

GRADO EN CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y EL DEPORTE
UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ



UNIVERSITAS
Miguel Hernández

Trabajo Final de Grado

Comparación de la actividad electromiográfica en tres ejercicios isoinerciales del tren inferior. Estudio observacional

- Curso académico: 2025-2026.
- Alumno: Francisco Joaquín Lull Sánchez.
- Tutor académico: Víctor Moreno Perez.

ÍNDICE

ABSTRACT:	1
1. INTRODUCCIÓN	2
2. MATERIAL Y MÉTODOS	3
2.1. Participantes.....	3
2.2. Procedimiento Experimental.....	3
2.3. Registro de la Señal Electromiográfica.....	4
2.4. Ejercicios Isoinerciales.....	5
2.5. Análisis Estadístico.....	7
3. RESULTADOS	7
3.1. Efecto del tipo de ejercicio sobre la activación de cada músculo.....	7
3.2. Patrón de reclutamiento muscular dentro de cada ejercicio.....	8
4. DISCUSIÓN	9
4.1. Limitaciones del estudio.....	10
5. CONCLUSIONES	10
BIBLIOGRAFÍA.....	11

ABSTRACT:

Objetivo: El objetivo principal de este Trabajo Final de Grado consistió en comparar la activación neuromuscular mediante electromiografía de superficie (SEMG) de los principales vientres musculares del tren inferior durante la ejecución de tres variantes de ejercicios isoinerciales (sentadilla, zancada y estocada lateral) en jugadores de fútbol amateur.

Material y Métodos: Se evaluó a una muestra piloto de sujetos varones familiarizados con el entrenamiento de fuerza. Se registró la actividad de los músculos recto femoral, vasto lateral, vasto medial, bíceps femoral y glúteo mayor utilizando un dispositivo isoinercial (*kBox*). Los valores electromiográficos fueron normalizados respecto a la Máxima Contracción Voluntaria Isométrica (%MVIC).

Resultados: El análisis estadístico reveló que el glúteo mayor alcanzó valores de activación significativamente más altos durante la zancada y la estocada lateral frente a la variante bilateral ($p < 0.05$), superando el 140% de la MVIC. Por el contrario, el recto femoral mostró una activación significativamente superior durante la sentadilla bilateral en comparación con las variantes unilaterales ($p < 0.001$). Finalmente, el vasto medial no mostró diferencias significativas con el glúteo mayor en los ejercicios unilaterales.

Conclusiones: La sentadilla bilateral optimiza el reclutamiento del recto femoral, mientras que los ejercicios unilaterales en máquina isoinercial maximizan la activación del glúteo mayor y del vasto medial debido a las mayores demandas de estabilización.

Palabras clave: Electromiografía, Entrenamiento isoinercial, Activación muscular, Sobrecarga excéntrica, Fútbol.

1. INTRODUCCIÓN

El fútbol profesional contemporáneo se caracteriza por una demanda física creciente, donde el número de acciones de alta intensidad, tales como sprints, cambios de dirección (CODs), saltos y golpes, ha aumentado significativamente desde principios de siglo (Barnes et al., 2014). Esta evolución hacia un juego más rápido y explosivo ha traído consigo una elevada incidencia de lesiones musculares, entre las que destacan las lesiones de isquiosurales, que han aumentado hasta representar el 24% de todas las lesiones en el fútbol profesional masculino (Ekstrand et al., 2023). Esta elevada prevalencia genera un impacto negativo no solo en el éxito deportivo del equipo, sino también un perjuicio económico sustancial para los clubes debido a los periodos de baja de los jugadores (Eliakim et al., 2020).

Desde el punto de vista del mecanismo lesional, la evidencia científica sugiere que la mayoría de las lesiones por mecanismo indirecto en los isquiosurales ocurren durante la fase excéntrica del movimiento (Danielsson et al., 2020). En esta fase, la unidad musculotendinosa debe absorber energía cinética mientras se elonga, momento en el que se alcanzan picos de tensión mecánica muy elevados (Alentorn-Geli et al., 2009). Por tanto, la capacidad de generar fuerza excéntrica y la optimización del control neuromuscular en situaciones de frenado se postulan como los principales factores protectores y objetivos clave en los programas de readaptación deportiva.

