y medios de estabilidad. Basándose en estos resultados, se podría argumentar que el entrenamiento con el requisito alto de estabilidad puede favorecer la generación de la fuerza en comparación con los requisitos más bajos de estabilidad, pero no lo contrario. Los hallazgos de Sparkes y Behm [10] apoyan en parte esta especulación, ya que demostraron una tendencia estadística con un tamaño del efecto de gran magnitud ($p = 0,06$, $ES = 1,0$) para la mejora de la relación de fuerza de la MVIC estable-a-inestable en mayor medida en el grupo inestable que en el grupo estable. El entrenamiento del grupo de Pesos Libres con los requerimientos medios de estabilidad en el presente estudio no mostró una mejora en los resultados de la MVIC baja o alta.

Ninguno de los grupos de entrenamiento demostró una mayor mejora de la RFD en el ejercicio entrenado en comparación con el ejercicio no entrenado. Sin embargo, tanto el grupo de Pesos Libres como el de Tabla de Equilibrio mostraron una mejora similar en la RFD a la de los ejercicios con menores requerimientos de estabilidad. Hasta donde sabemos, este es el primer estudio que examina los efectos de la RFD en participantes que realizan un programa de entrenamiento de fuerza

con diferentes requerimientos de estabilidad. La falta de una gran mejora en el ejercicio entrenado y las diferencias entre los grupos probablemente se deben al entrenamiento realizado, ya que los participantes levantaron cargas altas con baja velocidad de movimiento [4]. Por ejemplo, el grupo de entrenamiento de Tabla de Equilibrio con el mayor requerimiento de estabilidad probablemente entrenó con menor velocidad para mantener el equilibrio y la estabilidad. Esto podría explicar la falta de una mayor mejora en el ejercicio entrenado que se planteó como hipótesis.

Con la excepción del sóleo para el grupo de estabilidad media, no se observaron cambios en la actividad EMG entre los grupos o ejercicios, aunque todos los grupos entrenaron con una intensidad y un volumen de entrenamiento similares. Sobre la base de los resultados, se producen adaptaciones neuromusculares similares cuando se utilizan diferentes requisitos de estabilidad. Se han informado resultados similares en estudios anteriores que compararon los efectos de diferentes requerimientos de estabilidad [5, 10].

Este es el primer estudio que mide el grosor muscular en una intervención de entrenamiento con diferentes requerimientos de estabilidad. Estudios anteriores han especulado que la inestabilidad en el entrenamiento de la fuerza puede limitar las adaptaciones morfológicas, ya que los estudios agudos muestran que una carga sustancialmente menor puede ser levantada en ejercicios inestables en comparación con ejercicios de fuerza estables [15, 17]. La evidencia presentada en este estudio descarta la especulación previa al demostrar una mejora similar en el grosor muscular entre los grupos de entrenamiento. Sin embargo, el presente estudio podría haber sido demasiado corto para detectar cambios significativos, especialmente en comparación con el grupo de Control. No obstante, estudios previos han informado diferencias entre grupos dentro de los mismos marcos de tiempo [26]. Además, un bajo volumen de entrenamiento general de las piernas podría explicar los resultados similares observados entre los grupos [30, 40]. Sin embargo, no hubo diferencias en el volumen de entrenamiento entre los grupos (peso levantado, repeticiones y series) o en la profundidad de la sentadilla [26], por lo que sería sorprendente haber detectado diferencias. Independientemente de los requerimientos de estabilidad, todos los grupos de entrenamiento demostraron un aumento del grosor del músculo.

El presente estudio estuvo limitado por la inclusión de un solo ejercicio para las extremidades inferiores. Si se hubieran incluido varios ejercicios en el programa de entrenamiento, las diferencias en la adaptación neuromuscular podrían haber sido evidentes entre los grupos. En segundo lugar, con sólo 10-13 participantes en cada grupo existe un riesgo inherente de que se produzcan errores tipo II. Además, el estudio actual sólo incluyó a hombres sanos y activos, por lo tanto, los hallazgos no pueden generalizarse a otras poblaciones u otros estados de entrenamiento. Finalmente, se alentó a los participantes a mantener una dieta similar.

