

**PERFIL CINÉTICO Y CINEMÁTICO DEL SALTO CONTRAMOVIMIENTO
EN DIFERENTES DEPORTES DE ALTO RENDIMIENTO EN COLOMBIA.**

Ana María Anaya Almanza

Universidad El Bosque

Facultad de Medicina

Especialización en Medicina del Deporte

Bogotá, 2023

**PERFIL CINÉTICO Y CINEMÁTICO DEL SALTO CONTRAMOVIMIENTO
EN DIFERENTES DEPORTES DE ALTO RENDIMIENTO EN COLOMBIA.**

Investigador principal: Ana María Anaya Almanza

Asesores temáticos: Dr. Juan Manuel Correa Sanabria

Dra. Andrea Ávila Bogota

Asesor metodológico: Dr. Alberto Lineros Montañez

Asesor estadístico: Dr. Oscar Ortiz Maluendas

Universidad El Bosque

Facultad de Medicina

Especialización en Medicina del Deporte

Centro de Ciencias del Deporte, Ministerio del Deporte

Bogotá, 2023

Nota de salvedad de responsabilidad institucional

La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velará por el rigor científico, metodológico y ético de este, en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia.

Agradecimientos

A los Doctores Juan Manuel Correa, Andrea Ávila, Oscar Ortiz y Alberto Lineros por su dedicación
para la elaboración de este trabajo de grado.

Al Doctor Juan Manuel Sarmiento por su guía durante mi proceso formativo en la especialización de
medicina del deporte.

Al Ministerio del Deporte, en especial al laboratorio de biomecánica del Centro de Ciencias del
Deporte.

A la Universidad El Bosque.

A la Fundación Clínica Shaio, especialmente al centro de prevención cardiovascular.

Dedicatoria

Este trabajo de investigación está dedicado a:

A mi familia, en especial a mis padres por acompañarme y apoyarme en este proceso.

A mis amigos y compañeros de la especialidad por compartir conmigo en los momentos más difíciles.

A mis profesores por su dedicación en mi formación.

Guía de contenido

1. Resumen	10
2. Abstract	11
3. Introducción	12
4. Problema de investigación	13
5. Pregunta de investigación	14
6. Justificación	15
7. Marco teórico	16
8. Objetivos	27
8.1 Objetivo general	27
8.2 Objetivos específicos	27
9. Propósito	28
10. Diseño metodológico	29
10.1 Tipo de estudio	29
10.2 Lugar del estudio	29
10.3 Población de referencia	29
10.4 Criterios de inclusión	29
10.5 Criterios de exclusión	29
10.6 Sesgos	30
10.7 Variables	30
10.8 Matriz de variables	31
10.9 Técnicas e instrumentos de recolección	32
11. Materiales y métodos	33

12. Análisis estadístico	35
13. Aspectos éticos	36
14. Resultados	37
15. Discusión	44
16. Fortalezas y limitaciones	54
17. Conclusiones	55
18. Referencias	56

Lista de tablas y gráficos

Tablas

Tabla 1. *Tabla de variables (página 31)*

Tabla 2. *Características demográficas de los sujetos (página 37)*

Tabla 3. *Variables cinemáticas del CMJ por deporte. Mediana (RIC)(página 38)*

Tabla 4. *Variables cinéticas del CMJ por deporte. Mediana (RIC)(página 39)*

Tabla 5. *Distribución de variables del CMJ por cuartiles para cada deporte (página 42)*

Figuras

Figura 1. *Fases del salto contramovimiento (página 21)*

Figura 2. *Parámetros cinéticos y cinemáticos del CMJ (página 23)*

Figura 3. *Box plot distribución de variables del CMJ por deportes (página 41)*

Abreviaciones

CMJ: salto contramovimiento

SJ: salto desde sentadilla (squat jump)

TDF: tasa de desarrollo de la fuerza

TDF-DE: tasa de desarrollo de la fuerza en desaceleración excéntrica

TV:TC: tiempo de vuelo:tiempo de contracción

FRS: fuerza de reacción del suelo

PPC: potencia pico concéntrica

PPE: potencia pico excéntrica

PPR: potencia pico relativa

FPC: fuerza pico concéntrica

FPE: fuerza pico excéntrica

AM: altura máxima

IMC: índice de masa corporal

BMX: ciclismo BMX (bicycle motocross)

Resumen

Objetivo: Determinar cuál es el perfil de diferentes deportes del alto rendimiento colombiano, de acuerdo con variables cinéticas como fuerza y potencia, y cinemáticas como tiempo y altura del salto contramovimiento. **Métodos:** se revisó la base de datos de registros hechos a través de las plataformas de fuerza en el Centro de Ciencias del Deporte, del Ministerio del Deporte y se seleccionaron pruebas de salto contramovimiento (CMJ) de atletas de alto rendimiento pertenecientes a seis deportes. Para cada deporte, se determinaron medidas de tendencia central y dispersión para la altura del salto, tiempo de vuelo: tiempo de contracción, fuerza y potencia relativas en fase excéntrica y concéntrica y tasa de desarrollo de la fuerza en desaceleración excéntrica (TDF-DE). Cada variable fue estratificada por sexo y distribuida por cuartiles. **Resultados:** se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en el comportamiento de todas las variables estudiadas entre los deportes. BMX y levantamiento de pesas, son los deportes con mayores valores en los resultados de las variables estudiadas. En general, los hombres mostraron mayores resultados en las variables que las mujeres, excepto en la TDF-DE. **Conclusiones:** dadas las diferencias encontradas entre los deportes estudiados, existe un perfil diferente en el comportamiento de las variables para cada uno de ellos, relacionado con las necesidades que cada disciplina requiere en sus habilidades técnicas y la preparación de cada deportista para suplirlas. Adicionalmente la identificación de la distribución de variables por percentiles y sexo permite hacer una interpretación más adecuada de los resultados a la hora de evaluar a un deportista.

Palabras clave: deportes, biomecánica, fuerza muscular, medicina del deporte.

Abstract

Objective: to determine the profile of different Colombian high performance sports, according to kinetic variables such as force and power, and kinematics such as time and height of the countermovement jump. **Methods:** the force platforms database at the Sports Sciences Center of the Ministry of Sport was reviewed and countermovement jump (CMJ) tests of high-performance athletes belonging to six sports were selected. For each sport, measures of central tendency and dispersion were determined for jump height, flight time:contraction time, relative force and power in the eccentric, concentric phase, and rate of force development. Each variable was stratified by sex and distributed by quartiles. **Results:** significant differences ($p<0.05$) between sports were found in all the variables studied. BMX and weightlifting are the sports with the highest values in the results of the variables studied. In general, men showed higher results in the variables than women, except in the rate of strength development. **Conclusions:** given the differences found between the sports studied, there is a different profile in the behavior of the variables for each of them, related to the needs that each discipline requires in its technical skills and the preparation of each athlete to supply them. Additionally, the identification of the distribution of variables by percentiles and sex allows a more adequate interpretation of the results when evaluating an athlete.

Key words: sports, biomechanical phenomena, muscle strength, sports medicine.

Introducción

El cuerpo humano se expone a la interacción constante de fuerzas internas y externas para desenvolverse en el espacio (1). En el rendimiento deportivo, la medición y monitorización de dichas fuerzas es fundamental para comprender el comportamiento corporal en habilidades técnicas específicas. Entre ellas, se destaca la habilidad de saltar, pues está involucrada en numerosos deportes (2, 3).

El estudio cinético y cinemático del salto vertical, es decir, la descripción del movimiento y la medición de las fuerzas involucradas en él, se ha convertido en una herramienta de gran utilidad en la caracterización y monitorización de los deportistas (2, 4). Este es un proceso complejo que permite evaluar aspectos relacionados con la respuesta del deportista a las cargas de entrenamiento. De manera superficial, dicha respuesta puede estar dada por una adecuada adaptación a las cargas o acumulación de fatiga, asociada a riesgo de lesión osteomuscular (5).

Una de las pruebas de salto vertical que ha cobrado mayor importancia a lo largo de los años es el salto contramovimiento (CMJ) en plataformas de fuerza (4, 6). Las características de su ejecución permiten analizar la fuerza y potencia integrando los aspectos fisiológicos y mecánicos del movimiento (2, 7, 8).

A pesar de la importancia del análisis del CMJ en el rendimiento deportivo, existen pocos estudios que definan el perfil de diferentes deportes en el desempeño en el salto. Teniendo en cuenta que cada deporte requiere diferentes adaptaciones en los deportistas, el presente estudio busca describir el comportamiento en diferentes variables del CMJ para varios deportes en el alto rendimiento colombiano, conocimiento de gran utilidad pues cada vez son más frecuentes estas mediciones, permitiendo al médico del deporte retroalimentar a los entrenadores sobre el proceso de preparación física y realizar intervenciones de acuerdo con los resultados.

Problema de investigación

El conocimiento científico en el rendimiento deportivo ha sido cada vez más relevante para generar estrategias que permitan mejorar el desempeño y la salud de los atletas. Cada vez es más importante conocer la respuesta del deportista al entrenamiento para direccionar de mejor manera el mismo. Esta respuesta puede ser medida por parámetros de diversa índole en el proceso de monitorización de cargas. (1, 2). Sin embargo, previo a estructurar el proceso de monitorización, es importante conocer el comportamiento de ciertas variables involucradas en él. Entre ellas se destaca el estudio del salto vertical en los deportistas.

La capacidad de saltar es fundamental en varios deportes (1), pero más allá de la capacidad de saltar, el salto vertical realizado en plataformas de fuerza es uno de los indicadores más importantes en el estudio cinético y cinemático del movimiento (8, 9). El salto contramovimiento (CMJ) es una de las pruebas de salto vertical más utilizadas (4) dado que permite realizar una integración entre diferentes componentes de la fuerza (1) y se ha estudiado ampliamente en comparación a otros tipos de salto.