Como respuesta a la necesidad de mejorar la fuerza excéntrica, el entrenamiento isoinercial o de tecnología *flywheel* (volante de inercia) ha emergido como una de las metodologías más eficaces en el alto rendimiento (Maroto-Izquierdo et al., 2017; Tesch et al., 2017). A diferencia de las cargas gravitatorias tradicionales (pesas libres), donde la resistencia es constante, los dispositivos isoinerciales ofrecen una resistencia proporcional a la fuerza aplicada por el sujeto (Norrbrand et al., 2010). El sistema aprovecha la energía generada durante la fase concéntrica para devolverla en la fase excéntrica; si el deportista intenta frenar el volante en un tiempo o rango inferior al empleado en la fase inicial, se produce una *sobrecarga excéntrica* (Norrbrand et al., 2010). Numerosos estudios han demostrado que este tipo de estímulo induce adaptaciones superiores en la arquitectura muscular, la potencia y la prevención de lesiones en comparación con los métodos convencionales (Tous-Fajardo et al., 2016; de Hoyo et al., 2015).

A pesar de la sólida base teórica sobre los beneficios del entrenamiento isoinercial, existe una laguna en el conocimiento sobre cómo los diferentes patrones de movimiento afectan a la activación de la musculatura implicada. Gran parte de la literatura científica existente se ha centrado en comparar la respuesta de la actividad electromiográfica entre ejercicios realizados con tecnología isoinercial frente a ejercicios convencionales (Norrbrand et al., 2010). Sin embargo, para comprender realmente las demandas biomecánicas, resulta fundamental comparar diferentes variantes de ejercicios (ej. bilaterales vs. unilaterales) utilizando exclusivamente el mismo dispositivo isoinercial, eliminando así variables de confusión propias de la maquinaria.

Entre los diferentes ejercicios de la musculatura del cuádriceps, tradicionalmente, la sentadilla (Squat) ha sido el ejercicio bilateral por excelencia para el desarrollo de la fuerza general (Schoenfeld, 2010). No obstante, la naturaleza multidireccional del fútbol requiere ejercicios que desafíen la estabilidad en diferentes vectores de fuerza. En este sentido, las variantes unilaterales introducen mayores demandas neuromusculares que las bilaterales, con incrementos en la activación de glúteo medio y vasto lateral, así como diferencias en la producción de fuerza y velocidad de ejecución (Eliassen et al., 2018; McCurdy et al., 2010).

Para cuantificar estas diferencias, la electromiografía de superficie (sEMG) se postula como la herramienta de referencia no invasiva para evaluar la activación muscular en tiempo real (Hermens

et al., 2000). El estudio comparativo de estos ejercicios bajo tecnología isoinercial podría permitir a los graduados en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte (CAFD) y a los especialistas en readaptación seleccionar las tareas motrices con mayor especificidad y rigor científico.

Por ello, el objetivo principal de este Trabajo Final de Grado consistió en comparar la activación neuromuscular de la sEMG de los diferentes vientres del cuádriceps (i.e., recto femoral, vasto lateral y vasto medial), del biceps femoral (representando uno de los músculos isquiosurales) y glúteo mayor durante la ejecución de tres variantes de ejercicios isoinerciales de tren inferior como son la sentadilla, zancada y estocada lateral en jugadores de fútbol amateur.

Además, se estudiaron otros objetivos específicos como:

- Analizar los niveles de activación muscular entre un ejercicio bilateral y ejercicios con carácter unilateral y multiplanar en máquina *flywheel*.
- Evaluar el comportamiento de la señal sEMG específicamente en las fases concéntrica y excéntrica facilitadas por el dispositivo isoinercial.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Participantes

La muestra estuvo compuesta por 4 sujetos varones $22,38 \pm 2.88$ años; 172.44 ± 7.28 cm; 77.73 ± 10.08 kg estudiantes de la Universidad Miguel Hernández que jugaban al fútbol en categoría amateur, y estaban familiarizados con el entrenamiento de fuerza. Para realizar el estudio se establecieron los siguientes criterios de inclusión: i) estar libres de lesiones musculoesqueléticas articulares o musculares en los miembros inferiores durante al menos, los 6 meses previos al registro; ii) no haber realizado actividad deportiva intensa en los dos días previos a la realización de las mediciones; iii) se seleccionó intencionadamente una muestra exclusivamente masculina para homogeneizar las características de la arquitectura muscular y la incidencia lesional, estableciendo una base metodológica controlada que permita futuras réplicas del estudio en poblaciones femeninas. Se excluyeron aquellos sujetos que no completaron el estudio por diferentes motivos.