Como aplicación práctica, una población sana y activa tiene en general mejoras y adaptaciones similares en el entrenamiento con sentadillas con diferentes requerimientos de estabilidad. Aún así, el entrenamiento con un requerimiento alto de estabilidad (tabla de equilibrio) resultó en una mayor mejora de la altura del salto bajo condiciones inestables que en otras condiciones. Los deportes con una superficie inestable (voleibol de playa) pueden beneficiarse del entrenamiento con inestabilidad. Es importante destacar que no se produjeron lesiones o accidentes relacionados con el levantamiento de cargas pesadas con requerimientos altos de estabilidad. Aún así, dos observadores estuvieron presentes en todo el entrenamiento apoyando, ayudando y proporcionando seguridad a los participantes en sus rutinas de entrenamiento. Los autores sólo pueden plantear hipótesis y alentar a los investigadores a incluir a pacientes o personas mayores, lo que, según nuestra hipótesis, puede beneficiar en mayor medida a los requerimientos medios y altos de estabilidad en el entrenamiento de fuerza que la población actual.

En conclusión, se observó una gran mejora de la fuerza de 10RM en el ejercicio entrenado y en el CMJ realizado en una superficie inestable para el grupo con requerimientos bajos (10RM) y altos (CMJ) de estabilidad. Sin embargo, todos los grupos de entrenamiento demostraron mejoras similares en la fuerza de 10RM, el grosor del músculo, el CMJ en una superficie estable, la MVIC y la RFD, independientemente de si el entrenamiento implicaba requisitos bajos, medios o altos de estabilidad. Las cuatro sesiones de entrenamiento durante el período de familiarización condujeron a una mejora sustancial a corto plazo, con una gran mejora observada a medida que aumentaban los requerimientos de estabilidad. Estos resultados sugieren que los requerimientos altos de estabilidad pueden aumentar las propiedades musculares de forma similar al entrenamiento con requisitos más bajos de estabilidad.

Información Complementaria

Archivo S1. Conjunto de datos.
https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214302.s001

Archivo S2. Conjunto de datos.
https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214302.s002

Archivo S3. Conjunto de datos.
https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214302.s003

Archivo S4. Conjunto de datos.
https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214302.s004

Agradecimientos

El autor desea agradecer a todos los participantes que contribuyeron con su participación en el estudio, a los estudiantes Nicholas Asheim y Kim Eirik Våge por su esfuerzo en el laboratorio y especialmente a Preben Gjelsvik por su compromiso y contribución en la recolección de datos.

