



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA  
SECRETARÍA DE SALUD  
INSTITUTO NACIONAL DE REHABILITACIÓN  
Luis Guillermo Ibarra Ibarra  
ESPECIALIDAD EN:

**MEDICINA DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEPORTIVA**

**ANÁLISIS DE LA PARTICIPACIÓN MUSCULAR DEL VASTO MEDIAL  
MEDIANTE ELECTRIOMIOGRAFÍA EN DIFERENTES EJERCICIOS  
DE FORTALECIMIENTO DE MIEMBRO INFERIOR.**

**T E S I S**  
PARA OBTENER EL GRADO DE  
MÉDICO ESPECIALISTA EN:  
**MEDICINA DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEPORTIVA**

**P R E S E N T A:**  
*Alexis Federico Saucedo Jacobo*

PROFESOR TITULAR  
*Dr. José Gilberto Franco Sánchez*

DIRECTOR DE TESIS  
*Dra. Ariadna Del Villar Morales*





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Agradecimientos

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis padres, Federico Saucedo y Claudia Jacobo, por su apoyo incondicional, por creer en mí en todo momento y por ser el ejemplo de esfuerzo, entrega y amor que me ha guiado en cada paso. Este logro también es suyo. A mis hermanas, Alejandra y Getzamanit, gracias por estar presentes en cada etapa de este proceso, por su cariño, por las palabras de aliento en los días difíciles y por hacerme sentir que nunca estuve solo.

A la Dra. Ariadna Del Villar, solo tengo palabras de gratitud por todas sus enseñanzas, por sus valiosos consejos, su apoyo constante y su paciencia a lo largo de estos años. Su guía ha sido fundamental en mi formación y en la realización de este proyecto y a la Mtra. Andrea Pegueros, por su guía cercana, su paciencia y por compartir conmigo su conocimiento con generosidad. Al Servicio de Laboratorio de Análisis de Movimiento, especialmente a la Dra. Ivette Quiñonez, M. en C. Virginia Bueyes, M. en C. Leonardo Anaya e Ing. Paris Velasco, gracias por su valioso apoyo, disposición y compromiso; sin su colaboración, este trabajo no habría sido posible.

A mis maestros durante esta especialidad: Dr. Franco Sánchez, Dr. Diego Mirabent, Dra. Ariely González, Dr. Figueroa, Dr. Saúl, Dr. Payán y Dra. Sandra Hernández, por dejar una huella imborrable en mi formación profesional. Gracias por cada enseñanza, cada consejo y por transmitir su pasión por la medicina.

A mis compañeros residentes, por compartir esta etapa llena de retos, aprendizajes y crecimiento. A los R+ por sus enseñanzas y apoyo constante. Y muy especialmente al Dr. José Juan Saavedra, por su amistad, su orientación y por haberme brindado la idea que dio origen a esta tesis.

“A quienes me tendieron la mano cuando más lo necesitaba, a quienes creyeron en mí cuando yo dudaba, y a quienes me recordaron que todo esfuerzo vale la pena: gracias.”

## ÍNDICE

I.RESUMEN.....	7
II.INTRODUCCIÓN .....	8
III. OBJETIVOS.....	9
IV. HIPOTESIS .....	9
V. MARCO TEORICO .....	9
VI. JUSTIFICACIÓN .....	18
VII. PLANTEAMIENTO DEL PROGRAMA.....	18
VIII. MATERIAL Y MÉTODOS .....	18
IX. DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA Y PROCEDIMIENTOS .....	22
X. RESULTADO .....	25
XI. DISCUSION .....	33
XII. CONCLUSION.....	36
XIII. REFERENCIAS .....	36
XIII. ANEXOS .....	38

## **I.RESUMEN**

### **Introducción:**

La activación adecuada del vasto medial es esencial para la estabilidad de la articulación patelofemoral. Dada su importancia en programas de rehabilitación y fortalecimiento muscular, resulta fundamental identificar qué ejercicios generan una mayor activación de este músculo.

### **Objetivo:**

Comparar la intensidad de activación electromiográfica del vasto medial durante cinco ejercicios comunes de fortalecimiento del cuádriceps en adultos jóvenes sanos: step-up, step-down, desplante, leg press y extensión de rodilla.

### **Metodología:**

Se realizó un estudio transversal con 20 participantes (10 hombres y 10 mujeres físicamente activos). Se utilizó electromiografía de superficie para registrar la activación del vasto medial durante la ejecución de los cinco ejercicios, empleando sensores inalámbricos y siguiendo las recomendaciones del proyecto SENIAM. La señal fue procesada mediante análisis de RMS y normalizada respecto a la contracción voluntaria isométrica máxima (CVIM). Se aplicó un análisis estadístico con ANOVA de medidas repetidas y prueba post hoc de Tukey para identificar diferencias significativas.

### **Resultados:**

El ejercicio step-up presentó la mayor activación promedio del vasto medial en la pierna dominante ( $81.8 \pm 6.7$  %CVIM), siendo significativamente superior a los demás ejercicios ( $p < 0.001$ ). Este patrón se mantuvo en la pierna no dominante, aunque con valores absolutos menores. El step-up también mostró la menor variabilidad interindividual, lo que indica una activación más consistente entre participantes. En contraste, ejercicios como la extensión de rodilla y el leg press mostraron mayores coeficientes de variación, reflejando una respuesta menos uniforme. Además, en todos los

ejercicios se observó una activación sistemáticamente mayor en la pierna dominante, lo que sugiere un posible efecto de la lateralidad sobre el reclutamiento muscular.

### **Conclusiones:**

En el presente estudio step-up se posicionó como el ejercicio más eficaz y reproducible para activar el vasto medial, lo que lo convierte en una herramienta terapéutica de alto valor en programas de rehabilitación orientados al control y estabilidad de la articulación patelofemoral. Su sencilla ejecución y baja variabilidad favorecen su aplicación tanto en contextos clínicos como deportivos.

Palabras claves: Vasto medial, Electromiografía, síndrome patelofemoral, Ejercicios isotónicos.

## **II.INTRODUCCIÓN**

En la prescripción de ejercicio es de gran relevancia clínica y terapéutica, la selección de ejercicios que favorezcan el desarrollo de la adaptación esperada. Hablando de la capacidad funcional fuerza, elegir el ejercicio que genere una activación selectiva y eficaz del grupo muscular objetivo, es fundamental.

La electromiografía de superficie se usa como herramienta para cuantificar la activación muscular durante la ejecución de diferentes ejercicios. Determinar cuál es el ejercicio que genera una mayor activación del vasto medial, ha sido objeto de numerosas investigaciones debido a su papel clave en la estabilización de la rodilla, ya que participa activamente en el control de la tracción medial de la rótula. Su disfunción o falta de activación adecuada se ha asociado principalmente con el síndrome patelofemoral o inestabilidad rotuliana.

La finalidad de este estudio es comparar ejercicios de tren inferior de cadena cinética cerrada y abierta, a través del uso de electromiografía de superficie (EMG), con el objetivo de determinar cuál de ellos optimiza la activación del vasto medial.

Los resultados de este estudio ofrecerán un respaldo más sólido para la elección de ejercicios en la prescripción de programas de entrenamiento y rehabilitación individualizados, tanto en poblaciones

sanas interesadas en mejorar el rendimiento muscular del miembro inferior, como en pacientes con disfunciones específicas que afectan la estabilidad de la rótula.

### **III. OBJETIVOS**

#### **Objetivo general.**

Comparar la intensidad de activación electromiográfica del vasto medial durante la ejecución de 5 diferentes ejercicios para fortalecimiento del cuádriceps en adultos jóvenes sanos.

#### **III.II Objetivos específicos**

- Determinar la intensidad de activación del vasto medial por electromiografía de superficie en la ejecución de los ejercicios: press de pierna, step-up, step-down, extensión de pierna y desplantes.
- Analizar las diferencias en la activación del vasto medial entre la pierna dominante y la no dominante, para los ejercicios press de pierna, step-up, step down, extensión de pierna y desplantes.
- Estimar la variabilidad interindividual en la activación del vasto medial para cada ejercicio, como indicador de reproducibilidad clínica.