Previo al inicio del estudio, todos los participantes fueron informados del objetivo y diseño del mismo. Seguidamente, firmaron un consentimiento informado conforme a la Declaración de Helsinki aprobado previamente por la Oficina de Investigación Responsable (OIR) de la Universidad Miguel Hernández de Elche (Código: TFG.GAF.VMP.FJLS.251111).

2.2. Procedimiento Experimental

Se llevó a cabo un diseño observacional de medidas repetidas. El protocolo consistió en dos sesiones separadas por un periodo de 7 días. En la primera sesión, denominada sesión 1 (familiarización), los participantes realizaron un calentamiento estandarizado que consistió en ejercicios de movilidad articular y estiramientos dinámicos (2 series de 20 segundos por cada movimiento), seguidos de 2 series de 8 repeticiones del ejercicio de sentadilla libre (squat), y procedieron a familiarizarse con la tecnología isoinercial en el dispositivo flywheel (kBox, Exxentric AB, Bromma, Suecia), siguiendo los protocolos de familiarización y selección de carga inercial descritos en estudios previos (Asencio et al., 2024; Sabido et al., 2018). Para ello, los sujetos ejecutaron los ejercicios propuestos con diferentes inercias (0.025 y 0.050 kg·m²) con el objetivo de

mecanizar el retraso de la fase de frenado hacia el último tercio del movimiento y determinar el pico de potencia concéntrica.

La segunda sesión, sesión 2, consistió en la sesión de registro con el EMG. Para ello, tras el calentamiento, se instrumentó a los participantes para el registro de la señal sEMG en la extremidad dominante. La extremidad dominante fue seleccionada de acuerdo a estudios previos que consideran que la extremidad dominante es aquella que los jugadores prefieren utilizar para golpear un balón (van Melick et al., 2017). Para el registro, se registraron las Máximas Contracciones Voluntarias Isométricas (MVIC) y, posteriormente, se ejecutaron las tres variantes de ejercicios isoinerciales en orden aleatorizado (Figura 1). Para ello, se realizaron 2 series de 8 repeticiones por cada ejercicio (descartando las dos primeras repeticiones de inercia y las dos últimas, utilizando las 4 centrales) a máxima intensidad.



Figura 1. Diseño experimental y flujo de las sesiones de trabajo.

2.3. Registro de la Señal Electromiográfica

La actividad eléctrica muscular se registró mediante un sistema EMG inalámbrico equipado con unidades de medición inercial integradas (Ultium EMG, Noraxon, Scottsdale, AZ, USA) a una frecuencia de muestreo de 2000 Hz. Previo a la colocación de los electrodos, la piel fue rasurada y limpiada con alcohol al 70%. Se utilizaron electrodos de superficie pregelificados de Ag/AgCl colocados longitudinalmente a las fibras musculares siguiendo estrictamente las recomendaciones del proyecto SENIAM (Surface ElectroMyoGraphy for the Non-Invasive Assessment of Muscles). Se evaluaron cinco vientres musculares basándonos en los puntos SENIAM: Recto Femoral, Vasto Lateral, Vasto Medial, Bíceps Femoral (cabeza larga) y Glúteo Mayor. Los sensores se fijaron adicionalmente con cinta adhesiva hipoalérgica (Hypafix) para evitar artefactos por movimiento o diaforesis.

Para normalizar la señal, se registraron las MVICs de la siguiente forma:

- **Extensores de rodilla:** Se empleó un dinamómetro isocinético con los participantes sentados a 90° de flexión de cadera y rodilla. Se realizaron dos contracciones máximas de 5 segundos con 1 minuto de descanso.
- **Isquiosurales y Glúteo Mayor:** Se ejecutaron pruebas isométricas manuales resistidas en decúbito prono, instruyendo a los sujetos a realizar la fuerza de forma progresiva (en rampa) para prevenir la aparición de calambres musculares.