Existen estudios que evalúan el CMJ en deportistas de alto rendimiento. Sin embargo, algunos de ellos incluyen atletas de un único deporte (3, 10). En aquellos que incluyen varios deportes (6, 11, 12), la mayoría no incluye variables novedosas que han tomado gran relevancia con el paso de los años, como la tasa de desarrollo de la fuerza (TDF) y el tiempo de vuelo: tiempo de contracción (8). Conocer el comportamiento o el perfil de variables tradicionales como altura del salto y de variables emergentes en deportes insignia en Colombia, permitiría realizar un análisis más específico del salto. Como se mencionó previamente, esto brinda la posibilidad de intervenir en la preparación de los deportistas, pues cada deporte requiere adaptaciones diferentes para el rendimiento. Además, estos parámetros contribuyen en la detección de talentos y en la evaluación del estado físico de los deportistas.

Pregunta de investigación

¿Cuál es el perfil de seis deportes de alto rendimiento en Colombia incluyendo boxeo, levantamiento de pesas, voleibol sala, voleibol playa, ciclismo BMX y marcha atlética, de acuerdo con variables cinéticas como fuerza y potencia, y variables cinemáticas como tiempo y altura del salto contramovimiento, entre enero del año 2017 y junio del año 2022?

Justificación

En los deportistas de alto rendimiento, existen procesos complejos relacionados con el desempeño que deben ser abordados sin dejar de lado la salud del deportista, de manera que se atiendan aspectos psicológicos, nutricionales, fisiológicos y físicos. Este último aspecto, a su vez, es de gran complejidad y se compone de numerosos procesos que deben ser evaluados.

Uno de ellos es la monitorización de cargas, esta ha cobrado mayor importancia con el paso de los años y se ha tornado en un proceso estructurado de integración de información para beneficiar el rendimiento y el estado de salud de los deportistas. En este proceso, el CMJ ha tomado gran relevancia para analizar variables cinéticas y cinemáticas del movimiento. Estas variables son importantes en el entendimiento de las adaptaciones relacionadas al entrenamiento (1).

Teniendo en cuenta lo anterior, es fundamental identificar el comportamiento de algunas variables del CMJ de acuerdo con diferentes deportes. Esto tiene implicaciones prácticas importantes, cada deporte requiere una preparación física diferente (12), debido a que en cada uno de ellos se requieren capacidades físicas y respuestas neuromusculares específicas. Conocerlas, permite evaluar el estado físico de los deportistas y la adaptación que el entrenamiento ha generado. Además, disponer de cuartiles por deporte permitiría evaluar el desempeño de un deportista de acuerdo con una línea de base establecida y a partir de ahí estructurar un proceso de seguimiento que se integre a la monitorización de cargas, proceso fundamental en la práctica de la medicina del deporte. Lo anterior implica la generación de nuevos conocimientos que permitan una toma de decisiones más precisa en la preparación deportiva, contribuyendo al mejoramiento del alto rendimiento colombiano.

Marco teórico

Generalidades del salto vertical

Para comprender el comportamiento mecánico de un deportista, y por ende los procesos fisiológicos subyacentes, es importante realizar un estudio cinético y cinemático de los movimientos. El primero hace referencia al estudio de las fuerzas que se producen e interactúan en los movimientos de los cuerpos, mientras el segundo se refiere al análisis y descripción de los movimientos sin tener en cuenta las fuerzas asociadas. Este estudio biomecánico puede realizarse mediante diferentes herramientas, una de ellas es la prueba de salto vertical en plataforma de fuerza (1).

El salto vertical es una herramienta que ha tomado cada vez más relevancia y popularidad a lo largo de los años, es atractivo pues requiere mínima familiarización, es rápido de realizar y no es fatigante (2, 13), además permite evaluar el desempeño físico y por lo tanto puede ser empleado en la detección de talentos.

Esta prueba también es empleada en la monitorización de cargas internas en los deportistas (3, 14). La carga se define como un estímulo que se aplica a los sistemas biológicos del cuerpo, puede ser externa (estímulo per se) e interna. Esta última hace referencia a la respuesta que se genera en el cuerpo debido a ese estímulo. De manera que mientras la carga externa permite comprender las capacidades del atleta, el análisis de la carga interna permite identificar el estímulo apropiado para la adaptación deseada (5, 15, 16).

Aunque la monitorización de cargas mediante el salto vertical no es el objetivo del presente estudio, ya que en este proceso es necesario conocer la carga externa, para hacer una correlación que se traduzca a una intervención en el entrenamiento (1). Es importante mencionar lo anterior, pues la carga de entrenamiento inadecuada se asocia a menor desempeño deportivo y aumento de riesgo de lesiones. A

su vez, las lesiones pueden llevar a alteración de rendimiento, interrupción de entrenamiento o ausencia de competencia (17, 18). Es por esto que entender la respuesta del deportista a los estímulos impuestos en el entrenamiento es fundamental en el campo de la medicina del deporte (19), pues el proceso de preparación de un deportista no sólo depende del entrenador, sino que debe comprender un equipo multidisciplinario que involucre fisioterapia, nutrición, psicología y medicina. Siendo el rol del médico cada vez más importante en el aspecto integrador del conocimiento y en las intervenciones derivadas de acuerdo con los resultados de las pruebas.

Previo a emplear esta herramienta en la monitorización de lesiones, es importante conocer el comportamiento en las variables de fuerza y velocidad en el salto vertical (12). De manera que, ante una evaluación inicial de un deportista, sea posible examinar su desempeño con respecto a un deporte específico, entendiendo en qué condiciones físicas se encuentra, para posteriormente realizar un seguimiento adecuado incluyendo la monitorización de cargas. Como se mencionó, identificar estos perfiles en cada deporte también hace parte del proceso de detección de nuevos talentos.

Las habilidades técnicas en diferentes deportes no necesariamente implican aplicación de fuerza máxima, pero sí la variación de la fuerza o la fuerza explosiva. En el salto vertical, la potencia de miembros inferiores es uno de los principales indicadores y se obtiene multiplicando la fuerza por la velocidad. La optimización de la potencia requiere hallar la mejor relación entre estas dos variables ya que presentan una relación hiperbólica. Los parámetros de fuerza y velocidad no sólo son útiles para realizar un salto, sino también son fundamentales para realizar un movimiento corporal en la menor cantidad de tiempo (8).

Otro parámetro importante en el desempeño neuromuscular es la tasa de desarrollo de la fuerza, esta indica la tasa en la que se genera fuerza en un determinado tiempo. Por lo tanto, es fundamental en deportes que requieren fuerza explosiva con tiempos de reacción cortos. (8).

Tipos de salto vertical

Existen diferentes tipos de salto vertical, entre los más usados se encuentra el squat jump (SJ), el salto abalakov y el salto contramovimiento (CMJ). Los dos últimos involucran el ciclo estiramiento-acortamiento muscular, lo que es importante pues los deportes que involucren movimientos explosivos de los miembros inferiores, se benefician del estudio del comportamiento de este ciclo (2). Esto implica que el desempeño en este tipo de saltos integra la energía elástica producida por una fase de movimiento excéntrica, seguida por una concéntrica. La diferencia entre ellos radica en que en el salto abalakov los miembros superiores están libres y se involucran en el salto, mientras en el CMJ, los miembros superiores están fijos sobre las crestas iliacas durante todo el movimiento (1, 2).

Al utilizar el balanceo de brazos, la velocidad de despegue puede aumentar 6-10% (20, 21), además la altura del centro de masa y la velocidad en el despegue son mayores un 28% y 72% respectivamente. Esto se explica porque los miembros superiores acumulan energía al principio del salto y la transfieren al resto del cuerpo en etapas posteriores del salto, el beneficio de energía se calcula entre 0.98-1.21 J/kg (21).

Por otro lado, el SJ depende principalmente de la capacidad de reclutamiento neuromuscular, dado que permite evaluar la capacidad de desarrollar fuerza en el movimiento concéntrico puro. En un estudio evaluaron el efecto del balanceo de brazos en la potencia de las extremidades inferiores en el SJ, concluyeron que los miembros superiores aumentan significativamente la altura del salto ($p < 0.01$) y el trabajo conjunto de las articulaciones de tobillo, rodilla y cadera ($p < 0.05$) (20).

Características del CMJ

El CMJ inicia en posición de bipedestación con las manos sobre crestas ilíacas, con el propósito de eliminar el efecto del balanceo de los miembros superiores. Posteriormente se realiza flexión de rodillas y caderas con descenso del individuo hasta posición de sentadilla a 90° e inmediatamente se procede a realizar el salto vertical, debe realizarse lo más rápido posible. Como se mencionó, la ejecución del movimiento implica involucrar el ciclo estiramiento-acortamiento muscular y por lo tanto incluye el efecto de la fuerza elástica (7, 8).

Este movimiento se realiza sobre una plataforma que mide la fuerza de reacción del suelo (FRS), esta es una manifestación cinética del comportamiento de muchos componentes anatómicos del sistema neuromuscular y osteomuscular (15). Por lo tanto, el CMJ es de gran utilidad para evaluar función neuromuscular, evaluar respuesta a intervenciones en entrenamiento, monitorizar atletas y evaluar fitness (19).

Numerosas variables son medidas en la prueba. Sin embargo, el número de variables no es proporcional a la calidad de la información a analizar. Se debe buscar practicidad a la hora de comprender los resultados por parte de todos los profesionales involucrados con los deportistas, incluyendo entrenadores (22).

Para comprender el comportamiento de las variables, es necesario mencionar que las plataformas cuentan con un software capaz de integrar las variables fuerza-tiempo en diferentes fases del movimiento (**Figura 1**). Se han descrito seis fases principales en la prueba (13):

1. Fase de carga o bipedestación: en esta fase el atleta debe ubicarse en la plataforma lo más quieto posible con el fin de medir el peso corporal. Hacerlo adecuadamente es importante porque establece la línea de base en el salto y de él dependen las mediciones a realizar posteriormente.

2. Fase de descarga: en esta fase inicia el contramovimiento que implica dorsiflexión, flexión de rodillas y caderas. El inicio del movimiento se define como el instante en que se reduce la fuerza vertical, cruzando un umbral que es 5 veces la desviación estándar del peso corporal. Sin embargo, para este momento el movimiento ya ha iniciado, por lo que se recomienda tomar los datos de 30 ms previos. De acuerdo con esto, la primera fase es fundamental pues determina la sensibilidad del umbral. Esta fase finaliza cuando la fuerza vertical se equilibra nuevamente con el peso corporal.