REFERENCIAS

1. Thorstensson A, Hulten B, Von Dobeln W, Karlsson J. (1976). Effect of strength training on enzyme activities and fiber characteristics in human skeletal muscle. *Acta Physiol Scand. 1976;96:392–8. pmid:179278*
2. Rutherford OM, Jones DA. (1986). The role of learning and coordination in strength training. *European journal of applied physiology and occupational physiology. 1986;55(1):100–5. Epub 1986/01/01. pmid:3698983.*
3. Augustsson J, Esko A, Thomee R, Svantesson U. (1998). Weight training of the thigh muscles using closed vs. *open kinetic chain exercises: a comparison of performance enhancement. J Orthop Sports Phys Ther. 1998;27(1):3–8. pmid:9440034.*
4. Behm DG, Sale DG. (1993). Velocity specificity of resistance training. *Sports Med. 1993;15(6):374–88. pmid:8341872.*
5. Saeterbakken AH, Andersen V, Behm DG, Krohn-Hansen EK, Smaamo M, Fimland MS. (2016). Resistance-training exercises with different stability requirements: time course of task specificity. *Eur J Appl Physiol. 2016. pmid:27671996.*
6. Anderson K, Behm DG. (2005). The impact of instability resistance training on balance and stability. *Sports Med. 2005;35(1):43–53. Epub 2005/01/18. pmid:15651912.*
7. Behm DG, Anderson KG. (2006). The role of instability with resistance training. *Journal of Strength and Conditioning Research. 2006;20(3):716–22. Epub 2006/08/30. pmid:16937988.*
8. Behm D, Colado JC. (2012). The effectiveness of resistance training using unstable surfaces and devices for rehabilitation. *Int J Sports Phys Ther. 2012;7(2):226–41. Epub 2012/04/25. pmid:22530196; PubMed Central PMCID: PMC3325639.*
9. Saeterbakken AH, van den Tillaar R, Fimland MS. (2011). A comparison of muscle activity and 1-RM strength of three chest-press exercises with different stability requirements. *Journal of sports sciences. 2011;29(5):533–8. Epub 2011/01/13. pmid:21225489.*
10. Sparkes R, Behm DG. (2010). Training adaptations associated with an 8-week instability resistance training program with recreationally active individuals. *J Strength Cond Res. 2010;24(7):1931–41. pmid:20555274.*
11. McBride JM, Larkin TR, Dayne AM, Haines TL, Kirby TJ. (2010). Effect of absolute and relative loading on muscle activity during stable and unstable squatting. *Int J Sports Physiol Perform. 2010;5(2):177–83. pmid:20625190.*
12. McBride JM, Cormie P, Deane R. (2006). Isometric squat force output and muscle activity in stable and unstable conditions. *Journal of Strength and Conditioning Research. 2006;20(4):915–8. Epub 2006/12/30. R-19305 [pii] pmid:17194253.*
13. Saeterbakken AH, Fimland MS. (2013). Muscle force output and electromyographic activity in squats with various unstable surfaces. *J Strength Cond Res. 2013;27(1):130–6. pmid:22450254.*
14. Prieske O, Muehlbauer T, Mueller S, Krueger T, Kibele A, Behm DG, et al. (2013). Effects of surface instability on neuromuscular performance during drop jumps and landings. *Eur J Appl Physiol. 2013;113(12):2943–51. pmid:24072033.*
15. Behm DG, Anderson K, Curnew RS. (2002). Muscle force and activation under stable and unstable conditions. *Journal of Strength and Conditioning Research. 2002;16(3):416–22. Epub 2002/08/14. pmid:12173956.*
16. Drinkwater EJ, Pritchett EJ, Behm DG. (2009). Effect of instability and resistance on unintentional squat-lifting kinetics. *Int J Sports Physiol Perform. 2007;2(4):400–13. Epub 2009/01/28. pmid:19171958.*
17. Anderson KG, Behm DG. (2004). Maintenance of EMG activity and loss of force output with instability. *Journal of Strength and Conditioning Research. 2004;18(3):637–40. Epub 2004/08/24. pmid:15320684.*
18. Behm DG, Leonard AM, Young WB, Bonsey WAC, MacKinnon SN. (2005). Trunk muscle electromyographic activity with unstable and unilateral exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research. 2005;19(1):193–201. ISI:000227147800033. pmid:15705034*
19. Mate-Munoz JL, Monroy AJ, Jodra Jimenez P, Garnacho-Castano MV. (2014). Effects of instability versus traditional resistance training on strength, power and velocity in untrained men. *J Sports Sci Med. 2014;13(3):460–8. pmid:25177170; PubMed Central PMCID: PMC4126279.*
20. Norwood JT, Anderson GS, Gaetz MB, Twist PW. (2007). lectromyographic activity of the trunk stabilizers during stable and unstable bench press. *Journal of Strength and Conditioning Research. 2007;21(2):343–7. Epub 2007/05/29. R-17435 [pii] pmid:17530936.*
21. Anderson K, Behm DG. (2005). Trunk muscle activity increases with unstable squat movements. *Canadian journal of applied physiology = Revue canadienne de physiologie appliquee. 2005;30(1):33–45. Epub 2005/04/28. pmid:15855681.*
22. Behm DG, Muehlbauer T, Kibele A, Granacher U. (2015). Effects of Strength Training Using Unstable Surfaces on Strength, Power and Balance Performance Across the Lifespan: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Med. 2015;45(12):1645–69. Epub 2015/09/12. pmid:26359066; PubMed Central PMCID: PMCPMC4656700.*
23. Chulvi-Medrano I, Martinez-Ballester E, Masia-Tortosa L. (2012). Comparison of the effects of an eight-week push-up program using stable versus unstable surfaces. *Int J Sports Phys Ther. 2012;7(6):586–94. pmid:23316422; PubMed Central PMCID:*