2.4. Ejercicios Isoinerciales

Los protocolos constaron de 3 ejercicios que presentaban dos fases consecutivas ininterrumpidas. Una fase concéntrica a máxima velocidad intencional, seguida de una fase excéntrica resistida. Las variables de potencia fueron monitorizadas mediante un encoder rotatorio y el software SmartCoach (SmartCoach Power Encoder, Europe AB, Stockholm, Sweden). Las variantes evaluadas fueron:

1. **Sentadilla (Squat):** Posición bilateral paralela. Los sujetos descendieron hasta los 90° de flexión de rodilla manteniendo el tronco neutro y los brazos cruzados sobre el pecho (Figura 2).



Figura 2. Ejecución del ejercicio de sentadilla bilateral en dispositivo isoinercial.

2. **Zancada (Lunge):** Posición dividida asimétrica. Con la pierna dominante apoyada de forma fija en la plataforma, el sujeto descendió hasta alcanzar los 90° de flexión de cadera y rodilla de la pierna adelantada, utilizando el toque de la rodilla contralateral contra el suelo como retroalimentación táctil de profundidad (Figura 3).



Figura 3. Ejecución de la zancada isoinercial asimétrica.

3. **Estocada Lateral (Lateral Lunge):** Ejecución en el plano frontal. Desplazamiento lateral cargando el peso sobre la pierna dominante hasta los 90º de flexión de rodilla, manteniendo la pierna contralateral completamente extendida (Figura 4).



Figura 4. Ejecución de la estocada lateral en plano frontal.

2.5. Análisis Estadístico

Los resultados se presentan como media $\pm$ desviación estándar. La actividad EMG de cada vientre muscular durante las MVICs y los diferentes ejercicios fue analizada mediante el paquete estadístico JASP (versión 0.18.3; JASP Team, 2024). Se empleó un análisis de varianza (ANOVA) de medidas repetidas de un factor (factor intrasujeto: "variante isoinercial") para comparar las diferencias entre ejercicios en cada vientre muscular. Asimismo, se utilizó un ANOVA de medidas repetidas de un factor (factor intrasujeto: "vientre muscular") para determinar las diferencias de activación entre los distintos músculos dentro de cada ejercicio. En caso de obtener un valor F significativo, se realizaron comparaciones post-hoc por pares aplicando la corrección de Bonferroni. El nivel de significación estadística se estableció en $p < 0.05$.

3. RESULTADOS

Los datos presentados a continuación corresponden al análisis electromiográfico de la muestra piloto ($n=4$). Todos los valores de amplitud de la señal sEMG se presentan normalizados, expresándose como media y desviación estándar (Media $\pm$ DE) del porcentaje %MVIC obtenida para cada vientre muscular. El análisis estadístico se estructuró en dos bloques independientes mediante el uso de modelos de ANOVA de medidas repetidas con la corrección de esfericidad correspondiente y pruebas *post-hoc* ajustadas por el método de Bonferroni.

3.1. Efecto del tipo de ejercicio sobre la activación de cada músculo

Al analizar de forma aislada la activación de cada uno de los cinco vientres musculares a través de los tres ejercicios isoinerciales estudiados (Sentadilla bilateral [SQUAT], Zancada [SPLIT] y Estocada lateral [SQL]), se observaron comportamientos diferenciados condicionados por la naturaleza unilateral o bilateral del movimiento.