3. Fase de frenado: en esta fase el atleta desacelera el centro de masa. Inicia en el punto más negativo de la velocidad y finaliza cuando esta incrementa a cero. El final de esta etapa coincide con el punto más profundo de la sentadilla. Hasta esta fase se da le excentricidad del movimiento dada por un estiramiento de extensores de rodilla.

4. Fase de propulsión: conocida también como la fase concéntrica. Inicia cuando se alcanza una velocidad positiva, relacionada con la rápida extensión de rodillas, caderas y tobillos para propulsar el centro de masa. Está directamente relacionada con la fase anterior, pues a mayor fuerza en desaceleración, se debe aplicar mayor fuerza en la propulsión para disminuir el tiempo de transición entre las dos fases. Esta fase acaba cuando se da el despegue.

La morfología de la curva fuerza-tiempo en esta fase puede presentar dos variaciones, una de ellas es la morfología unimodal, en la que se observa un solo pico de fuerza y la bimodal en la que se observan dos picos de fuerza. McHugh y Cols (7) realizaron un estudio con el objetivo de evaluar diferencias en algunas métricas del CMJ, de acuerdo al momento en el que se presentaba el pico de fuerza de reacción del suelo (si se presentaba en el punto más bajo del centro de masa o en otro momento). Analizaron el CMJ de 100 atletas y encontraron que la fuerza pico ocurría en la posición más baja del centro de masa en el 52% de los saltos y las métricas analizadas eran superiores en esa condición ($p=0.019$). Además, el 78% de los saltos presentaban morfología bimodal y en el 73% de ellos el primer pico de fuerza era mayor al segundo. La morfología bimodal con esta última

condición y la unimodal presentaron mejores resultados en las métricas. Gracias a ello podemos concluir que el perfil óptimo de eficiencia biomecánica a buscar en un CMJ es aquel en el que la fuerza máxima se produce en el punto más bajo del centro de masa, independientemente si la morfología de la curva es bimodal o unimodal. Estos saltos presentan mejores valores en las métricas de fuerza en fase excéntrica, mejor altura de salto y mejor índice de fuerza reactiva (tiempo de vuelo: tiempo de contracción).

5. Fase de vuelo: esta fase inicia con el despegue y finaliza con el aterrizaje sobre la plataforma. En esta fase se estima la altura del salto, un método para calcularla se basa en el tiempo de vuelo, se asume que el punto más alto ocurre en la mitad de la duración de la fase de vuelo.

6. Fase de aterrizaje: se da acompañada de la desaceleración del centro de masa. En esta fase el impulso requerido para detener la masa depende de la magnitud de la velocidad y altura del salto.

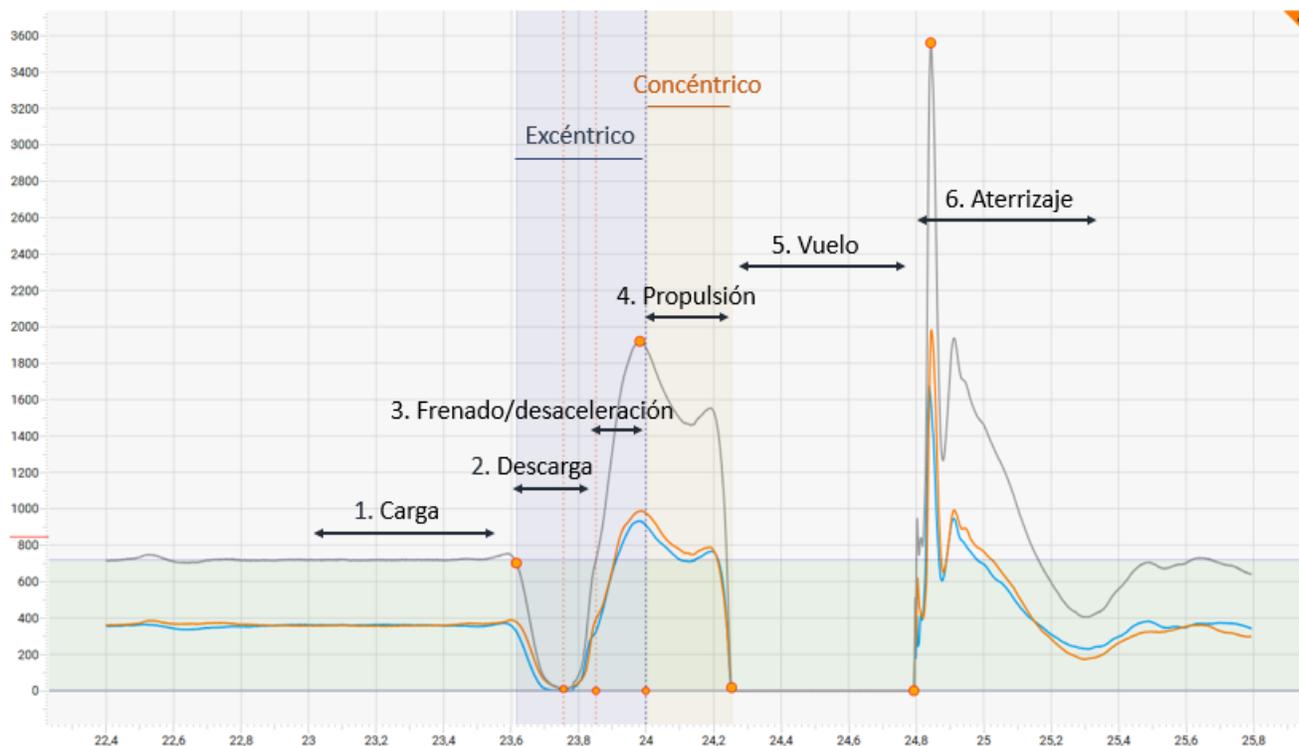


Figura 1. *Fases del salto contramovimiento. Tiempo (s) graficado en eje "x" y fuerza (N) en eje "y". La línea gris indica la fuerza neta, la línea azul indica la fuerza en miembro inferior izquierdo y la línea anaranjada indica la fuerza en miembro inferior derecho (imagen adaptada, tomada de una prueba de CMJ realizada en plataforma ForceDecks).*

Para comprender mejor el comportamiento de las diferentes variables medidas en el CMJ, de acuerdo con las diferentes fases del movimiento, es importante comprender el fundamento de la medición. La FRS es la variable cinética que se mide directamente en la plataforma, de acuerdo con la tercera ley de Newton, toda acción de una fuerza genera una fuerza de reacción de igual magnitud en el sentido contrario. Teniendo en cuenta lo anterior y la segunda ley de Newton, donde la fuerza es igual a la masa multiplicada por la aceleración, la fuerza de reacción del suelo es igual a la multiplicación de la masa de un cuerpo en kg por la aceleración que actúa sobre él (9.8m/s^2 teniendo como línea de base la aceleración de la gravedad) (1).

En este orden de ideas, la **figura 2** extraída del artículo de Pupo y Cols (8), explica de manera práctica el comportamiento de algunas variables cinéticas y cinemáticas del CMJ de acuerdo con la fase del salto. La gráfica D requiere la menor abstracción pues indica la posición del centro de masa en el tiempo, entendiéndose que la posición inicial (punto a) indica el punto de partida como posición en 0 cm. Al iniciar el movimiento, el deportista realiza una media sentadilla, por lo que el centro de masa inicia su descenso con respecto a su posición inicial hasta llegar al punto más bajo (punto c), seguidamente se realiza la extensión de rodillas y caderas para realizar el salto, de manera que el centro de masa realiza un ascenso, logrando despegar los pies de la plataforma (punto e), alcanza un punto máximo de altura (punto f) y aterriza (punto g) con una amortiguación dada por flexión de rodillas y caderas, lo que implica un descenso del centro de masa hasta que finalmente retorna a la posición inicial de bipedestación (8).