### **IV. HIPOTESIS**

El ejercicio step down generará una mayor activación electromiográfica del vasto medial en comparación con los otros ejercicios de fortalecimiento del cuádriceps en adultos jóvenes sanos.

### **V. MARCO TEORICO**

#### **V.I Anatomía del vasto medial**

El vasto medial es uno de los cuatro músculos que componen los cuádriceps femorales, junto con el recto femoral, el vasto lateral y el vasto intermedio. Este músculo desempeña un papel esencial

tanto en la extensión de la rodilla como en el control del alineamiento medial de la rótula, siendo particularmente relevante para la estabilidad de la articulación patelofemoral.<sup>1</sup>

### **V.I.I Origen e inserción**

El vasto medial se origina en múltiples estructuras óseas de la cara anteromedial del fémur, incluyendo la línea intertrocantérica inferior, la línea espiral, el borde medial de la línea áspera, la parte proximal de la línea supracondílea medial, el tendón del aductor mayor y el septo intermuscular medial. Sus fibras musculares se dirigen oblicuamente hacia abajo y adelante, formando un ángulo aproximado de 15° con respecto al eje longitudinal del fémur. Se insertan en el borde medial de la rótula, fusionándose con el tendón común del cuádriceps que continúa como el ligamento rotuliano hacia la tuberosidad tibial.<sup>2</sup>

### **V.I.III Evidencia funcional e histórica**

El vasto medial ha sido objeto de estudio desde hace más de un siglo. Duchenne (1866) fue uno de los primeros en analizar la función del cuádriceps, y observó que el vasto medial tenía una mayor capacidad extensora que el vasto lateral. Años después, Nicoll (1970) evidenció que los últimos 15° de extensión no podían completarse sin la participación activa del vasto medial.

De forma complementaria, Steindler (1955) observó que el recto femoral no podía extender completamente la rodilla por sí solo, siendo el vasto medial el principal responsable de la fase final de extensión. Además, investigaciones posteriores encontraron que todos los componentes del cuádriceps se mantenían activos durante el arco de extensión, aunque era el vasto medial el que demostraba mayor firmeza a lo largo de todo el movimiento.

En Lieb y Perry (1968) profundizaron en la anatomía y función del vasto medial, estableciendo la ya aceptada división entre el vasto medial lateral (VML) y el vasto medial oblicuo (VMO) y destacando la importancia de este último en el control del seguimiento rotuliano durante el movimiento de extensión.<sup>3</sup>

### **V.II Biomecánica del vasto medial**

El músculo cuádriceps femoral es el principal extensor de la rodilla y el único capaz de ejecutar este movimiento. Está constituido por cuatro cuerpos musculares que se insertan mediante el aparato

extensor en la tuberosidad tibial anterior: tres músculos monoarticulares (vasto intermedio, vasto lateral y vasto medial) y un músculo biarticular (recto femoral).

Los músculos monoarticulares tienen como función exclusiva la extensión de rodilla. Cabe destacar que el vasto medial es más potente que el vasto lateral, lo que contribuye a contrarrestar la luxación lateral de la rótula. La contracción equilibrada entre ambos genera una fuerza dirigida hacia arriba, en el eje del muslo.

Sin embargo, si uno de los músculos, como el vasto lateral, predomina sobre el vasto medial, puede producirse un desplazamiento lateral de la rótula, lo que constituye uno de los mecanismos implicados en la luxación recidivante rotuliana.<sup>4</sup>

### **V.III Sistema patelofemoral y su relevancia clínica**

El patelofemoral es un sistema con escasa congruencia ósea en los primeros grados de flexión, por lo que la estabilidad depende principalmente de los tejidos blandos y de la activación muscular adecuada. Cuando se altera la activación del vasto medial, ya sea por debilidad, inhibición neuromuscular o retraso en su reclutamiento, la rótula tiende a desplazarse lateralmente, aumentando el riesgo de mal tracking y dolor patelofemoral.<sup>5</sup>

Estudios clínicos y biomecánicos han demostrado que este desequilibrio muscular puede generar una distribución anómala de las fuerzas articulares, aumentando el estrés sobre las facetas laterales de la rótula. Por lo tal es un objetivo clave en los programas de rehabilitación y fortalecimiento del aparato extensor, especialmente en personas con síndrome patelofemoral o con antecedentes de inestabilidad rotuliana.

El síndrome de dolor patelofemoral es una de las quejas musculoesqueléticas más comunes y su principal característica es dolor en región anterior de la rodilla al realizar actividades como sedestación prolongada, subir escaleras, correr y ponerse en cuclillas. Se ha propuesto que la patogenia del síndrome patelofemoral es multifactorial, pero uno de sus principales factores contribuyentes propuestos es la desalineación rotuliana o inestabilidad rotuliana.

#### **V.III.I Atrofia del vasto medial en dolor patelofemoral**

En 2021, Conglei Dong investigó la presencia de atrofia muscular en el vasto medial oblicuo y el vasto lateral en pacientes con síndrome de dolor patelofemoral, utilizando tomografía computarizada para medir las áreas transversales musculares en distintos niveles por encima del polo superior de la rótula. Los resultados concluyeron que tanto el vasto medial oblicuo como el vasto lateral presentaban una reducción significativa del área muscular en los pacientes con síndrome patelofemoral en comparación con sujetos sanos, siendo la atrofia del vasto medial oblicuo más marcada en los niveles distales, cercanos a la inserción rotuliana.

Además, la relación VMO/VL fue significativamente menor en pacientes con dolor, sugiriendo un desequilibrio muscular que podría afectar negativamente la estabilidad medial de la rótula.<sup>6</sup>

#### **V.IV Inestabilidad rotuliana y vasto medial**

Beit Ner et al. (2024) demostraron que pacientes con inestabilidad rotuliana, tanto primaria como recurrente, presentan alteraciones significativas en la morfología del VMO, en comparación con sujetos sin esta condición. Utilizando imágenes por resonancia magnética, el estudio evidenció que estos pacientes tenían una reducción en el área de sección transversal (CSA) del músculo. Estos hallazgos sugieren que un VMO con menor masa muscular puede ejercer una tracción medial reducida sobre la rótula, comprometiendo su estabilidad dinámica.

Además, la relación entre la CSA del VMO y la circunferencia del muslo también fue significativamente menor en los casos con inestabilidad, lo que refuerza la hipótesis de que el deterioro estructural del VMO podría ser un factor predisponente clave en la dislocación rotuliana recurrente.

En conclusión, la atrofia del VMO compromete su función como estabilizador dinámico de la articulación patelofemoral, aumentando el riesgo del desplazamiento rotuliano, por lo que es importante al momento de implementar un programa de rehabilitación ejercicios destinados a fortalecer tanto el cuádriceps general como el vasto medial oblicuo.

#### **V.V Electromiografía**

La electromiografía (EMG) es definida como la disciplina relacionada con la detección, análisis y uso de la señal eléctrica que se genera durante la contracción muscular. A través de esta señal

electromiográfica nos permite construir un electromiograma, que corresponde a la suma temporal y espacial de los potenciales de acción de las unidades motoras conocido como PAUMs durante la contracción, permitiendo cuantificar de una manera objetiva y precisa el comportamiento bioeléctrico muscular.

Existen dos técnicas de EMG: La electromiografía invasiva y la electromiografía de superficie.<sup>8</sup>

#### **V.V.I Electromiografía de superficie**

La electromiografía de superficie es una técnica que utiliza un dispositivo de alta sensibilidad que funciona como voltímetro que detecta despolarizaciones e hiperpolarizaciones (aumentos y disminuciones de voltaje, respectivamente) que ocurren en el sarcolema (membrana de la fibra muscular). Es una técnica no invasiva que permite evaluar la actividad eléctrica generada por los músculos esqueléticos durante la contracción voluntaria, mediante electrodos colocados sobre la piel, donde se registra el potencial eléctrico producido por el reclutamiento de unidades motoras, lo que proporciona una estimación de la activación muscular y del nivel de esfuerzo neuromuscular.