- **Recto Femoral:** El análisis de varianza reveló un efecto principal del ejercicio estadísticamente muy significativo ($p < 0.001$). Las comparaciones por pares indicaron que la sentadilla bilateral generó una activación significativamente mayor ($97.9 \pm 2.2\%$ MVIC) en comparación con las variantes unilaterales de zancada ($75.9 \pm 3.3\%$ MVIC; $p=0.003$) y estocada lateral ($65.7 \pm 8.3\%$ MVIC; $p=0.001$). Entre ambas variantes unilaterales no se registraron diferencias estadísticamente significativas ($p=0.403$).
- **Glúteo Mayor:** Se halló un efecto principal altamente significativo para el tipo de ejercicio ($p=0.001$). El análisis *post-hoc* demostró que el nivel de activación neuromuscular fue significativamente superior en las variantes unilaterales frente a la bilateral, alcanzando un $143.5 \pm 9.0\%$ MVIC en la zancada ($p=0.015$ respecto a SQUAT) y un $144.1 \pm 6.4\%$ MVIC en la estocada lateral ($p=0.003$ respecto a SQUAT). No existieron diferencias significativas entre zancada y estocada lateral ($p=1.000$), superando ambas ampliamente el umbral máximo de la MVIC.
- **Bíceps Femoral:** La musculatura isquiosural no reflejó modificaciones significativas asociadas al patrón de movimiento ejecutado ($p=0.528$). Los registros de activación se mantuvieron en niveles homogéneamente bajos en las tres variantes: SPLIT ($58.5 \pm 2.7\%$ MVIC), SQL ($57.2 \pm 5.4\%$ MVIC) y SQUAT ($55.1 \pm 3.0\%$ MVIC), confirmándose la ausencia de diferencias en las pruebas por pares ($p > 0.05$).
- **Vasto Lateral y Vasto Medial:** Ninguno de los dos vientres musculares del cuádriceps mostró variaciones estadísticamente significativas en su nivel de reclutamiento entre ejercicios (vasto lateral: $p=0.301$; vasto medial: $p=0.330$). Ambas porciones mantuvieron índices de activación elevados y estables en todas las condiciones de evaluación, situándose siempre por encima o muy cerca del 100% de la MVIC.

Tabla 1. Valores descriptivos de activación neuromuscular (%MVIC) expresados en Media $\pm$ Desviación Estándar (n=4).

Músculo Evaluado	Zancada (SPLIT)	Estocada Lateral (SQL)	Sentadilla (SQUAT)
Glúteo Mayor	143.5 $\pm$ 9.0%	144.1 $\pm$ 6.4%	118.7 $\pm$ 4.1%
Vasto Medial	104.9 $\pm$ 8.4%	109.4 $\pm$ 4.8%	108.6 $\pm$ 9.0%
Vasto Lateral	98.3 $\pm$ 8.8%	87.4 $\pm$ 6.8%	97.3 $\pm$ 6.8%
Recto Femoral	75.9 $\pm$ 3.3%	65.7 $\pm$ 8.3%	97.9 $\pm$ 2.2%
Bíceps Femoral	58.5 $\pm$ 2.7%	57.2 $\pm$ 5.4%	55.1 $\pm$ 3.0%

3.2. Patrón de reclutamiento muscular dentro de cada ejercicio

Al evaluar las diferencias en los niveles de activación entre los distintos músculos dentro de una misma tarea motora, el ANOVA de medidas repetidas mostró un efecto principal del factor "músculo" estadísticamente muy significativo ($p < 0.001$) para las tres variantes evaluadas, evidenciando una marcada jerarquía en el reclutamiento (Figura 5).

- **En Sentadilla Bilateral (SQUAT):** El glúteo mayor (118.7 $\pm$ 4.1% MVIC) demostró una activación significativamente superior al bíceps femoral ($p = 0.040$) y al recto femoral ($p = 0.010$). Sin embargo, las comparaciones por pares no arrojaron diferencias significativas al contrastar el glúteo mayor con el vasto lateral (97.3 $\pm$ 6.8% MVIC; $p = 0.056$) ni con el vasto medial (108.6 $\pm$ 9.0% MVIC; $p = 0.128$), mostrando una estrecha sinergia de empuje entre la musculatura extensora de cadera y rodilla.
- **En Zancada (SPLIT):** El glúteo mayor (143.5 $\pm$ 9.0% MVIC) ejerció un dominio absoluto en el patrón motor, siendo significativamente superior al bíceps femoral ($p = 0.003$), al recto femoral ($p = 0.007$) y al vasto lateral ($p = 0.026$). La única excepción fue el vasto medial (104.9 $\pm$ 8.4% MVIC), el cual no mostró diferencias significativas con el glúteo ($p = 0.208$). A su vez, el vasto medial superó de forma significativa en activación al recto femoral ($p = 0.045$) y al bíceps femoral ($p = 0.024$).
- **En Estocada Lateral (SQL):** Se reprodujo un patrón jerárquico similar al de la zancada. El glúteo mayor (144.1 $\pm$ 6.4% MVIC) obtuvo registros significativamente más altos que el bíceps femoral ($p < 0.001$), el recto femoral ($p < 0.001$) y el vasto lateral ($p = 0.009$). El vasto medial (109.4 $\pm$ 4.8% MVIC) se consolidó de nuevo como el segundo gran motor del ejercicio, no mostrando diferencias estadísticas con el glúteo mayor ($p = 0.055$) y registrando una activación significativamente superior a la del recto femoral ($p = 0.045$).