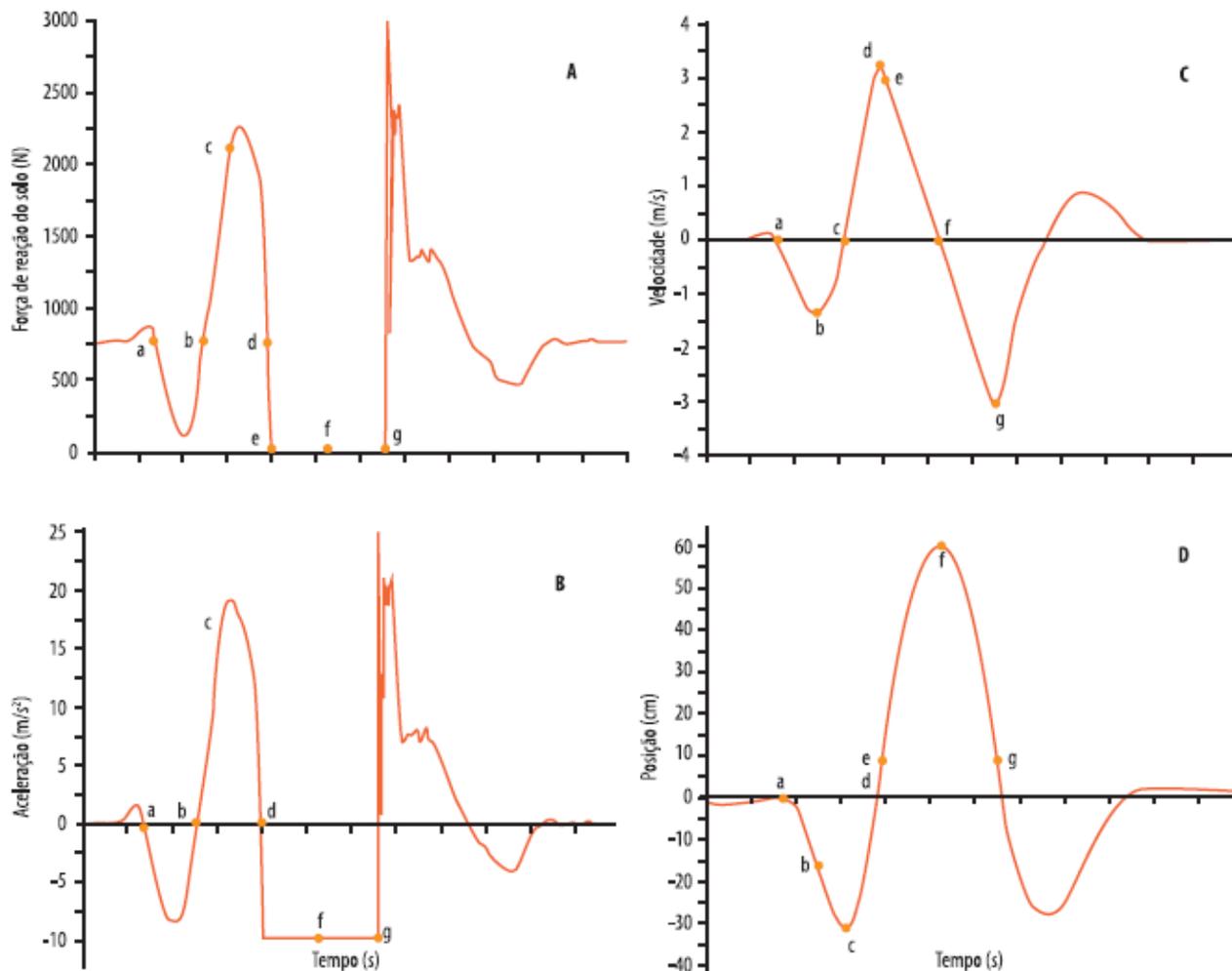


Figura 2. *Parâmetros cinéticos e cinemáticos del CMJ. (a) punto inicial, (b) la fuerza de reacción del suelo es igual al peso corporal e inicia un aumento en la aceleración, (c) inicio de la fase concéntrica, la velocidad se vuelve positiva, (d) punto de máxima velocidad, (e) despegue, fuerza de reacción del suelo es igual a cero, (f) punto de máxima altura del salto, (g) aterrizaje (adaptado de pupo y Cols)(8).*

Confiabilidad del CMJ

La confiabilidad de las pruebas es un parámetro importante pues permite asegurar que los datos obtenidos son prudentes para guiar el proceso de análisis de información. Este parámetro ha sido estudiado previamente para algunas variables, especialmente altura del salto con resultados prometedores. Un estudio evaluó la confiabilidad intrasesión e intersesión en deportistas de voleibol, realizaron 2 mediciones semanales durante 14 semanas y midieron el coeficiente de correlación intraclass (ICC), el coeficiente de variación (CV) y el error típico (ET). Encontraron que la confiabilidad intersesión era excelente para la altura del salto (ICC = 0.92, CV = $3.2 \pm 2.8\%$, ET = 1.4) y pobre para la potencia pico relativa (ICC = 0.41, CV = $10.4 \pm 15.4\%$, ET = 7.95). En cuanto a la confiabilidad intrasesión, encontraron que era excelente para la altura del salto (ICC = 0.94, CV = $2.9 \pm 2.4\%$, ET 1.25) y buena para la potencia pico relativa (ICC = 0.79, CV = $6.1 \pm 10.9\%$, ET = 4.48) (4).

En cuanto a otras variables, el tiempo de vuelo puede detectar cambios triviales en los resultados (tamaño del efecto < 0.2, ET 0.25%), la fuerza máxima detecta cambios pequeños (tamaño del efecto < 0.5, ET 0.3%) y la tasa de desarrollo de la fuerza en fase concéntrica detecta cambios pequeños y moderados (tamaño del efecto 0.5-0.8, ET 0.3%) (16). De manera general, la fuerza máxima, la tasa de desarrollo de la fuerza concéntrica, el tiempo de vuelo y el tiempo hasta fuerza máxima, presentaron un ICC de 0.93, 0.83, 0.97 y 0.47 respectivamente. Al discriminar por nivel de entrenamiento, deportistas entrenados presentaron un ICC para la fuerza máxima de 0.96 vs 0.93 en no entrenados. Para la tasa de desarrollo de la fuerza concéntrica el ICC es 0.94 vs 0.63 en entrenados vs no entrenados y tiempo de vuelo el ICC en entrenados es 0.97 vs 0.9, indicando que la correlación mejora a medida que aumenta el nivel de entrenamiento en los deportistas (16).

Antecedentes relacionados con el presente estudio

Previamente se ha estudiado el comportamiento de algunas variables del salto contramovimiento en deportes específicos, Petridis y Cols (3) realizaron un estudio con el propósito de establecer valores normativos en futbolistas para 3 grupos cronológicos (menores de 16, menores de 17 y menores de 18 años). Incluyeron 365 deportistas y encontraron que para cada uno de los grupos etarios existía diferencia en el impulso máximo, fuerza máxima y potencia máxima. Siendo los grupos de mayor edad, los que presentaban valores más altos con respecto a los de menor edad, adicionalmente los grupos de mayor edad presentaban mayor peso corporal. No encontraron diferencias por edad cuando se evaluaron las variables relativas al peso corporal. La altura del salto sólo difirió entre los dos grupos de edades extremas, la media y desviaciones estándar de la altura del salto era 36.3 ± 3.8 , 37.5 ± 3.9 y 38.6 ± 4.4 cm para el grupo menores de 16, menores de 17 y menores de 18 años respectivamente. La fuerza máxima y potencia máxima presentaban una media y desviación estándar de 1598 ± 241 N y 3287 ± 502 W para todos los grupos. Por otro lado, la fuerza relativa presentó promedio de 23.3 N/kg para los tres grupos y la potencia relativa fue de 47.4 W/kg para el grupo menor de 16 años, 49.1 w/kg para el grupo menor de 17 años y 50 W/kg para el grupo menor de 18 años. Adicionalmente realizaron distribución por percentiles, incluyendo el percentil 5, 10, 25, 50, 75, 90 y 95.

Otro estudio tuvo como objetivo determinar valores de referencia y percentiles de variables del salto contramovimiento en atletas españoles de diferentes deportes. Sólo incluyeron deportistas hombres de: atletismo (velocidad), bádminton, baloncesto, gimnasia, balón mano, fútbol, Rugby, kick boxing, tenis y voleibol. Encontraron mayores valores en potencia pico relativa (PPR) y altura máxima (AM) en atletas de velocidad, fútbol y voleibol. De manera que los velocistas contaban con una PPR promedio de 58.1 W/kg y AM promedio de 49.4 cm, en futbolistas la PPR promedio fue 52.4 W/kg y AM 46.5 cm, y por último los voleibolistas contaban con PPR promedio de 53.04 W/kg y AM de 48.25 cm (11).

En deportistas de voleibol se realizó un estudio con el propósito de evaluar el desempeño en el salto vertical, Sin embargo, sólo incluyeron la variable altura del salto, siendo 44cm para hombres y 30.86 cm para mujeres (10).

Por último, en un estudio realizado en Noruega (6), estudiaron la altura del salto en atletas de alto rendimiento de varios deportes, incluyeron hombres y mujeres de 44 disciplinas deportivas diferentes. En los deportes analizados, los velocistas (100 y 200 m) mostraron la mayor altura de salto con 62.7 ± 4.8 cm en hombres y 48.4 ± 6 cm en mujeres. Resultados mayores comparados con salto largo, salto triple, voleibol playa y levantamiento de pesas, siendo los deportes de fondo aquellos con menor altura de salto.

Finalmente, es posible concluir que, si bien la investigación con respecto al CMJ ha incrementado con el paso de los años, aún existen vacíos en el conocimiento, por lo que es importante trabajar por la generación de este y así contribuir al mejoramiento del alto rendimiento deportivo.

Objetivos

Objetivo general:

Determinar cuál es el perfil de diferentes deportes del alto rendimiento colombiano, incluyendo boxeo, levantamiento de pesas, voleibol sala, voleibol playa, ciclismo BMX y marcha atlética, de acuerdo con variables cinéticas como fuerza y potencia, y cinemáticas como tiempo y altura del salto contramovimiento.

Objetivos específicos:

1. Conocer características demográficas y antropométricas como edad, sexo, talla, peso e índice de masa corporal, en atletas de alto rendimiento de diferentes deportes en Colombia.
2. Describir el comportamiento de diferentes variables cinéticas y cinemáticas del salto contramovimiento para cada deporte.
3. Identificar si existen diferencias entre deportes en el comportamiento de variables cinéticas y cinemáticas del salto contramovimiento, estratificando por sexo.
4. Describir la distribución de las variables por cuartiles, para cada deporte.

Propósito

El propósito del presente estudio es describir el comportamiento de las principales variables cinéticas y cinemáticas para diferentes deportes, mediante la medición del salto contramovimiento en plataforma de fuerza.

En el estudio se incluyen pruebas realizadas en atletas de alto rendimiento colombiano, pertenecientes a diferentes deportes, incluyendo algunos deportes priorizados en el sistema nacional. En este orden de ideas, los nuevos conocimientos que se buscan obtener con el estudio tienen el propósito de contribuir en el perfilamiento y caracterización de deportes insignia en el país.

Obtener información propia es un paso fundamental para identificar puntos de partida en la evaluación de rendimiento de los atletas, esto permite hasta cierto punto, comprender el efecto de los procesos de entrenamiento físico en el desempeño, potenciar la estructuración de la monitorización de cargas en los deportistas para guiar la preparación deportiva y mejorar el bienestar de los atletas. Además, se busca incentivar investigaciones complementarias que aporten al crecimiento de la medicina del deporte en el país.

Diseño metodológico

Tipo de estudio

Observacional, analítico de corte transversal

Lugar

Centro de Ciencias del Deporte, Ministerio del Deporte.

Población de referencia y muestra

Deportistas de alto rendimiento colombiano de boxeo, levantamiento de pesas, voleibol sala, voleibol playa, ciclismo BMX y marcha atlética.

Criterios de inclusión

1. Pruebas de salto contramovimiento realizadas en deportistas mayores de 18 años.
2. Pruebas de salto contramovimiento realizadas en deportistas de boxeo, levantamiento de pesas, voleibol sala, voleibol playa, ciclismo BMX y marcha atlética.
3. Pruebas de salto contramovimiento realizadas entre enero del año 2017 y junio del año 2022.
4. Deportes que cuenten con pruebas de mínimo cinco deportistas.