El análisis de la amplitud y la frecuencia de la señal EMG ofrecen información sobre la intensidad de la contracción, el patrón de reclutamiento de fibras y los procesos de fatiga muscular.

Se basa en el uso de electrodos superficiales alámbricos o inalámbricos que se colocan directamente sobre la piel del músculo a evaluar. Esta técnica no es capaz de captar la señal de una sola unidad motora, pero nos sirve para estudiar el comportamiento promedio de un músculo o grupo muscular.

Actualmente para realizar una investigación con electromiografía de superficie se recomienda seguir los lineamientos propuestos por SENIAM (Surface electromyography for the Non-Invasive Assessment of Muscles) para homogenizar y estandarizar los procedimientos en la localización de los electrodos en los diferentes grupos musculares. De esta forma, se ha podido protocolizar el uso de la EMG de superficie disminuyendo los errores de la evaluación.

Una de las ventajas de realizar electromiografía de superficie sobre la electromiografía invasiva, es su utilidad para evaluar gestos motores, ya que, para esta última, se necesita colocar los electrodos a nivel muscular, lo que provoca molestias al realizar el movimiento, disminuyendo la precisión de la medición durante gesto mecánico o deportivo.<sup>9</sup>

#### **V.V.II Fisiología de la señal electromiográfica de superficie**

La señal electromiografía de superficie se origina a partir de potenciales de acción generados en la membrana de las fibras musculares cuando estas son activadas por un impulso nervioso. Este proceso comienza con la llegada del estímulo eléctrico de la placa motora, lo que provoca la liberación de acetilcolina desencadenando la apertura de canales iónicos que permiten la entrada de sodio (Na<sup>+</sup>) al interior de la célula muscular, generando así la despolarización de la membrana. Esta despolarización se propaga a lo largo de la fibra muscular a una velocidad entre 2 y 6 m/s.

La electromiografía registra esta actividad eléctrica a través de dos electrodos ubicados sobre la piel: uno capta la zona activa de despolarización y el otro registra un potencial diferente, permitiendo así medir la diferencia de potencial entre ambos puntos. El resultado es una señal electromiográfica que representa la suma de los potenciales de acción detectados en la región superficial del músculo evaluado.<sup>9</sup>

### **V.V.III Parámetros de análisis e interpretación de la señal electromiográfica**

La señal electromiografía puede analizarse a través de diversos parámetros, siendo lo más utilizados la amplitud y la frecuencia. En el contexto de las ciencias del deporte, la amplitud es el parámetro más empleado, ya que permite estimar el nivel de activación muscular durante un gesto motor.

Para cuantificar esta amplitud, se utilizan medidas como el valor pico, el área bajo la curva o, con mayor frecuencia, la raíz media cuadrática (RMS) de la señal, considerada uno de los métodos más fiables en estudios de activación muscular. No obstante, para interpretar estos datos de manera comparativa y estandarizada, es necesario aplicar un proceso de normalización, que se logra mediante una contracción voluntaria isométrica máxima (CVIM).

Este procedimiento consiste en registrar la señal EMG durante una contracción máxima contra resistencia, estableciendo así una referencia del 100 % de activación para ese músculo en ese individuo. Posteriormente, la activación registrada durante el ejercicio se expresa como un porcentaje relativo a dicha CVIM, lo que permite evaluar la demanda relativa del gesto motor sobre el músculo analizado.<sup>10</sup>

## **V.VI Activación del vasto medial por electromiografía.**

La activación del vasto medial ha sido objeto de numerosos estudios, debido su papel importante en la biomecánica de la articulación patelofemoral. Pero aún no existe un consenso claro sobre cual ejercicio o estrategia es más eficaz para lograr su activación óptima. Por lo tanto, esta controversia ha llevado a que la selección de ejercicios para fortalecer el vasto medial siga siendo en gran parte empírica, con decisiones clínicas basadas más en la experiencia profesional que en evidencia sólida.

Durante el pasar años se han realizado diferentes estudios con el objetivo de determinar que técnica o condiciones favorecen a una mayor activación del vasto medial. Dentro de estas investigaciones se han comparado ejercicios en cadena cinética abierta y cerrada, distintos ángulos de flexión de rodilla, así como variaciones en las rotaciones del tobillo o cadera, buscando identificar patrones que generen una mayor activación selectiva del vasto medial.

Smith, Ballantyne y Macmillan (2009) realizaron una revisión sistemática cuyo objetivo fue determinar si el vasto medial puede activarse de forma preferencial. Tras analizar 20 estudios en los que se utilizó electromiografía de superficie durante la ejecución de diversos ejercicios, por ejemplo: sentadillas, contracciones isométricas y movimientos con aducción de cadera, los autores concluyeron que no existe evidencia sólida y consistente que respalde la activación selectiva y sostenida del vasto medial mediante ejercicios específicos.

Dentro de las estrategias más empleadas en la práctica clínica para favorecer la activación del vasto medial se encuentran la rotación interna del pie o de la cadera durante ejercicios como la extensión de rodilla o la sentadilla. Sin embargo, los estudios incluidos en la revisión sistemática mostraron que esta estrategia proporcionó resultados inconsistentes: mientras algunas investigaciones reportaron incrementos leves en la actividad del vasto medial, otras no encontraron diferencias significativas con respecto a la posición neutra o en rotación externa.

En cuando a la aducción de cadera, varios estudios han mostrado una ligera mejora en el cociente vasto medial/vasto lateral al presionar una pelota o almohadilla entre las rodillas junto con contracciones del cuádriceps. Esta revisión sistemática nos advierte que estos protocolos fueron

sumamente heterogéneos en cuanto a intensidad, duración y posición articular, lo cual limita la validez clínica de estos hallazgos.<sup>11</sup>

Respecto a la rotación del tobillo o del pie, al igual que con otras variaciones, los estudios incluidos en la revisión no muestran evidencia concluyente de que este cambio postural genere una activación diferencial sostenida del vasto medial.

Una limitación importante de esta revisión sistemática es la exclusión de ejercicios como el step-up, step-down o la prensa de pierna. Aunque forman parte fundamental de los programas terapéuticos y deportivos actuales, existe escasa evidencia científica que explore en profundidad su impacto específico en la activación del vasto medial. Dada su frecuencia de uso, resulta fundamental abordar directamente el análisis electromiográfico de estos movimientos para esclarecer su eficacia en el reclutamiento específico del vasto medial y su posible rol en la mejora del control patelofemoral.<sup>11</sup>

#### **V.VI.I Activación del vasto medial en ejercicios de cadena abierta.**

Signorile et al. (2014) demostraron que, durante el ejercicio de extensión de rodilla, la activación del VMO es significativamente mayor en el tramo final del rango de movimiento en los (últimos 60° de extensión), independientemente de la rotación del pie. Este hallazgo cuestiona la tradicional recomendación de realizar una rotación interna de pie para aislar el vasto medial oblicuo, y sugiere que el factor más determinante para una mayor activación es el grado de extensión de rodilla alcanzado. Por lo tanto, ejercicios que integren una extensión profunda de rodilla y una correcta alineación biomecánica podrían favorecer una mayor activación del VMO.<sup>12</sup>

#### **V.VI.II Activación del vasto lateral en ejercicios de cadena cerrada.**

Martin-fuentes et al. (2021) evaluaron como diferentes posiciones de los pies (variando la rotación y el ancho de la base y velocidades de ejecución afectan la activación muscular durante el leg press.

Los resultados demostraron que no hubo diferencias significativas en la activación del vasto medial oblicuo (VMO) al comparar distintas posiciones del pie, ya fuera con rotación externa (0° vs 45°) o con diferentes anchos de base (100 % vs 150 % del ancho de las caderas). Esto indica que dichas modificaciones posturales no son determinantes para estimular selectivamente este músculo durante el ejercicio. Además, se observó que el VMO alcanzó su mayor activación relativa durante la fase concéntrica del movimiento, particularmente cuando se ejecutó a máxima velocidad. Estos hallazgos respaldan la idea de que el VMO puede activarse de manera eficiente durante ejercicios de cadena cinética cerrada, como la prensa de pierna, sin necesidad de ajustar la rotación del pie.<sup>13</sup>

#### **V.VI.III Activación del vasto medial en ejercicios unipodales de cadena cerrada.**

En un estudio realizado por Muyor et al (2020), se evaluó la activación electromiografía de seis músculos del miembro inferior (glúteo medio, glúteo mayor, bíceps femoral, vasto lateral y vasto medial y recto femoral) durante la ejecución de una sentadilla monopodálica, desplante y subida lateral al cajón. Diferenciando entre las fases concéntricas y excéntricas del movimiento.