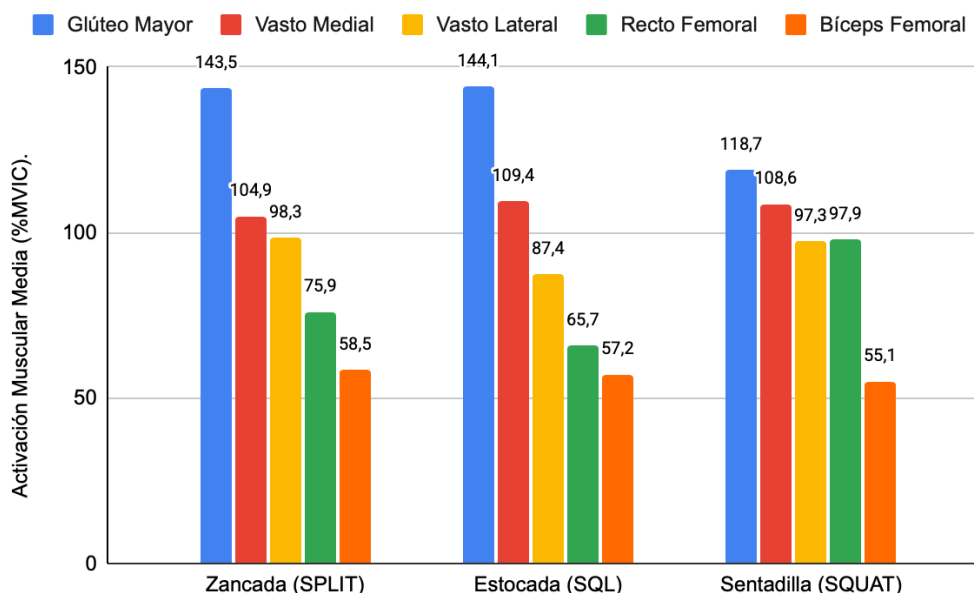


Figura 5. Patrón de reclutamiento muscular dentro de cada ejercicio. Nivel de activación media (%MVIC) de los vientres musculares evaluados durante la ejecución de Sentadilla Bilateral (SQUAT), Zancada (SPLIT) y Estocada Lateral (SQL).

4. DISCUSIÓN

El objetivo principal de este Trabajo Final de Grado consistió en comparar la activación neuromuscular mediante electromiografía de superficie (sEMG) de los principales vientres musculares del tren inferior durante la ejecución de tres variantes de ejercicios isoinerciales (sentadilla, zancada y estocada lateral) en jugadores de fútbol amateur. En esta muestra piloto, los resultados sugieren una mayor activación del glúteo mayor en las variantes unilaterales (zancada y estocada lateral) en comparación con la sentadilla bilateral, mientras que el recto femoral presentó sus niveles máximos de activación neuromuscular en la variante bilateral (SQUAT).

Estos hallazgos concuerdan con la literatura existente, la cual sostiene que los ejercicios orientados al desarrollo de la fuerza del tren inferior sufren modificaciones en su patrón de reclutamiento según la base de sustentación. La gran activación del glúteo mayor en el SPLIT ($143.5 \pm 9.0\%$ MVIC) y en la SQL ($144.1 \pm 6.4\%$ MVIC) puede explicarse por la alta demanda de estabilización lumbo-pélvica que exigen los vectores de fuerza asimétricos. Tal y como observaron Eliassen et al. (2018) y McCurdy et al. (2010), las variantes unilaterales introducen mayores demandas neuromusculares que las bilaterales debido a la inestabilidad. En nuestro caso, el glúteo no solo actúa como extensor primario de la cadera, sino como estabilizador en los planos frontal y transversal para mantener la alineación ante la exigente sobrecarga excéntrica que genera el dispositivo flywheel. De hecho, al analizar específicamente la actividad electromiográfica en dispositivos isoinerciales, autores como Norrbrand et al. (2010) ya demostraron que el entrenamiento flywheel exige una activación muscular excéntrica significativamente mayor que el entrenamiento con pesos libres tradicionales, lo que justifica los altos picos de sEMG obtenidos en las fases de frenado de nuestro estudio.