Criterios de exclusión

1. Pruebas de salto contramovimiento cuya covarianza en las variables duración concéntrica, duración excéntrica, velocidad excéntrica pico y profundidad del contramovimiento sea menor a 10% y mayor a -10%
2. Pruebas de salto contramovimiento cuya covarianza en la variable de altura del salto sea menor a 5% y mayor a -5%

3. Pruebas de salto contramovimiento que cuenten con menos de 3 intentos realizados.
4. Pruebas de salto contramovimiento que no posean datos de talla, género y fecha de nacimiento.

Sesgos

En los estudios observacionales analíticos, especialmente los estudios de corte transversal, existe una serie de sesgos que deben ser evaluados, entre los que se encuentran:

1. Sesgo de selección: la población de deportistas de alto rendimiento en los deportes a incluir en el estudio es limitada, especialmente aquellos que hacen parte de selección nacional. Por lo anterior, la selección de los sujetos se realizará con base a la adecuada realización de la prueba y no de acuerdo con las características de los sujetos.
2. Sesgo de medición: dada la naturaleza retrospectiva del presente estudio, las mediciones han sido previamente realizadas. Sin embargo, para la realización de estas, la institución cuenta con un proceso de medición estandarizado, enfocado en la técnica de los saltos, que se explica previo a cada prueba. Adicionalmente cuentan con proceso de calibración y revisión constante de los instrumentos de medición, que, a su vez son reconocidos internacionalmente como estándar de oro en la medición de las variables a estudiar.
3. Sesgo de confusión: se seleccionarán las pruebas con las mejores características de medición, para evitar alteración de resultados debidos a técnica de realización de la prueba.

Variables

1. Independientes: deportes (boxeo, levantamiento de pesas, voleibol sala, voleibol playa, ciclismo BMX y marcha atlética), edad, género, peso, talla, índice de masa corporal.

2. Dependientes: altura del salto (cm), fuerza concéntrica pico, fuerza excéntrica pico, potencia concéntrica pico, potencia excéntrica pico, tiempo de vuelo: tiempo de contracción y tasa de desarrollo de la fuerza en desaceleración excéntrica.

Tabla 1. *Tabla de variables.*

NOMBRE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	ESCALA DE MEDICIÓN	UNIDAD
Edad	Tiempo transcurrido desde el nacimiento	Años cumplidos	Continua	Años
Sexo	Condición orgánica de un individuo	Características fenotípicas	Dicotómica	Hombre o mujer
Peso	Acción que la gravedad ejerce sobre un cuerpo	Peso de un individuo en Kg	Continua	Kg
Talla	Estatura de una persona	Centímetros de la altura corporal	Continua	Cm
IMC	Medida que clasifica el estado ponderal de un individuo	Cociente $\text{Peso (kg) / talla (m)}^2$	Continua	Kg/m^2
Altura del salto (cm)	Máxima altura del salto	Centímetros de altura máxima del centro de masa. Calculada a partir del tiempo de vuelo	Continua	Cm
Tiempo de vuelo: tiempo de contracción	Relación entre tiempo de vuelo y el tiempo de contracción	Tiempo de vuelo / Tiempo desde el inicio del salto hasta el despegue.	Continua	N/A
Tasa de desarrollo de la fuerza en desaceleración excéntrica relativa	Tasa a la que se genera fuerza en la fase de desaceleración excéntrica relativa al peso corporal	Primer pico de fuerza de reacción del suelo (FRS) – mínima FRS/tiempo/Kg de peso corporal	Continua	N/s/kg
Potencia pico concéntrica relativa	Potencia máxima durante la fase concéntrica relativo al peso corporal	Potencia máxima (fuerza X velocidad) durante la fase	Continua	W/kg

			concéntrica/kg corporal	peso		
Potencia pico excéntrica relativa	Potencia máxima durante la fase excéntrica relativo al peso corporal	Potencia máxima (fuerza X velocidad) durante la fase excéntrica/kg peso corporal			Continua	W/kg
Fuerza pico concéntrica relativa	Fuerza máxima durante la fase concéntrica relativo al peso corporal	Fuerza máxima durante fase concéntrica/kg corporal			Continua	N/kg
Fuerza pico excéntrica relativa	Fuerza máxima durante la fase excéntrica relativo al peso corporal	Fuerza máxima durante fase excéntrica/kg peso corporal			Continua	N/kg

Técnicas de recolección de la información

Se revisó la base de datos del software ForceDecks del Centro de Ciencias del Deporte del Ministerio del Deporte. Específicamente, las pruebas de deportistas de boxeo, levantamiento de pesas, voleibol sala, voleibol playa, ciclismo BMX y marcha atlética, realizadas entre los años 2017 y 2022. Para el análisis se escogieron las pruebas de acuerdo con criterios de inclusión y exclusión previamente descritos.

Instrumentos de recolección de información

Se creó una base de datos en Excel (Microsoft 365), con los datos obtenidos del software de la plataforma ForceDecks del laboratorio de biomecánica del Ministerio del Deporte. En las primeras columnas se diligenciaron datos demográficos de los participantes y posteriormente se incluyeron los datos correspondientes a las variables cinéticas y cinemáticas del CMJ. Los datos correspondían a las pruebas seleccionadas de acuerdo con los criterios de inclusión y exclusión del estudio.

Materiales y métodos

Materiales

Base de datos en Excel con los registros de las variables a estudio descritas previamente.

Computador con acceso a software de plataforma de fuerza ForceDecks en Centro de Ciencias del Deporte del Ministerio del Deporte.

Computador portátil con suscripción a Microsoft 365.

Software STATA, version 17.

Métodos

Se revisó la información contenida en el software ForceDecks, correspondiente a pruebas de salto contramovimiento, realizadas entre enero del año 2017 y junio del año 2022, en atletas de boxeo, levantamiento de pesas, voleibol sala, voleibol playa, ciclismo BMX y marcha atlética. Se escogieron las pruebas que cumplieran con los criterios de inclusión.

El software reportó cada una de las variables a estudio del presente proyecto. Para cada sujeto, se escogió la prueba con mejores resultados de las variables descritas y se promediaron los intentos de la prueba escogida para obtener el valor de cada variable (23). Posteriormente se tabularon los datos en un formato de Excel previamente diseñado (ver anexo A y B). Se clasificó la información en seis grupos, cada uno correspondiente a cada deporte (boxeo, levantamiento de pesas, voleibol sala, voleibol playa, ciclismo BMX y marcha atlética). Además, cada grupo se dividió en dos subgrupos según el género (hombre y mujer).

Para cada grupo y subgrupo se realizó el análisis estadístico de las variables demográficas, antropométricas y las variables de salto previamente descritas, con lo que se estableció las medidas de tendencia central y de dispersión.

Análisis estadístico

Mediante una hoja de Excel (Microsoft 365) se creó una base de datos para la organización de la información. Un análisis de la distribución de las variables se realizó mediante la prueba de Shapiro Wilk, en la que se observó una distribución no normal de variables, por lo que la descripción de las variables continuas se realizó mediante medianas, rango intercuartil y cuartiles, mientras que las variables categóricas se describen mediante distribución de frecuencias.

Se realizó contraste de medias para encontrar diferencias entre las mediciones de cada deporte, para lo cual se utilizó una prueba de Kruskal Wallis y X^2 para variables categóricas. El nivel de confianza se establece para este estudio al 95% mientras que la significancia se establece con una $p < 0.05$.

El análisis estadístico se realizó mediante el software STATA versión 17.0 (StataCorp, Texas, Estados Unidos).

Aspectos éticos

El presente estudio se realizó en conformidad con la legislación colombiana, consiste en una investigación sin riesgo, teniendo en cuenta la resolución 8430 de 1993, por la que se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas de la investigación en salud.

Adicionalmente, el presente trabajo se adhiere a lo establecido en la declaración de Helsinki y el reporte de Belmont. Con el fin de respetar los principios y guías éticas en las investigaciones en sujetos, fue sometido a estudio en el comité de ética de la Universidad El Bosque, donde se aprobó el 06 de diciembre de 2022, Acta No. 025-2022. En lo que respecta a la confidencialidad de los datos, se adoptaron los lineamientos estipulados en la ley estatutaria 1581 de 2012, por la que se dictan las disposiciones generales para la protección de datos personales en Colombia, no se publicarán datos que puedan identificar a los deportistas cuyas pruebas fueron analizadas en el estudio.

Resultados

El total de deportistas que se incluyó en el estudio fue de 105. Entre ellos, 18 deportistas corresponden a boxeo (17.14%), 14 a pesas (13.33%), 11 a marcha atlética (10.48%), 16 a BMX (15.24%), 21 a voleibol playa (21%) y 25 a voleibol sala (23.81%). La mayoría de los sujetos son mujeres (n=59, 56.19%), en el subgrupo de hombres en voleibol sala, sólo un deportista cumplía con los criterios de inclusión del estudio. La mediana de edad fue de 25 años, siendo menor en BMX (19 años) y mayor en marcha atlética (28 años). La mediana de talla fue de 1.73 m, siendo mayor en voleibol playa (1.81 m) y menor en pesas (1.59 m). Por último, la mediana de peso fue de 69.5 kg, mayor en boxeo (75.15 kg) y menor en marcha atlética (57.3 kg). En la tabla 2 se describen las características demográficas de los sujetos, de acuerdo con cada deporte.

Tabla 2. Características demográficas de los sujetos.

	Total n=105	Boxeo n=18	Levantamiento de pesas n=14	Marcha atlética n=11	BMX n=16	Voleibol Playa n=21	Voleibol sala n=25	p
Edad (años)								
[mediana (RIC)]	25.0 (8.00)	25.50 (9.00)	25.00 (8.00)	28.0 (6.00)	19.00 (7.00)	25.00 (8.00)	24.00 (6.00)	0.009
Sexo								
Hombre (%)	46 (43.81%)	13 (72.22%)	7 (50.0%)	7 (63.64%)	10 (62.50%)	8 (38.10%)	1 (4.00%)	
Mujer (%)	59 (56.19%)	5 (27.78%)	7 (50.0%)	4 (36.36%)	6 (37.5%)	13 (61.90%)	24 (96.00%)	<0.001
Peso (Kg)								
[mediana (RIC)]	69.50 (16.54)	75.15 (22.70)	66.35 (24.20)	57.30 (14.30)	68.95 (14.67)	73.30 (20.13)	73.60 (9.00)	0.009
Talla (m)								
[mediana (RIC)]	1.73 (0.16)	1.72 (0.12)	1.59 (0.14)	1.66 (0.08)	1.69 (0.13)	1.81 (0.15)	1.80 (0.12)	<0.001
IMC (kg/m²)								
[mediana (RIC)]	23.67 (3.14)	23.87 (4.44)	26.65 (2.63)	21.17 (3.76)	23.89 (2.46)	22.77 (3.59)	22.97 (1.99)	<0.001

RIC= rango intercuartil, IMC= índice de masa corporal.