Los resultados revelaron que la sentadilla monopodalica produjo significativamente mayor activación muscular en todos los músculos evaluados, excepto en el recto femoral, en comparación con los otros dos ejercicios.

En este estudio nos muestra que los ejercicios unilaterales, en cadena cinética cerrada y con demanda postural, inducen una activación significativa del cuádriceps, particularmente del vasto medial. Este tipo de movimiento comparte características biomecánicas con el ejercicio step-down, como es el caso del apoyo monopodal y control excéntrico, lo que refuerza la hipótesis de que el step-down podría ser uno de los ejercicios más efectivos para activar el vasto medial.<sup>14</sup>

## **VI. JUSTIFICACIÓN**

El vasto medial es un componente fundamental del cuádriceps femoral y juega un papel clave en el control de la alineación de la rodilla durante actividades funcionales. Su activación efectiva es esencial no solo para la producción de fuerza en la extensión de rodilla, sino también para estabilizar la articulación durante tareas que implican carga unipodal, descenso controlado o desaceleración. En este sentido, conocer cuales ejercicios son capaces de generar una mayor activación del vasto medial resulta fundamental para diseñar programas de fortalecimiento muscular más específicos, eficientes y clínicamente útiles.

Por ello, el presente estudio busca aportar evidencia objetiva, basada en electromiografía de superficie, que permita determinar cuál de los ejercicios propuestos es más efectivo en la activación del vasto medial. Establecer esto con claridad permitiría optimizar la prescripción de ejercicios en contextos donde se requiere mejorar la función del cuádriceps medial, ya sea con fines de rendimiento, prevención o recuperación. Esta información también podría aclarar si la carga excéntrica, el patrón unipodal y el componente funcional representan ventajas reales los ejercicios considerados como los más tradicionales.

## **VII. PLANTEAMIENTO DEL PROGRAMA**

### **VII.I Pregunta de investigación general**

En adultos jóvenes sanos, ¿cuál es la intensidad de la activación electromiográfica del vasto medial al realizar step-down en comparación a diferentes ejercicios de fortalecimiento de cuádriceps?

## **VIII. MATERIAL Y MÉTODOS**

Tipo de estudio transversal, analítico

### **Criterios de inclusión**

- Hombres y mujeres de 18 a 35 años.

- Con experiencia mínima de 6 meses en entrenamiento de fortalecimiento muscular.
- Sin antecedentes de enfermedades neuromusculares o musculoesqueléticas en los seis meses previos a la evaluación.
- Sin consumo de medicamentos que alteren la actividad neuromuscular (relajantes musculares, neuromodulares)

#### **Criterios de exclusión**

- Cirugía reciente de cualquier tipo.
- Piel dañada o con heridas en la zona donde se colocarán los electrodos para electromiografía de superficie.

#### **Criterios de eliminación**

- Resultados de los participantes que, según los criterios del investigador, realizaron los ejercicios con una técnica deficiente.
- Patrones eletromiográficos deficientes que impiden una medición adecuada de la señal de la EMG.

#### **Tamaño de la muestra**

El tamaño de muestra se estimó a partir de la fórmula para la comparación de más de dos medias grupales (ANOVA), utilizando el software libre “Sample Size for Designing Clinical Research” (<https://sample-size.net/correlation-sample-size/>) de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$n = \frac{k * \sigma^2 * (Z_{1-\alpha/2} + Z_{1-\beta})^2}{\Delta^2}$$

Parámetros:

- Número de grupos (k): 5
- Diferencia mínima detectable ( $\Delta$ ): 25 % entre al menos dos grupos.
- Desviación estándar ( $\sigma$ ): 15 % estimada de estudios previos.

$$n = \frac{5 * 15^2 * (1.96 + 0.84)^2}{25^2} \approx 5 \text{ participantes por grupo (total } n = 25)$$

Se requirieron 5 participantes por grupo para un total de tamaño de muestra de 25 participantes.

Se seleccionaron 10 hombres y 10 mujeres, con el fin de contar con una muestra balanceada por sexo y reducir sesgos en la activación muscular. Todos los participantes realizaron los 5 ejercicios en diferentes tiempos.

<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>				
<b>VARIABLE</b>	<b>Definición Conceptual</b>	<b>Definición Operacional</b>	<b>Unidad de Medición</b>	<b>Tipo de variable</b>
Intensidad de activación electromiográfica del vasto medial	Actividad eléctrica del músculo vasto medial medida durante diferentes ejercicios de fortalecimiento del miembro inferior.	Señal electromiográfica (EMG) capturada mediante electrodos de superficie, procesada y normalizada al valor máximo de activación registrado, expresada como porcentaje (%) de activación muscular.	% Porcentaje	Cuantitativa continua

<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>				
<b>VARIABLE</b>	<b>Definición Conceptual</b>	<b>Definición Operacional</b>	<b>Unidad de Medición</b>	<b>Tipo de variable</b>

Tipo de ejercicio de fortalecimiento del cuádriceps	Movimientos diseñados para estimular la activación y fortalecimiento del vasto medial	Ejercicios isotónicos de diferentes modalidades: Prensa de piernas, Step-ups, Step-down, desplantes, Extensiones de rodilla.	Adimensional	CUALITATIVA NOMINAL
---	---	--	--------------	---------------------

<b>CO-VARIABLES</b>				
<b>VARIABLE</b>	<b>Definición Conceptual</b>	<b>Definición Operacional</b>	<b>Unidad de Medición</b>	<b>Escala de medición</b>
Sexo	Diferenciación biológica entre hombres y mujeres	Auto reporte del participante.	Categoría (Hombre/Mujer)	Cualitativa nominal
Porcentaje de grasa corporal (%)	Proporción de tejido adiposo en relación con el peso corporal total.	Estimación del porcentaje de grasa en el cuerpo mediante bioimpedancia Eléctrica.	% Porcentaje	Cuantitativa continua

Porcentaje de masa muscular (%)	Proporción de la masa muscular en relación con el peso corporal total.	Estimación del porcentaje de masa muscular obtenido mediante bioimpedancia Eléctrica.	% Porcentaje	Cuantitativa continua
EDAD	Años transcurridos desde el nacimiento del individuo hasta el momento de inclusión al protocolo	Se registrará la edad de acuerdo a la fecha de nacimiento referida por el paciente	Años	Cuantitativa discreta

## IX. DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA Y PROCEDIMIENTOS

### Participantes

Se incluyeron veinte personas voluntarias (10 mujeres y 10 hombres) que realizaban entrenamiento de fuerza de manera regular. La evaluación se llevó a cabo en el área de acondicionamiento físico del Instituto Nacional de Rehabilitación “Luis Guillermo Ibarra Ibarra” (INRLGII) en mayo de 2025, previa explicación de los objetivos del estudio y otorgamiento del consentimiento informado.

### Evaluación antropométrica

Previo a la ejecución de las pruebas principales, cada participante fue sometido a una evaluación de composición corporal mediante bioimpedancia eléctrica, utilizando el analizador InBody®. Para ello, se registraron previamente los datos personales requeridos por el equipo (edad, sexo, estatura), los cuales fueron introducidos directamente en el dispositivo. Con el fin de estandarizar las mediciones,

se solicitó a los participantes acudir en ayuno de al menos 4 horas, evitar el consumo excesivo de líquidos y vaciar la vejiga inmediatamente antes del registro.

Durante el procedimiento, los participantes permanecieron de pie sobre la plataforma descalzos, en posición anatómica y sin portar objetos metálicos. Se les solicitó sujetar las asas del dispositivo con ambas manos, manteniendo los brazos ligeramente separados del tronco para garantizar la correcta lectura del paso de la corriente eléctrica de baja intensidad a través del cuerpo.