De manera sinérgica, el vasto medial se consolida en nuestro estudio como el segundo gran motor en las variantes unilaterales, sin diferencias estadísticas con el glúteo mayor en la estocada lateral. Desde una perspectiva funcional, al verse sometido a la inestabilidad propia del apoyo unipodal o del desplazamiento lateral en la máquina isoinercial, el vasto medial incrementa su tasa de disparo para estabilizar la rodilla y disipar la energía cinética excéntrica. Este comportamiento responde a la necesidad de control neuromuscular en fases de frenado para prevenir lesiones, un objetivo fundamental del entrenamiento con sobrecarga excéntrica documentado por autores como De Hoyo et al. (2015) y Tous-Fajardo et al. (2016).

Por el contrario, la superioridad del recto femoral en la sentadilla bilateral ($97.9 \pm 2.2\%$ MVIC) frente a la zancada y la estocada lateral responde a su anatomía biarticular. Este músculo se beneficia de la estabilidad que ofrece el apoyo bilateral, permitiendo una transferencia de fuerza más lineal y directa ante la resistencia isoinercial. Estos resultados respaldan los postulados de Schoenfeld (2010), quien establece la sentadilla tradicional como el estándar para la producción de fuerza general. Cuando el apoyo es inestable, como ocurre en la zancada, la activación del recto femoral se penaliza ya que el foco del sistema nervioso debe dividirse entre la producción de fuerza y el equilibrio.

4.1. Limitaciones del estudio

La principal limitación de esta investigación radica en el tamaño de la muestra final. Los resultados presentados corresponden a un análisis piloto de 4 sujetos varones evaluados ($n=4$). Si bien los datos de electromiografía y los análisis estadísticos post-hoc muestran patrones biomecánicos claros, este tamaño muestral obliga a interpretar los resultados con cautela antes de extrapolarse de forma generalizada a otras poblaciones deportivas. Por ello, como futuras líneas de investigación, está previsto aumentar el tamaño de la muestra y medir a mujeres. Esta inclusión de género en la muestra es un paso necesario para analizar las posibles diferencias en los patrones de activación neuromuscular y contribuir a reducir la brecha de género existente en la literatura sobre rendimiento deportivo. Asimismo, se plantea la evaluación electromiográfica de otros grupos musculares, como por ejemplo los erectores espinales, lo que permitirá obtener una comprensión más integral de las demandas de estabilización en este tipo de ejercicios isoinerciales.

5. CONCLUSIONES

1. Las variantes de ejercicio isoinercial de carácter unilateral (Zancada y Estocada Lateral) maximizan el reclutamiento neuromuscular del glúteo mayor en comparación con la variante bilateral, debido a las elevadas demandas concurrentes de estabilización pélvica durante la sobrecarga excéntrica.
2. La sentadilla bilateral isoinercial constituye la estrategia más eficaz para optimizar de forma específica la activación del recto femoral dentro de la cadena extensora anterior del cuádriceps.
3. El vasto medial adquiere un rol estabilizador predominante y equiparable al del glúteo mayor en tareas isoinerciales asimétricas (estocada lateral), resultando fundamental para el control articular de la rodilla en el plano frontal.