En cuanto a las variables cinemáticas del CMJ, la mediana en la altura de salto fue de 35.4 cm, siendo mayor en BMX (49.25 cm, RIC=11.7) y pesas (46.2 cm, RIC=11.8), por otro lado, fue menor en marcha atlética (28.8 cm, RIC=8.6) y boxeo (28.85 cm, RIC=8.8). El tiempo de vuelo: tiempo de contracción fue mayor en BMX (0.84, RIC=0.22) y menor en boxeo (0.57, RIC=0.12), en la tabla 3 se pueden observar estos resultados.

Tabla 3. Variables cinemáticas del CMJ por deporte. Mediana (RIC).

	Total n=105	Boxeo n=18	Levantamiento de pesas n=14	Marcha atlética n=11	BMX n=16	Voleibol Playa n=21	Voleibol sala n=25	p
TV:TC								
Total	0.70 (0.16)	0.57 (0.12)	0.78 (0.14)	0.67 (0.21)	0.84 (0.22)	0.67 (0.13)	0.72 (0.13)	<0.001
Hombres	0.72 (0.21)	0.62 (0.11)	0.84 (0.19)	0.72 (0.10)	0.92 (0.16)	0.70 (0.06)	0.83 (0.00)	<0.001
Mujeres	0.68 (0.17)	0.55 (0.09)	0.73 (0.19)	0.60 (0.22)	0.72 (0.07)	0.62 (0.14)	0.71 (0.13)	0.007
Altura del salto (cm)								
Total	35.40 (14.50)	28.85 (8.80)	46.20 (11.80)	28.80 (8.60)	49.25 (11.70)	37.20 (9.70)	34.70 (8.10)	<0.001
Hombres	44.25 (19.70)	30.00 (5.80)	53.90 (12.90)	31.30 (5.20)	51.75 (3.90)	44.95 (6.35)	43.90 (0)	<0.001
Mujeres	33.70 (9.40)	22.40 (4.80)	42.10 (11.40)	22.45 (3.00)	38.05 (8.40)	35.40 (2.50)	33.95 (8.40)	<0.001

RIC= rango intercuartil, CMJ= salto contramovimiento, TV:TC= tiempo de vuelo: tiempo de contracción

Teniendo en cuenta las variables cinéticas, la potencia pico en la fase concéntrica en general fue de 48.8 W/kg (RIC=14), siendo mayor en BMX con 62.15 W/kg (RIC=14.7) y en pesas con 60.2 W/kg (RIC=13.5). Mientras que la potencia pico en la fase excéntrica fue de 20.7 W/kg (RIC=7.4), siendo mayor en BMX con 26.3 W/kg (RIC=8.81) y Voleibol sala con 24.6 W/kg (RIC=5.7).

En cuanto a la mediana de la fuerza pico en la fase concéntrica, fue de 24.4 N/kg (RIC=4.8), siendo mayor en pesas con 27.45 N/kg (RIC=4) y BMX con 27.35 N/kg (RIC=5.50). La mediana de la fuerza pico excéntrica fue 24.3 N/kg (RIC=4.8), mayor en BMX con 27.35 N/kg (RIC=5.85) y pesas con 27.3 N/kg (RIC=5). Por último, la tasa de desarrollo de la fuerza en desaceleración excéntrica, tuvo una media

de 70 N/s/kg (RIC=35), siendo mayor en Voleibol sala con 94 N/s/kg (RIC=21) y en BMX con 86 N/s/kg (RIC=50). En la tabla 4 se observan los resultados.

Tabla 4. Variables cinéticas del CMJ por deporte. Mediana (RIC).

	Total n=105	Boxeo n=18	Levantamiento de pesas n=14	Marcha atlética n=11	BMX n=16	Voleibol Playa n=21	Voleibol sala n=25	p
PPC (W/kg)								
Total	48.80 (14.00)	41.45 (11.90)	60.20 (13.50)	42.60 (13.50)	62.15 (14.70)	48.50 (9.40)	48.80 (9.10)	<0.001
Hombres	55.45 (19.4)	44.60 (6.9)	65.50 (12.50)	45.70 (5.30)	68.4 (9.20)	56.65 (8.30)	56.00 (0.00)	<0.001
Mujeres	47.1 (10.4)	34.00 (1.70)	53.20 (11.70)	35.95 (2.50)	52.15 (14)	46.20 (3.80)	48.25 (8.85)	<0.001
PPE (W/kg)								
Total	20.70 (7.40)	17.05 (7.40)	18.60 (4.56)	19.60 (6.10)	26.30 (8.81)	21.80 (6.70)	24.60 (5.70)	<0.001
Hombres	19.90 (6.90)	17.40 (4.00)	16.30 (5.80)	22.4 (6.10)	28.75 (9.30)	19.10 (5.80)	30.40 (0.00)	0.001
Mujeres	21.80 (7.30)	12.30 (8.10)	18.70 (3.80)	19.00 (4.65)	23.05 (9.50)	22 (7.20)	23.90 (5.75)	0.014
FPC (N/kg)								
Total	24.40 (4.80)	22.05 (2.60)	27.45 (4.00)	23.90 (2.70)	27.35 (5.50)	23.70 (3.90)	25.00 (2.60)	<0.001
Hombres	24.30 (6.20)	22.10 (2.60)	29.10 (2.40)	23.60 (1.60)	29.80 (4.80)	24.25 (3.25)	29.30 (0.00)	<0.001
Mujeres	24.40 (3.90)	21.10 (2.20)	25.40 (4.10)	24.75 (3.70)	25.10 (3.40)	23.00 (4.80)	24.80 (2.50)	0.124
FPE (N/kg)								
Total	24.30 (4.80)	21.60 (2.90)	27.30 (5.00)	23.90 (2.70)	27.35 (5.85)	23.70 (4.10)	25.10 (2.90)	<0.001
Hombres	24.20 (5.90)	21.70 (2.40)	28.10 (1.80)	23.70 (1.80)	29.70 (4.80)	23.80 (3.60)	29.70 (0.00)	<0.001
Mujeres	24.70 (4.10)	20.70 (20.70)	25.40 (4.00)	24.80 (3.80)	25.25 (3.50)	23.70 (4.70)	25.00 (3.05)	0.188
TDF-DE (N/s/kg)								
Total	70.00 (35.00)	50.00 (13.00)	60.00 (20.00)	65.00 (17.00)	86.00 (50.00)	63.00 (21.00)	94.00 (21.00)	<0.001
Hombres	63.50 (26.00)	48.00 (8.00)	57.00 (21.00)	63.50 (26.00)	63.50 (26.00)	63.50 (26.00)	63.50 (26.00)	<0.001
Mujeres	76.00 (37.00)	53.00 (16.00)	73.00 (22.00)	79.50 (48.00)	78.50 (21.00)	63.00 (23.00)	92.50 (22.50)	0.005

CMJ= salto contramovimiento, RIC= rango intercuartil, PPC= potencia pico concéntrica, PPE= potencia pico excéntrica, FPC= fuerza pico concéntrica, FPE= fuerza pico excéntrica, TDF-DE= tasa de desarrollo de la fuerza en desaceleración excéntrica.

Adicionalmente se realizó distribución de variables por cuartiles, dado que en voleibol sala sólo se incluyó un participante hombre, no se obtuvo distribución de las variables en este subgrupo. En la figura 3 se observa a manera de box plot, la distribución de las variables por deportes, mientras en la tabla 5 se

observa para cada variable el valor mínimo y máximo y los valores correspondientes a cada cuartil