### **Determinación de la carga de trabajo**

Dos días previos a la prueba principal, se calculó el 75% del 1RM (una repetición máxima) de cada participante, equivalente a una carga que pudiera levantar durante aproximadamente 10 repeticiones. Este valor fue utilizado para estandarizar la intensidad durante los ejercicios de fuerza.

### **Revisión de la técnica de ejecución**

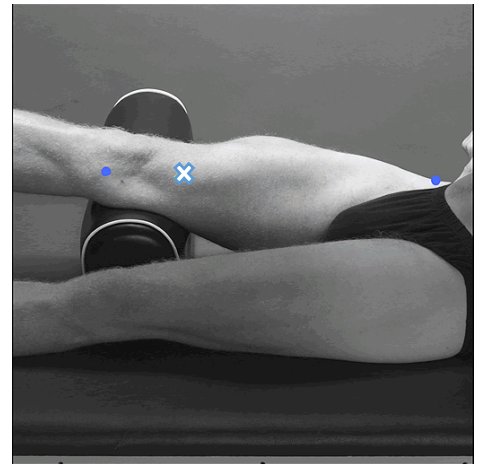
Previo a la recolección de datos, los participantes recibieron instrucciones detalladas sobre la correcta ejecución de los ejercicios. Se realizaron ensayos previos con carga para asegurar una técnica adecuada y minimizar errores durante el registro electromiográfico.

### **Colocación de electrodos para evaluación electromiográfica**

Se utilizaron sensores Trigno IM® (Delsys Inc., EE.UU.) con tecnología de electromiografía de superficie e integración de unidad inercial (IMU) (Anexo, figura 1). Los sensores se colocaron sobre el músculo vasto medial de ambos miembros inferiores, siguiendo las recomendaciones del proyecto SENIAM:

Ubicación anatómica: Los electrodos deben colocarse al 80 % de la distancia distal entre la espina ilíaca superior anterior y el espacio articular, frente al borde anterior del ligamento medial. (Anexo, figura 2).

Orientación: Casi perpendicular a la línea entre la espina ilíaca superior anterior y el espacio articular frente al borde anterior del ligamento medial.



Fijación: se utilizó cinta adhesiva de doble cara y bandas elásticas para asegurar los sensores y minimizar el artefacto por movimiento.

### **Ejercicios evaluados**

Cada participante realizó una serie de 10 repeticiones de los siguientes ejercicios, en orden aleatorio:

Prensa de pierna (leg press) (Anexo, Figura 3)

Step-up (Anexo, Figura 4)

Step-down (Anexo, Figura 5)

Desplante (Anexo, Figura 6)

Extensión de rodilla (Anexo, Figura 7)

Se otorgó un tiempo de descanso de 2 minutos entre cada ejercicio para evitar la acumulación de fatiga.

### **Registro y procesamiento de la señal electromiográfica**

La señal de electromiografía de superficie (sEMG) fue registrada durante la ejecución de cada ejercicio. El procesamiento de la señal incluyó:

Filtrado: se aplicaron filtros pasa altas y pasa bajas para eliminar ruido y mejorar la calidad de la señal.

Cálculo del RMS: se utilizó el valor cuadrático medio (RMS) como medida de activación muscular.

Normalización: las señales fueron normalizadas utilizando el valor máximo de activación eléctrica registrado en todos los ejercicios para cada participante, expresándose en porcentaje. Para segmentar la señal correspondiente a cada repetición, se utilizaron los datos de aceleración provenientes de la unidad inercial incluida en cada sensor, los cuales fueron filtrados con un filtro pasa bajas de 10 Hz. Esto permitió definir los eventos de inicio y fin de cada ejercicio.

## **Análisis estadístico**

El análisis estadístico se realizó utilizando el software JASP (versión 0.19.3.0). Para determinar la distribución de los datos, se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, complementada con la inspección visual de gráficos Q-Q plot, lo que permitió confirmar la normalidad de las variables. En consecuencia, los resultados fueron expresados como media y desviación estándar.

Para comparar la activación electromiográfica del vasto medial entre los cinco ejercicios evaluados, se empleó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía para muestras relacionadas. En los casos donde se identificaron diferencias significativas, se realizó un análisis post hoc de Tukey para comparaciones múltiples para identificar las diferencias específicas entre los grupos de estudio.

## **X. RESULTADO**

### **X.I Descripción de la muestra de estudio.**

La edad promedio fue de  $27.6 \pm 3.2$  años, con un índice de masa corporal (IMC) de  $24.9 \pm 2.1$  kg/m<sup>2</sup>. Respecto a la composición corporal, las mujeres presentaron un mayor porcentaje de masa

grasa ( $31 \pm 5.6$  %) en contraste con los hombres ( $20.9 \pm 6.0$  %), mientras que el grupo masculino exhibió una mayor masa músculo esquelética ( $44.6 \pm 3.6$  %) frente al grupo femenino ( $39.9 \pm 5.8$  %) (Tabla 1).

**TABLA 1: DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA DE ESTUDIO**

Variable	Total n=20	Mujeres n=10	Hombres n=10
Edad (años )	$27.6 \pm 3.2$	$29.2 \pm 2.4$	$26 \pm 3.3$
Talla (cm)	$165.3 \pm 8.9$	$159 \pm 3.5$	$171 \pm 8.4$
Peso (kg)	$69.2 \pm 10.7$	$64.0 \pm 5.7$	$74 \pm 12.9$
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	$24.9 \pm 2.1$	$24.7 \pm 1.8$	$25.1 \pm 2.4$
Masa grasa (%)	$26 \pm 7.7$	$31 \pm 5.6$	$20.9 \pm 6.0$
Masa músculo esquelética (%)	$42.2 \pm 5.3$	$39.9 \pm 5.8$	$44.6 \pm 3.6$

Valores expresados como promedio y desviación estándar; IMC: Índice de masa corporal .

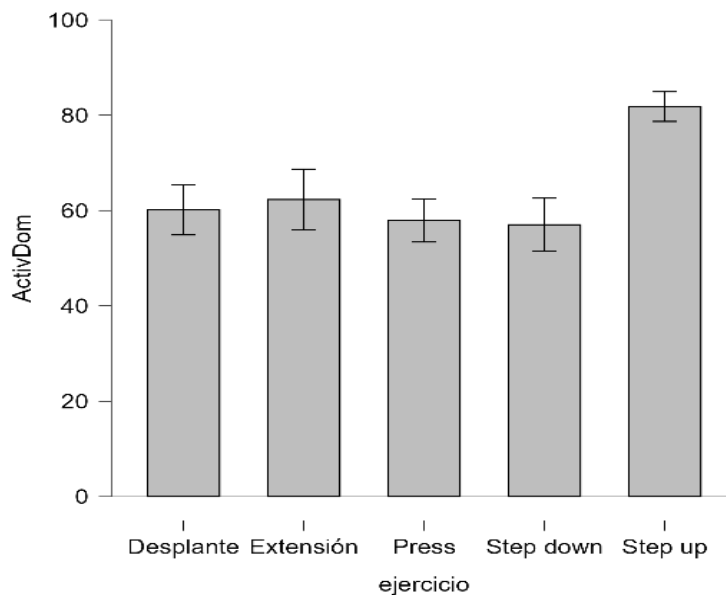
## **XII. Activación muscular del vasto medial en diferentes ejercicios.**

En el total de la muestra, se observa una mayor activación muscular del vasto medial en la pierna dominante con el ejercicio step-up ( $81.8 \pm 6.7$  %), seguido de la extensión de rodilla ( $62.3 \pm 13.6$  %) y el desplante ( $60.1 \pm 11.2$ ). En contraste, los ejercicios con menor activación fueron el press de pierna pierna ( $57.9 \pm 9.7$  %) y el step-down ( $57.0 \pm 11.9$  %).