PMC3537455.
24. Cressey EM, West CA, Tiberio DP, Kraemer WJ, Maresh CM. (2007). The effects of ten weeks of lower-body unstable surface training on markers of athletic performance. *J Strength Cond Res. 2007;21(2):561–7. pmid:17530966.*
25. Kibele A, Behm DG. (2009). Seven weeks of instability and traditional resistance training effects on strength, balance and functional performance. *J Strength Cond Res. 2009;23(9):2443–50. pmid:19952576.*
26. Bloomquist K, Langberg H, Karlsen S, Madsgaard S, Boesen M, Raastad T. (2013). Effect of range of motion in heavy load squatting on muscle and tendon adaptations. *European journal of applied physiology. 2013;113(8):2133–42. Epub 2013/04/23. pmid:23604798.*
27. Hermens HJ, Freriks B, Disselhorst-Klug C, Rau G. (2000). Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *J Electromyogr Kinesiol. 2000;10(5):361–74. pmid:11018445.*
28. Andersen V, Fimland MS, Mo DA, Iversen VM, Vederhus T, Rockland Hellebo LR, et al. (2018). Electromyographic Comparison of Barbell Deadlift, Hex Bar Deadlift, and Hip Thrust Exercises: A Cross-Over Study. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association. 2018;32(3):587–93. Epub 2017/02/06. pmid:28151780.*
29. Burden A. (2010). How should we normalize electromyograms obtained from healthy participants? What we have learned from over 25 years of research. *Journal of electromyography and kinesiology: official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology. 2010;20(6):1023–35. Epub 2010/08/13. pmid:20702112.*
30. Marshall PW, McEwen M, Robbins DW. (2011). Strength and neuromuscular adaptation following one, four, and eight sets of high intensity resistance exercise in trained males. *European journal of applied physiology. 2011;111(12):3007–16. Epub 2011/04/01. pmid:21451937.*
31. Andersen V, Fimland MS, Kolnes MK, Saeterbakken AH. (2015). Elastic Bands in Combination With Free Weights in Strength Training: Neuromuscular Effects. *J Strength Cond Res. 2015;29(10):2932–40. pmid:25807031.*
32. Cohen J. (1988). Statistical Power for the Behavioral Sciences. *Lawrence Erlbaum Associates Inc Hillsdale, New Jersy. 1988. PubMed PMID: 10543003.*
33. Saeterbakken AH, Fimland MS. (2013). Electromyographic activity and 6RM strength in bench press on stable and unstable surfaces. *J Strength Cond Res. 2013;27(4):1101–7. Medline: pmid:22692120.*
34. Wahl MJ, Behm DG. (2008). Not all instability training devices enhance muscle activation in highly resistance-trained individuals. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association. 2008;22(4):1360–70. Epub 2008/06/12. pmid:18545166.*
35. Cowley PM, Swensen T, Sforzo GA. (2007). Efficacy of instability resistance training. *Int J Sports Med. 2007;28(10):829–35. pmid:17497582.*
36. Kean CO, Behm DG, Young WB. (2006). Fixed foot balance training increases rectus femoris activation during landing and jump height in recreationally active women. *J Sports Sci Med. 2006;5(1):138–48. Epub 2006/01/01. pmid:24198691; PubMed Central PMCID: PMCPMC3818666.*
37. Rutherford OM, Greig CA, Sargeant AJ, Jones DA. (1986). Strength training and power output: transference effects in the human quadriceps muscle. *Journal of sports sciences. 1986;4(2):101–7. Epub 1986/01/01. pmid:3586102.*
38. Sale D, MacDougall D. (1981). Specificity in strength training: a review for the coach and athlete. *Can J Appl Sport Sci. 1981;6(2):87–92. pmid:7016357.*
39. Kibele A, Classen C, Muehlbauer T, Granacher U, Behm DG. (2014). Metastability in plyometric training on unstable surfaces: a pilot study. *BMC Sports Sci Med Rehabil. 2014;6:30. Epub 2014/08/05. pmid:25089202; PubMed Central PMCID: PMCPMC4118276.*
40. Campos GE, Luecke TJ, Wendeln HK, Toma K, Hagerman FC, Murray TF, et al. (2002). Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. *Eur J Appl Physiol. 2002;88(1–2):50–60. Epub 2002/11/19. pmid:12436270.*