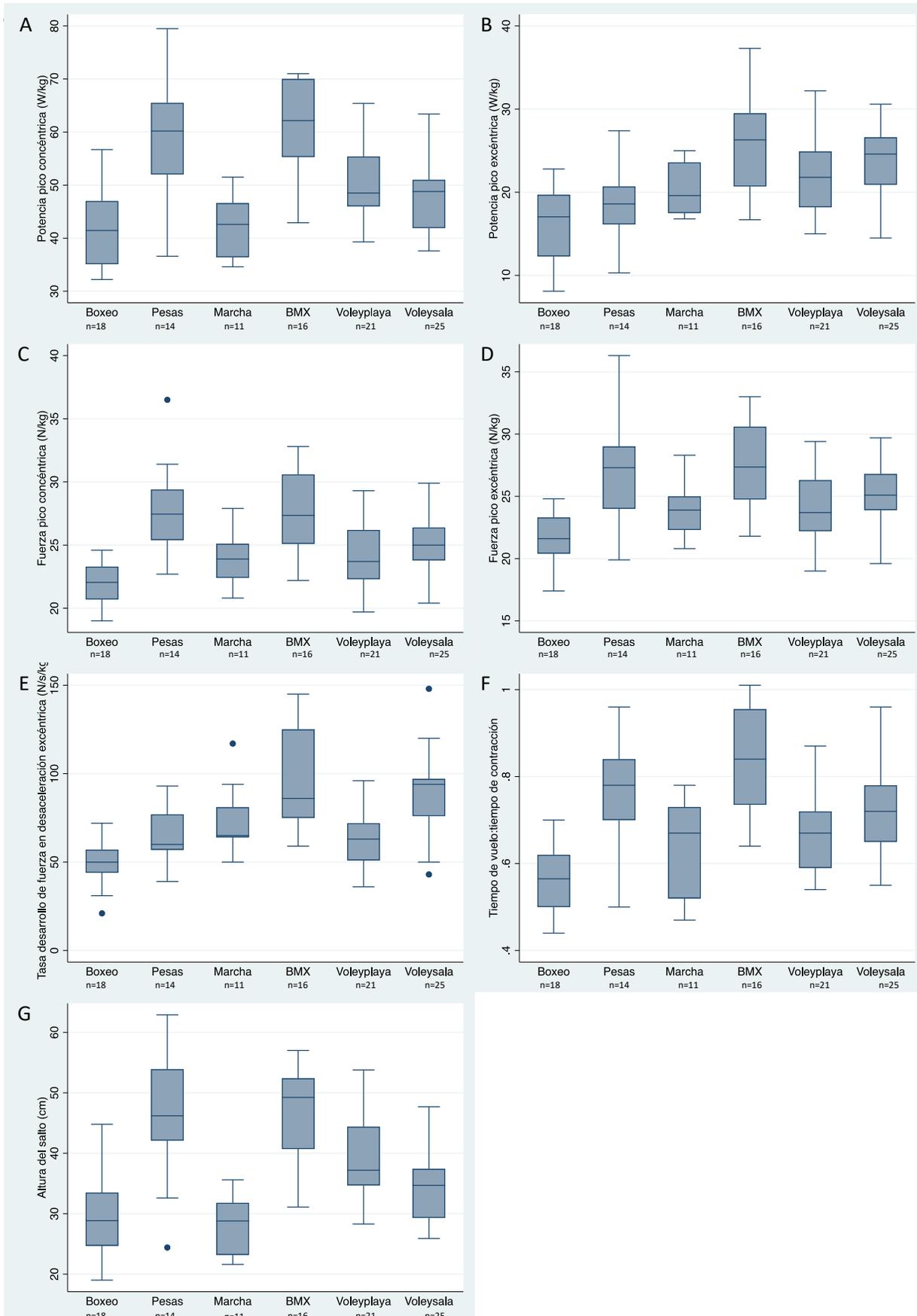


Figura 3. Box plot distribución de variables del CMJ por deportes. (A) potencia pico concéntrica, (B) potencia pico excéntrica, (C) fuerza pico concéntrica, (D) fuerza pico excéntrica, (E) tasa de desarrollo de la fuerza en desaceleración excéntrica, (F) tiempo de vuelo: tiempo de contracción, (G) altura del salto.

Tabla 5. Distribución de variables del CMJ por cuartiles para cada deporte.

Deporte	Hombres					Mujeres					
	min	Q1	Q2	Q3	Max	min	Q1	Q2	Q3	Max	
PPC (W/kg)	Boxeo	34.80	41.20	44.60	48.10	56.70	32.20	33.40	34.00	35.10	36.60
	Levantamiento de pesas	50.60	59.30	65.50	71.80	79.50	36.60	49.40	53.20	61.10	65.40
	Marcha atlética	38.60	42.60	45.70	47.90	51.50	34.60	35.05	35.95	37.55	38.70
	BMX	55.50	61.40	68.40	70.60	71.00	42.90	44.60	52.15	58.60	62.90
	Voleibol playa	50.50	53.65	56.65	61.95	65.40	39.3	44.60	46.20	48.40	52.90
	Voleibol sala	.	.	.	.	.	37.60	41.90	48.25	50.75	63.40
PPE (W/kg)	Boxeo	17.40	20.90	21.70	23.30	24.60	8.70	11.00	12.30	19.10	22.80
	Levantamiento de pesas	24.00	27.40	28.10	29.20	36.30	10.30	16.90	18.70	20.70	20.80
	Marcha atlética	22.30	22.30	23.70	24.10	28.30	16.90	17.65	19.00	22.30	25.00
	BMX	24.30	26.30	29.70	31.10	33.00	16.70	18.50	23.05	28.00	28.10
	Voleibol playa	20.90	22.95	23.8	26.55	29.40	15.00	20.70	22.00	27.90	32.20
	Voleibol sala	.	.	.	.	.	14.50	20.55	23.90	26.30	30.60
FPC (N/kg)	Boxeo	19.00	20.70	22.10	23.30	24.60	19.20	20.40	21.10	22.60	24.50
	Levantamiento de pesas	25.70	27.60	29.10	30.00	36.50	22.70	23.20	25.40	27.30	31.40
	Marcha atlética	22.30	22.40	23.60	24.00	27.90	20.80	22.60	24.75	26.30	27.50
	BMX	24.20	26.30	29.80	31.10	32.80	22.20	23.40	25.10	26.80	28.30
	Voleibol playa	22.10	23.15	24.25	26.40	29.3	21.40	21.40	23.00	26.20	28.00
	Voleibol sala	.	.	.	.	.	20.40	23.70	24.80	26.20	29.90
FPE (N/kg)	Boxeo	17.40	20.90	21.70	23.30	24.60	18.80	20.40	20.70	22.70	24.80
	Levantamiento de pesas	24.0	27.40	28.10	29.20	36.30	19.90	23.20	25.40	27.20	31.10
	Marcha atlética	22.30	22.30	23.70	24.10	28.30	20.80	22.70	24.80	26.50	28.00
	BMX	24.30	26.30	29.70	31.10	33.00	21.80	23.50	25.25	27.00	28.30
	Voleibol playa	22.95	23.80	26.55	29.40	29.40	19.00	21.60	23.70	26.3	28.60
	Voleibol sala	.	.	.	.	.	19.60	23.45	25.00	26.50	29.70
TDF-DE (N/s/kg)	Boxeo	21.00	45.00	48.00	53.00	70.00	31.00	41.00	53.00	57.00	72.00
	Levantamiento de pesas	56.00	57.00	57.00	78.00	93.00	39.00	55.00	73.00	77.00	78.00
	Marcha atlética	59.00	64.00	65.00	76.00	81.00	50.00	57.50	79.50	105.50	117.00
	BMX	71.00	78.00	119.50	129.00	145.00	59.00	66.00	78.50	87.00	125.00

	Voleibol playa	50.00	51.00	56.50	68.00	96.00	36.00	53.00	63.00	76.00	92.00
	Voleibol sala	.	.	.	.	.	43.00	74.00	92.50	96.50	148.00
TV:TC	Boxeo	0.44	0.52	0.62	0.63	0.7	0.47	0.47	0.55	0.47	0.57
	Levantamiento de pesas	0.68	0.72	0.84	0.91	0.96	0.5	0.59	0.73	0.50	0.82
	Marcha atlética	0.47	0.63	0.72	0.73	0.75	0.49	0.51	0.595	0.49	0.78
	BMX	0.77	0.81	0.92	0.97	1.01	0.64	0.67	0.72	0.64	0.91
	Voleibol playa	0.59	0.67	0.70	0.73	0.87	0.54	0.57	0.62	0.54	0.81
	Voleibol sala	.	.	.	.	.	0.55	0.65	0.72	0.55	0.96
Altura del salto (cm)	Boxeo	23.90	28.20	30.00	34.00	44.80	19.00	19.90	22.40	24.70	26.90
	Levantamiento de pesas	45.40	47.60	53.90	60.50	62.90	24.40	32.60	42.10	44.00	47.00
	Marcha atlética	27.20	28.80	31.30	34.00	35.60	21.60	21.65	22.45	24.65	26.10
	BMX	44.10	49.90	51.75	53.80	57.00	31.10	32.40	38.05	40.80	41.20
	Voleibol playa	41.10	44.20	44.95	50.55	53.8	28.30	33.60	35.40	36.10	41.80
	Voleibol sala	.	.	.	.	.	25.90	28.85	33.95	37.25	47.70

CMJ= salto contramovimiento, PPC= potencia pico concéntrica, PPE= potencia pico excéntrica, FPC= fuerza pico concéntrica, FPE= fuerza pico excéntrica, TDF-DE= tasa de desarrollo de la fuerza en desaceleración excéntrica, TV:TC= tiempo de vuelo:tiempo de contracción.

Discusión

El objetivo principal del presente estudio es perfilar diferentes deportes con base a variables cinéticas y cinemáticas del CMJ, adicionalmente se evaluaron diferencias entre deportes, estratificando por sexo y se realizó distribución de variables por cuartiles. Lo que lo convierte en uno de los pocos estudios de estas características hasta el momento.

En cuanto a las variables cinemáticas, la altura de salto es una de las más investigadas en el perfilamiento de atletas dada la accesibilidad a diferentes métodos para medirla (24). En este estudio, esta variable fue mayor en BMX, seguido por levantamiento de pesas, voleibol playa, voleibol sala, boxeo y marcha atlética. En concordancia con el estudio realizado por Haugen y Cols. (6) en el que describen mayor altura del salto en deportistas de fuerza y potencia, seguidos en orden descendente por deportes de equipo, deportes de combate, deportes de fondo y precisión. Es esperado que aquellos deportes en los que existe un mayor componente de fuerza y potencia, tengan un mejor desempeño en el salto y mayor altura, dado que el CMJ per se requiere una gran capacidad glucolítica (6).

En ese mismo estudio, describen la altura de salto del CMJ en deportistas de levantamiento de pesas, correspondiente a 47.4 cm y 35.8 cm en hombres y mujeres respectivamente. Para el mismo deporte, en el presente estudio la altura de salto fue ligeramente mayor, en hombres fue de 53.9 cm y en mujeres 42.1 cm.

Pupo y Cols (8) describieron la altura del salto en deportistas hombres de voleibol sala de 48.38 cm, mientras Sattler y Cols (10) describieron altura de 44 cm en hombres y 30.86 cm en mujeres. Así mismo Haugen y Cols (6) establecieron una altura de 44.5 cm y 33 cm para hombres y mujeres respectivamente. En este estudio, se encontró una mediana en la altura del salto de 43.9 cm en hombres y 33.95 cm en mujeres, en gran medida similar a los estudios citados.

En cuanto a voleibol playa describen altura del salto de 48.1 cm para hombres y 35.7 cm para mujeres, similar a los resultados del presente estudio, correspondientes a 44.95 cm en hombres y 35.40 cm en mujeres. En este deporte, es importante tener en cuenta esta variable ya que puede ser un objetivo de entrenamiento (24).