El ejercicio step-up presentó una activación muscular más homogénea entre los participantes, con un coeficiente de variación menor ( $CV = 0.082$ ), respecto a los otros ejercicios. Por el contrario, la extensión de rodilla presentó el coeficiente de variación más elevado ( $CV = 0.218$ ), lo que sugiere una mayor variabilidad interindividual en este patrón de activación (Tabla 2, Figura 1).

**Tabla 2. Porcentaje de activación del vasto medial en la pierna dominante en todos los participantes.**

Ejercicio	N	Media	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
Desplante	20	60.126	11.157	0.186
Extensión de rodilla	20	62.299	13.608	0.218
Press de pierna	20	57.929	9.662	0.167
Step down	20	57.031	11.925	0.209
Step up	20	81.816	6.687	0.082



**FIGURA 1:** Porcentaje de activación del vasto medial en la pierna dominante en todos los participantes.

Al comparar los niveles de activación del vasto medial de la pierna dominante entre los distintos ejercicios evaluados, el ejercicio step-up presentó una activación significativamente mayor del vasto

medial en comparación con todos los demás. En términos específicos, la diferencia media fue de -21.7 % respecto al desplante, -19.5 % frente a la extensión de rodilla, -23.9 % comparado con el press de pierna, y -24.8 % frente al step-down, siendo todas estas diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.001$ ). No se observaron diferencias significativas entre los ejercicios restantes entre sí (desplante, extensión, press y step-down) (Tabla 3).

**Tabla 3. Comparación entre diferentes ejercicios de activación del vasto medial mediante ANOVA y prueba de TUKEY (pierna dominante)**

95% IC para la diferencia de medias					
		Diferencia de medias	Mínimo	Máximo	$p_{\text{tukey}}$
<b>Desplante</b>	Extensión	-2.173	-11.725	7.380	0.969
	Press	2.197	-7.355	11.749	0.968
	Step down	3.095	-6.457	12.648	0.896
	Step up	-21.690	-31.242	-12.138	< 0.001***
<b>Extensión</b>	Press	4.369	-5.183	13.922	0.709
	Step down	5.268	-4.284	14.820	0.543
	Step up	-19.518	-29.070	-9.965	< 0.001***
<b>Press</b>	Step down	0.898	-8.654	10.451	0.999
	Step up	-23.887	-33.439	-14.335	< 0.001***
<b>Step down</b>	Step up	-24.785	-34.338	-15.233	< 0.001***

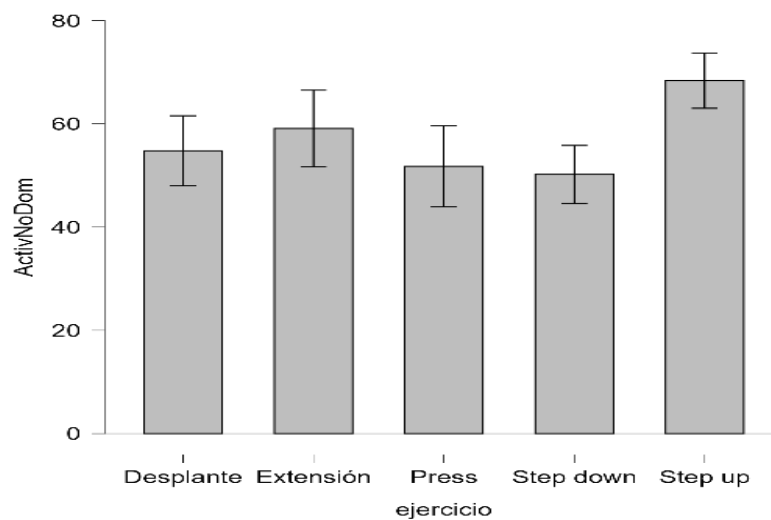
\*\*\* Diferencia significativa ( $p < .001$ )

En la pierna no dominante, el ejercicio que mostró la mayor activación del vasto medial fue el step-up ( $68.4 \pm 11.4$  %), seguido por la extensión de rodilla ( $59.1 \pm 15.8$  %) y el desplante ( $54.8 \pm 14.5$  %). Los valores más bajos se observaron en el press de pierna ( $51.8 \pm 16.7$  %) y el step-down ( $50.2 \pm 12.0$  %). Al analizar el coeficiente de variación, el step-up presentó nuevamente el coeficiente de

variación más bajo ( $CV = 0.167$ ), lo que indica una respuesta más uniforme entre los participantes. Por el contrario, el press de pierna mostró la mayor variabilidad interindividual ( $CV = 0.323$ ) (Tabla 4).

**Tabla 4. Porcentaje de activación del vasto medial en la pierna no dominante en todos los participantes.**

Ejercicio	N	Media	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
Desplante	20	54.785	14.494	0.265
Extensión de rodilla	20	59.119	15.813	0.267
Press de pierna	20	51.771	16.730	0.323
Step down	20	50.227	12.024	0.239
Step up	20	68.367	11.430	0.167



**FIGURA 2:** Porcentaje de activación del vasto medial en la pierna no dominante en todos los participantes.

No hubo diferencias estadísticamente significativas entre la mayoría de los ejercicios evaluados en cuanto a la activación del vasto medial, con excepción entre el ejercicio Step-down y Step-up, donde la diferencia en la activación fue de 20.4 %. Este hallazgo indica que, al menos en la pierna no dominante, el step-up recluta el vasto medial con una intensidad significativamente superior al step-down. En contraste, todos los demás ejercicios activan de manera similar al vasto medial (Tabla 5).

**Tabla 5. Comparación entre diferentes ejercicios de activación del vasto medial mediante ANOVA y prueba de TUKEY (pierna no dominante)**

		95% IC para la diferencia de medias			
		Diferencia de medias	Mínimo	Máximo	p <sub>tukey</sub>
<b>Desplante</b>	Extensión	-0.731	-20.020	18.558	1.000
	Press	3.615	-15.674	22.904	0.983
	Step down	8.495	-10.794	27.784	0.722
	Step up	-11.923	-31.212	7.366	0.411
<b>Extensión</b>	Press	4.346	-14.943	23.635	0.968
	Step down	9.226	-10.063	28.515	0.656
	Step up	-11.192	-30.481	8.097	0.475
<b>Press</b>	Step down	4.880	-14.409	24.169	0.951
	Step up	-15.538	-34.827	3.751	0.167
<b>Step down</b>	Step up	-20.418	-39.707	-1.129	0.033*

\* Diferencia significativa ( $p < 0.05$ )

Al comparar la activación del vasto medial entre la pierna dominante y la no dominante en todos los participantes, se observa una mayor activación en la extremidad dominante en los cinco

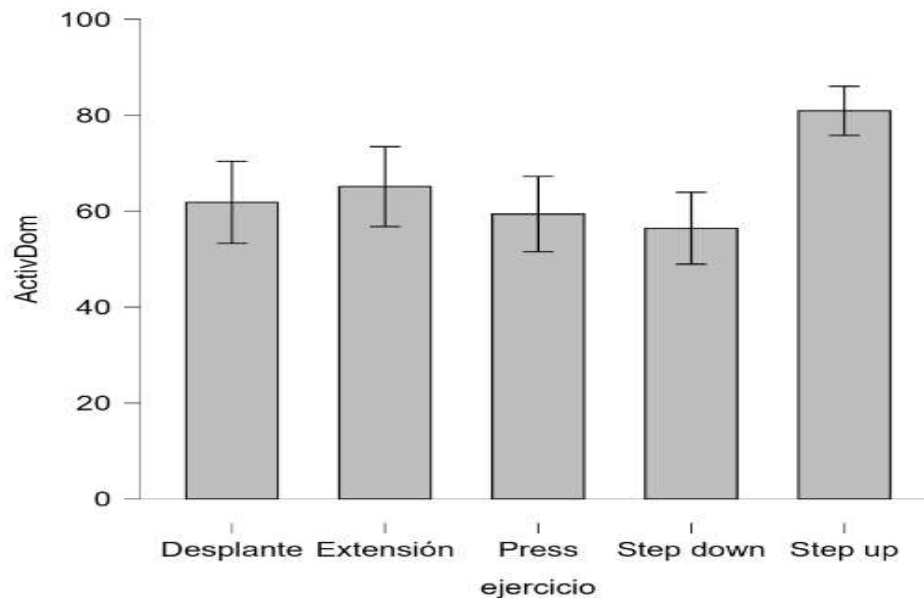
ejercicios analizados, lo que refleja una activación muscular sistemáticamente superior en la pierna dominante.