BIBLIOGRAFÍA

- Alentorn-Geli, E., Myer, G. D., Silvers, H. J., Samitier, G., Romero, D., Lázaro-Haro, C., y Cugat, R. (2009). Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 1: Mechanisms of injury and risk factors. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 17(7), 705-729. <https://doi.org/10.1007/s00167-009-0813-1>
- Asencio, P., García-Valverde, A., Albaladejo-García, C., Beato, M., Moreno, F. J., y Sabido, R. (2024). Analysis of concentric and eccentric power in flywheel exercises depending on the subjects' strength level and body mass. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 38(8), 1394-1400. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004818>
- Barnes, C., Archer, D. T., Hogg, B., Bush, M., y Bradley, P. S. (2014). The evolution of physical and technical performance parameters in the English Premier League. *International Journal of Sports Medicine*, 35(13), 1095-1100. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1375695>
- De Hoyo, M., Pozzo, M., Sañudo, B., Carrasco, L., Gonzalo-Skok, O., Domínguez-Cobo, S., y Morán-Camacho, E. (2015). Effects of a 10-week in-season eccentric-overload training program on muscle-injury prevention and performance in junior elite soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(1), 46-52. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2013-0547>
- Danielsson, A., Horvath, A., Senorski, C., Alentorn-Geli, E., Garrett, W. E., Cugat, R., Samuelsson, K., y Hamrin Senorski, E. (2020). The mechanism of hamstring injuries – a systematic review. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 21, 641. <https://doi.org/10.1186/s12891-020-03658-8>
- Ekstrand, J., Bengtsson, H., Waldén, M., Davison, M., Khan, K. M., y Hägglund, M. (2023). Hamstring injury rates have increased during recent seasons and now constitute 24% of all injuries in men's professional football: the UEFA Elite Club Injury Study from 2001/02 to 2021/22. *British Journal of Sports Medicine*, 57(5), 292-298. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2021-105407>
- Eliakim, E., Morgulev, E., Lidor, R., y Meckel, Y. (2020). Estimation of injury costs: financial quantification of injuries in team sports with a focus on English Premier League (EPL). *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 6(1), e000675. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2019-000675>
- Eliassen, W., Saeterbakken, A. H., y van den Tillaar, R. (2018). Comparison of bilateral and unilateral squat exercises on barbell kinematics and muscle activation. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 13(5), 871-881. <https://doi.org/10.26603/ijsp20180871>
- Hermens, H. J., Freriks, B., Disselhorst-Klug, C., y Rau, G. (2000). Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 10(5), 361-374. [https://doi.org/10.1016/S1050-6411\(00\)00027-4](https://doi.org/10.1016/S1050-6411(00)00027-4)
- Maroto-Izquierdo, S., García-López, D., Fernandez-Gonzalo, R., Moreira, O. C., González-Gallego, J., y de Paz, J. A. (2017). Skeletal muscle functional and structural adaptations after eccentric overload flywheel resistance training: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20(10), 943-951. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.03.004>
- McCurdy, K., O'Kelley, E., Kutz, M., Langford, G., Ernest, J., y Torres, M. (2010). Comparison of lower extremity EMG between the 2-leg squat and modified single-leg squat in female athletes. *Journal of Sport Rehabilitation*, 19(1), 57-68. <https://doi.org/10.1123/jsr.19.1.57>

- Norrbrand, L., Pozzo, M., y Tesch, P. A. (2010). Flywheel resistance training calls for greater eccentric muscle activation than weight training. *European Journal of Applied Physiology*, 110(5), 997-1005. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1575-7>
- Sabido, R., Hernández-Davó, J. L., y Pereyra-Gerber, G. T. (2018). Influence of different inertial loads on basic training variables during the flywheel squat exercise. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(4), 482-489. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2017-0282>
- Schoenfeld, B. J. (2010). Squatting kinematics and kinetics and their application to exercise performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(12), 3497-3506. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181bac2d7>
- Tesch, P. A., Fernandez-Gonzalo, R., y Lundberg, T. R. (2017). Clinical applications of iso-inertial, eccentric-overload (YoYo™) resistance exercise. *Frontiers in Physiology*, 8, 241. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00241>
- Tous-Fajardo, J., Gonzalo-Skok, O., Arjol-Serrano, J. L., y Tesch, P. (2016). Enhancing change-of-direction speed in soccer players by functional inertial eccentric overload and vibration training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(1), 66-73. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2015-0010>
- van Melick, N., Meddeler, B. M., Hoogeboom, T. J., Nijhuis-van der Sanden, M. W. G., y van Cingel, R. E. (2017). How to determine leg dominance: The agreement between self-reported and observed performance in healthy adults. *PLoS ONE*, 12(12), e0189876. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189876>