### **X.III Análisis de activación del vasto medial en la pierna dominante considerando el sexo.**

Tanto en hombres como en mujeres, el ejercicio de step-up produjo la mayor activación promedio del vasto medial en la pierna dominante. En hombres, la media fue de  $80.91\% \pm 7.15$  (Tabla 6 , Figura 3) y en mujeres de  $82.71\% \pm 6.45$  (Tabla 7 , Figura 4), lo que representa el valor más alto en ambos grupos. Además, el coeficiente de variación fue el más bajo en el step-up en ambos sexos (0.088 en hombres y 0.078 en mujeres), lo que indica una alta consistencia interindividual en la activación de este músculo durante ese ejercicio. En el resto de los ejercicios, los niveles de activación fueron más bajos y con mayores coeficientes de variación. En hombres, el segundo ejercicio con mayor activación fue la extensión de rodilla ( $65.13 \pm 11.65$ ; CV = 0.179), seguido por el desplante ( $61.84 \pm 11.96$ ), la prensa de pierna ( $59.38 \pm 10.99$ ) y finalmente el step-down ( $56.44 \pm 10.47$ ). En mujeres, el orden fue similar, pero con valores generales más bajos: extensión ( $59.47 \pm 15.41$ ), desplante ( $58.41 \pm 10.64$ ), step-down ( $57.62 \pm 13.78$ ) y prensa de pierna ( $56.48 \pm 8.46$ ).

**Tabla 6. Porcentaje de activación del vasto medial en la pierna dominante (Hombres)**

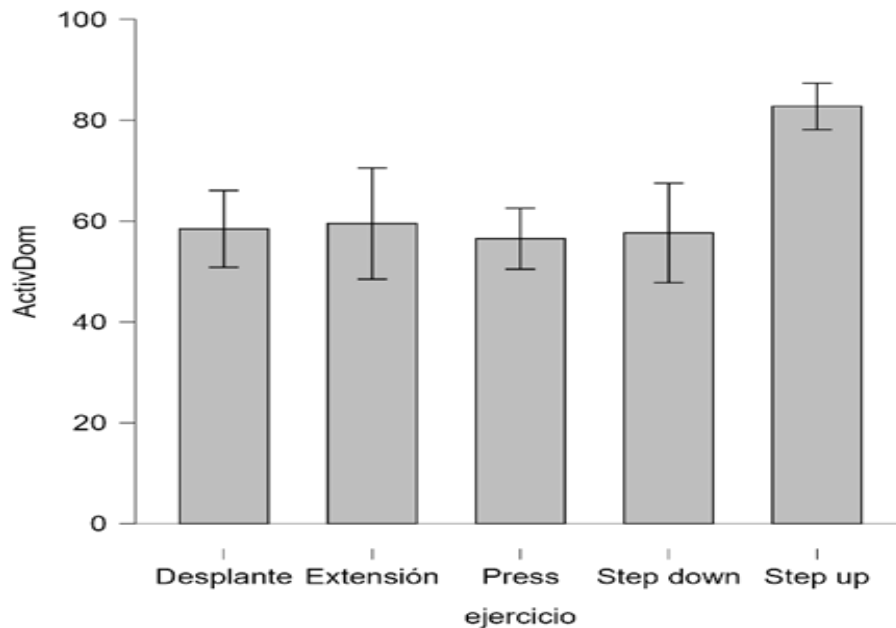
<b>Ejercicio</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación Estándar</b>	<b>Coficiente de variación</b>
<b>Desplante</b>	10	61.841	11.960	0.193
<b>Extensión de rodilla</b>	10	65.125	11.649	0.179
<b>Press de pierna</b>	10	59.379	10.993	0.185
<b>Step down</b>	10	56.438	10.469	0.185
<b>Step up</b>	10	80.918	7.146	0.088



**FIGURA 3:** Porcentaje de activación del vasto medial en la pierna dominante (Hombres).

**Tabla 7. Porcentaje de activación del vasto medial en la pierna dominante (Mujeres)**

Ejercicio	N	Media	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
Desplante	10	58.411	10.641	0.182
Extensión de rodilla	10	59.472	15.410	0.259
Press de pierna	10	56.479	8.460	0.150
Step down	10	57.623	13.778	0.239
Step up	10	82.714	6.446	0.078



**FIGURA 4:** Porcentaje de activación del vasto medial en la pierna dominante (Mujeres).

## XI. DISCUSION

Los resultados del presente estudio evidenciaron que el step-up fue el ejercicio que generó la mayor activación del vasto medial entre los cinco evaluados (step-up, step-down, desplante, leg press y extensión de rodilla). Esta superioridad fue consistente tanto en la pierna dominante como en la no dominante. Este comportamiento sugiere que el step-up no solo es efectivo para reclutar el vasto medial, sino que además ofrece una activación estable y reproducible, independientemente de la lateralidad o el sexo del individuo.

La eficacia de este ejercicio se encuentra respaldada por el estudio de Muyor et al. (2020) quienes evaluaron la actividad electromiográfica del vasto medial durante el lateral step-up, desplante y sentadilla monopodal. En sus hallazgos, el step-up y la sentadilla unipodal produjeron los niveles más altos de activación, atribuibles a la carga unipodal y al requerimiento de estabilidad en el plano frontal, factores que también estuvieron presentes en nuestro protocolo. Esta exigencia postural y de control neuromuscular podría explicar la alta consistencia interindividual observada en nuestros resultados, especialmente en la pierna dominante.

A demás Irish et al. (2010) demostraron que los ejercicios de cadena cinética cerrada, como la sentadilla con aducción isométrica de cadera, generan una mayor activación del vasto medial en comparación con ejercicios de cadena abierta como la extensión de rodilla. Este hallazgo resulta relevante para la interpretación de nuestros resultados, ya que el step-up, puede compartir componentes funcionales similares a la aducción isométrica durante la sentadilla. Esta coactivación de la musculatura estabilizadora en el plano frontal podría favorecer un entorno mecánico que estimule de forma más efectiva al vasto medial<sup>14</sup>.

En contraste, el leg press presentó niveles de activación considerablemente más bajos, particularmente en la pierna no dominante. Aunque Martín-Fuentes et al. (2021) señalaron que el leg press es capaz de activar el vasto medial de forma efectiva, sin que variables como la posición del pie o el sexo influyeran significativamente, nuestros resultados revelaron una mayor dispersión interindividual. Esto sugiere que, en condiciones menos controladas, la menor demanda de estabilización activa y el apoyo bilateral pueden reducir el estímulo sobre el vasto medial, afectando su consistencia.

La extensión de rodilla mostró una activación intermedia, lo cual es coherente con estudios previos que indican que este ejercicio resulta útil para estimular el vasto medial, especialmente en los últimos grados del rango de extensión. Sin embargo, su efectividad puede verse limitada por su realización en posición sedente y la escasa implicación del control postural, elementos fundamentales en la activación funcional del aparato extensor de la rodilla.

Una observación relevante fue la diferencia entre extremidades, ya que la pierna dominante mostró sistemáticamente una mayor activación del vasto medial en todos los ejercicios evaluados. Esta asimetría podría estar relacionada con múltiples factores. En primer lugar, la lateralidad funcional desempeña un papel clave, ya que la mayoría de las personas tienden a utilizar de forma preferente una extremidad para tareas motoras específicas como patear, impulsarse, frenar o realizar cambios de dirección, lo que promueve una mayor familiarización con los patrones de movimiento funcional y una activación neuromuscular más eficiente.

Asimismo, la pierna dominante suele presentar mejor equilibrio dinámico y control postural, características que están estrechamente ligadas a una mayor estabilidad articular y a una activación más precisa del aparato extensor de la rodilla.

Finalmente, la revisión sistemática de Smith et al. (2009) refuerza la idea de que, aunque no es posible aislar completamente la activación del vasto medial, existen ejercicios que favorecen su reclutamiento preferencial. En ese contexto, el step-up por su ejecución en cadena cinética cerrada, carga unipodal y alta demanda estabilizadora reúne las características clave para ser una herramienta sólida en programas de prevención y rehabilitación de patologías relacionadas con la inestabilidad patelofemoral y síndrome doloroso patelofemoral.

### **Limitaciones del estudio**

A pesar de los resultados obtenidos, este estudio presenta algunas limitaciones que deben ser consideradas al interpretar los hallazgos. En primer lugar, si bien el tamaño de muestra fue equilibrado por sexo y los participantes contaban con experiencia en el entrenamiento de fuerza, puede limitar la generalización de los resultados a otras poblaciones con diferentes características, clínicas o deportivas. Futuros estudios podrían abordar estas limitaciones mediante el uso de muestras más amplias, análisis cinemáticos integrados y seguimiento longitudinal en contextos de rehabilitación. Todos los participantes eran adultos jóvenes, físicamente activos y sin patología musculoesquelética, lo que restringe la aplicabilidad de los resultados a poblaciones clínicas, como pacientes con dolor patelofemoral o tras cirugía de rodilla.

En segundo lugar, la medición de la actividad electromiográfica se realizó únicamente sobre el vasto medial, sin registrar simultáneamente la activación de otros músculos sinérgicos como el vasto lateral, glúteo medio o bíceps femoral, lo que impide establecer relaciones entre patrones de coactivación muscular o posibles compensaciones durante los ejercicios.

Además, si bien se controlaron algunas variables de ejecución (como el ritmo y el rango de movimiento), no fue posible estandarizar completamente el grado de activación voluntaria o la técnica individual de cada participante, lo que podría haber introducido cierta variabilidad interindividual en los valores registrados.

Otra limitación importante es que no se evaluó el ángulo específico de flexión de rodilla en el que se alcanzó la máxima activación del vasto medial, lo cual podría haber aportado información valiosa sobre la biomecánica específica de cada ejercicio. Tampoco se diferenciaron las fases concéntrica y excéntrica del movimiento, lo que podría influir en los niveles de activación observados.

## **XII. CONCLUSION**

El ejercicio step-up se posiciona como una estrategia altamente eficaz para la activación del vasto medial, destacando por su capacidad para generar una respuesta electromiográfica elevada, con baja variabilidad interindividual. Su patrón de ejecución funcional, en cadena cinética cerrada y con demanda de estabilidad unipodal, lo convierte en una herramienta terapéutica valiosa en el contexto de la rehabilitación del síndrome patelofemoral e inestabilidad rotuliana. Además, al ser un ejercicio de “fácil ejecución” refuerza su utilidad clínica y facilita su integración en programas de fortalecimiento muscular dirigidos a mejorar el control y la estabilidad de la articulación patelofemoral.

A la luz de estos resultados, el step-up puede recomendarse como una opción preferente en rutinas de rehabilitación funcional, prevención de disfunciones rotulianas y entrenamiento específico del cuádriceps medial. Su ejecución sencilla, sin necesidad de equipamiento sofisticado, favorece su aplicación tanto en entornos clínicos como deportivos.

## **XIII. REFERENCIAS**

1. Vergara Amador E, Román Chalarca MA. Descripción anatómica del músculo vasto medial. ¿Existe realmente el músculo vasto medial oblicuo? *Salud Uninorte*. 2011;27(1):73–84.
2. Standring S. *Gray's anatomy: the anatomical basis of clinical practice*. 38th ed. Edinburgh: Elsevier Churchill Livingstone; 2005. p.1464.

3. Lieb FJ, Perry J. Quadriceps function. An anatomical and mechanical study using amputated limbs. *J Bone Joint Surg Am.* 1968;50(8):1535–48.
4. Kapandji IA. *Fisiología articular: esquemas comentados de mecánica humana. Vol. 2: Miembro inferior. 6a ed. Barcelona: Masson; 2006.p.146.*
5. Pattyn E, Verdonk P, Steyaert A, Vanden Bossche L, Van den Broecke W, Thijs Y, et al. Vastus medialis obliquus atrophy: does it exist in patellofemoral pain syndrome? *Am J Sports Med.* 2011 39(7):1450-55).
6. Dong C, Li M, Hao K, Wang Y, Zhang H, Yang Y, et al. Dose atrophy of vastus medialis obliquus and vastus lateralis exist in patients with patellofemoral pain syndrome. *J Orthop Surg Res.* 2021;16:128.
7. Beit Ner E, Rabau O, Essa A, Yaari L, Velkes S, Rath E, et al. Evaluating the association between vastus medialis oblique characteristics and patellar instability: a comprehensive case-control study. *Sports Health.* 2024;0(0). DOI: 10.1177/19417381241300159.
8. Guzmán-Muñoz E, Méndez-Rebolledo G. *Electromiografía en las ciencias de la rehabilitación. Salud Uninorte.* 2018;34(3):753–65.
9. Vigotsky AD, Halperin I, Lehman GJ, Trajano GS, Vieira TMM. Interpreting signal amplitudes in surface electromyography studies in sport and rehabilitation sciences. *Front Physiol.* 2018;8:985.
10. Cavalcanti Garcia MA, Vieira TMM. *La electromiografía de superficie: ¿qué es, qué se busca con ella y cómo usarla? Rev And Med Deporte.* 2011;4(1):17–28.
11. Smith TO, Bowyer D, Dixon J, Stephenson R, Chester R, Donell ST. Can vastus medialis oblique be preferentially activated? A systematic review of electromyographic studies. *Physiother Theory Pract.* 2009;25(2):69–98.
12. Signorile JF, Lew KM, Stoutenberg M, Pluchino A, Lewis JE, Gao J. Range of motion and leg rotation affect electromyography activation levels of the superficial quadriceps muscles during leg extension. *J Strength Cond Res.* 2014;28(9):2536–45.
13. Martín-Fuentes I, Oliva-Lozano JM, Muyor JM. Influence of feet position and execution velocity on muscle activation and kinematic parameters during the inclined leg press exercise. *Sports Health.* 2021;14(3):317–27.

14. Muyor JM, Martín-Fuentes I, Rodríguez-Ridao D, Antequera-Vique JA. Electromyographic activity in the gluteus medius, gluteus maximus, biceps femoris, vastus lateralis, vastus medialis and rectus femoris during the monopodal squat, forward lunge and lateral step-up exercises. *PLoS One*. 2020;15(4):e0230841.
15. Irish SE, Millward AJ, Wride J, Haas BM, Shum GL. The effect of closed-kinetic chain exercises and open-kinetic chain exercise on the muscle activity of vastus medialis oblique and vastus lateralis. *J Strength Cond Res*. 2010;24(5):1256–62.

### XIII. ANEXO.



**Figura 1.** Sensores Trigno IM® (Delsys Inc., EE.UU.) con tecnología de electromiografía de superficie e integración de unidad inercial (IMU).



**Figura 2.** Colocación de electrodos de EMG de superficie sobre el músculo vasto medial, siguiendo las recomendaciones de SENIAM. (Electromiografía de Superficie para la Evaluación No Invasiva de Músculos).



**Figura 3.** Prensa de pierna unilateral.



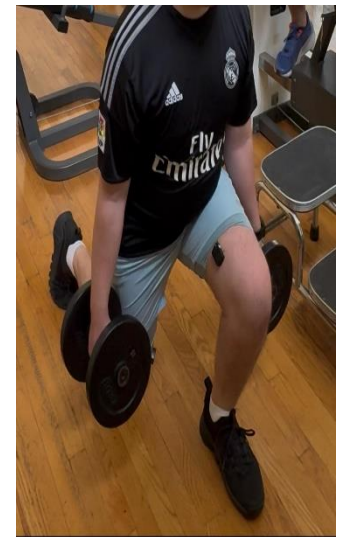
**Figura 4.** Step-up.



**Figura 5.** Step-Down.



**Figura 6.** Extensión de pierna unilateral.



**Figura 7.** Desplantes