Por otro lado, en boxeo el presente estudio describe una altura del salto de 30 cm y 22.4 cm para hombres y mujeres, ligeramente menor, aunque similar a la descrita por Haugen y Cols (6) de 36 cm y 25.1 cm respectivamente. Aunque este deporte depende en gran medida de la fuerza de impacto generada por los miembros superiores (25), la potencia en miembros inferiores es determinante en el impacto generado en el oponente en combate (26), por lo que es importante conocer el comportamiento de estas variables.

En general, en este estudio, los hombres saltaron 23.8% más alto que las mujeres, similar a estudios previos en los que se describe 24%, 25% y 33% de diferencia en la altura del salto en el CMJ entre hombres y mujeres (6, 27, 28).

En cuanto al tiempo de vuelo:tiempo de contracción (TV:TC), los resultados indican un mayor TV:TC en la disciplina de BMX y un menor resultado en marcha atlética con resultados estadísticamente significativos. Esto puede estar explicado por las características y necesidades de cada deporte.

En este orden de ideas, es importante mencionar que esta variable está íntimamente ligada con el índice de fuerza reactiva. Se calcula dividiendo el tiempo de vuelo (TV) entre el tiempo de contracción (TC), que está comprendido entre el inicio del movimiento y el despegue, es decir, incluye la duración de la fase excéntrica y concéntrica del movimiento. Por lo tanto, para un TV dado, a menor duración de las fases mencionadas, mayor será el TV:TC, indicando un movimiento más eficiente (24, 29).

Lo anterior podría explicar por qué BMX, levantamiento de pesas y las disciplinas de voleibol son los deportes con mayores resultados en esta variable, dado que requieren realizar movimientos rápidos de miembros inferiores, acortando la fase excéntrica, concéntrica o ambas, sin comprometer el “efecto” deseado, que en este caso corresponde al TV.

Adicionalmente, esta variable es de gran utilidad en la monitorización de fatiga neuromuscular, que no siempre puede ser observada en la altura del salto (30, 31, 32), pero sí en la estrategia del salto, ya que al aumentar la fatiga, se afecta la eficiencia del ciclo estiramiento acortamiento y por lo tanto, se extiende el tiempo hasta el despegue, aumentando la duración del TC y reduciendo el TV:TC (24).

De acuerdo con lo mencionado, el CMJ es una herramienta que no sólo es utilizada en la evaluación del desempeño, sino también en el estudio de fatiga con la monitorización de cargas de entrenamiento y periodización de estas. Por ejemplo, un deportista que requiere realizar cambios de dirección rápidos y gran habilidad en el frenado, se beneficia de la producción de fuerza en fase excéntrica (33). Es aquí donde el análisis cinético y su aplicación práctica cobra importancia.

La mayoría de las variables cinéticas estudiadas hacen referencia a la fuerza y potencia pico, estas variables son determinantes en el desempeño del salto y en tareas de carrera de velocidad. Esto se traduce en la necesidad de producir considerables niveles de fuerza a altas velocidades de contracción muscular (34), especialmente en miembros inferiores.

Si bien la altura del salto es la variable más estudiada, existen publicaciones en las que se reportan resultados de variables cinéticas del CMJ. Especialmente variables relacionadas con fuerza y potencia máximas en voleibol sala. Sin embargo, hasta la fecha no se encontraron estudios con las mismas características de la presente investigación, específicamente existen pocos estudios que analicen los resultados por fases.

Centeno-Prada y Cols. (11) estudiaron múltiples variables cinéticas de diferentes tipos de salto y en diferentes deportes. Con relación al presente estudio, describen en deportistas hombres de voleibol sala una potencia pico relativa de 53.04 W/kg y una fuerza pico relativa de 24.69 N/kg. Aunque no lo describen en su publicación, es probable que estos datos se relacionen con los resultados de la fase concéntrica, especialmente en la potencia pico, dadas las características de la curva fuerza-tiempo.

Pupo y Cols (8) describen resultados de 12 jugadores hombres de voleibol sala, miembros de un equipo profesional de Brasil. Reportan una potencia pico concéntrica relativa de 27.95 W/kg y una fuerza pico concéntrica relativa de 22.5 N/kg. Por otro lado Laffaye y Cols (35) describen en atletas elite de voleibol una fuerza promedio en fase concéntrica de 19.64 N/kg, aunque el resultado no es directamente comparable con los del presente estudio ya que el CMJ fue realizado con movimiento libre de miembros superiores.

En el presente estudio, en voleibol sala se encontró una potencia pico concéntrica relativa de 48.8 W/kg y fuerza pico concéntrica relativa de 25 N/kg, superior a la descrita por Pupo y Cols (8) y similar a la descrita por Centeno-Prada y Cols (11). Es importante resaltar que los resultados del presente estudio obedecen principalmente a pruebas realizadas en mujeres, ya que sólo fue posible incluir un deportista hombre de esta disciplina deportiva.

Por otro lado, en los resultados se observan niveles superiores en la mayoría de las variables cinéticas en BMX y levantamiento de pesas, esto ocurre tanto para la fase excéntrica y concéntrica del CMJ. Un metaanálisis publicado por Berton y Cols (36) demostró que el tipo de entrenamiento que involucra ejercicios del levantamiento de pesas, genera mayores resultados en el desempeño del CMJ, comparado con el entrenamiento de fuerza tradicional.

Una de las hipótesis que puede explicar lo anterior, implica la especificidad o similitud en los movimientos, que son desarrollados a gran velocidad e involucran fase excéntrica y concéntrica. Adicionalmente se realiza una triple extensión articular (tobillos, rodillas y caderas) con una aceleración importante, lo que permite que se genere un gran nivel de transferencia y por lo tanto se expresa la mejoría en los resultados del CMJ (36).

Lo anterior se relaciona a nivel fisiológico en que los deportes de fuerza y potencia tienden a expresar mayor proporción de fibras tipo IIa y IIx (60-80%) (37, 38) comparados con deportes de fondo, en los que se expresan predominantemente fibras tipo I (60-90%) (37). Lo que es fundamental ya que la isoforma de la cadena pesada de miosina determina la tasa de ciclado de los puentes cruzados, las fibras tipo II hidrolizan el ATP 2-3 veces más rápido que las fibras tipo I, por lo tanto, esto influye en la velocidad en la que se da el acortamiento de las células musculares (37, 39). Conociendo que la velocidad es un componente de la potencia, es posible asociar estos resultados. Adicionalmente se ha descrito asociación entre el porcentaje de fibras tipo II en cuádriceps y la fuerza producida en la extensión de rodilla (37).

Además de las diferencias en la proporción de tipo de fibras musculares, el área transversal muscular también puede cobrar un papel importante en la producción de fuerza. En deportes de resistencia, en este caso marcha atlética, las características antropométricas de los deportistas implican un menor grado de hipertrofia muscular comparado con los deportistas de fuerza y potencia, lo que puede contribuir a los resultados encontrados.

Dado que el análisis de los resultados se realizó con base a variables relativas al peso corporal, podría argumentarse que el efecto del área transversal muscular y la hipertrofia disminuye al momento de interpretar los valores. Sin embargo, se ha descrito un aumento del ángulo de penación de las fibras musculares con el entrenamiento de fuerza y la hipertrofia, lo que influencia la mecánica articular y

cambia la arquitectura muscular, mejorando la producción de fuerza (40), nuevamente relacionado con los resultados encontrados, en los que se observa mayor fuerza relativa tanto en fase concéntrica y excéntrica en deportes de fuerza y potencia.

Otra hipótesis mencionada en el metanálisis de Berton y Cols, indica que, en el fortalecimiento tradicional, los movimientos usualmente se realizan a menor velocidad, especialmente cuando se trata de intensidades $>80\%$ 1RM, por lo que la activación muscular ocurre a una tasa diferente (36).

Por otro lado, en ese estudio no encontraron diferencias entre entrenamiento de levantamiento de pesas y entrenamiento con pliometría con respecto a la mejoría en el rendimiento del CMJ. Lo que puede explicarse porque el entrenamiento con pliometría también implica cierto grado de especificidad de movimiento, relacionado con saltos bipodales, saltos con sentadilla profunda, saltos a vallas, que se han relacionado con mejoría en la eficiencia del ciclo estiramiento acortamiento (36).

Aunque el entrenamiento con ejercicios de levantamiento de pesas es de gran utilidad, también se ha descrito mejoría con el entrenamiento enfocado en el fortalecimiento muscular tradicional. Éste mejora el tamaño de miofibrillas, la actividad neuromuscular y la activación muscular (41, 42, 43). Además puede generar mejoría en la potencia, estimula el reclutamiento de las unidades motoras, mejorando la velocidad contráctil, la función del ciclo estiramiento acortamiento y el stiffness (27, 43).

Algunos estudios describen que la mejoría en el stiffness en el complejo músculo tendón, mejora consecuentemente la TDF-DE, ya que permite una transmisión de fuerzas más eficiente y rápida en el sistema osteomuscular (27, 40, 44). En actividades en las que el ciclo estiramiento acortamiento es fundamental, es importante mejorar la capacidad de almacenar y utilizar energía elástica y la TDF-DE permite medir esta capacidad (33).

De manera general, La TDF indica el incremento de la fuerza en un intervalo de tiempo, se ha asociado a desempeño neuromuscular, especialmente en deportes de fuerza explosiva, independiente de la habilidad de saltar. Un ejemplo de esto, es la gran TDF en fase concéntrica en el atletismo de velocidad, que se ha mostrado superior con respecto a otras disciplinas deportivas en las que el salto como habilidad técnica es fundamental (8). En este punto es importante mencionar que dado que la TDF hace referencia a la pendiente de la curva fuerza-tiempo en un momento determinado, se cuestiona la confiabilidad del cálculo de la TDF en fase concéntrica dada la morfología de la curva y por lo tanto en el presente estudio se incluyó la TDF-DE (24).

Adicionalmente, dado que la potencia representa el comportamiento de la fuerza y la velocidad, también depende de otras variables como la TDF. Se ha descrito un mejor desempeño en el CMJ en velocistas comparados con voleibolistas, las hipótesis que lo explican tratan aspectos funcionales, estructurales y mecánicos. La mayor cantidad de fibras rápidas en velocistas puede ser un factor asociado, potenciado por los entrenamientos de pliometría y sprints (8).

Pupo y Cols. (8) describen una TDF en fase concéntrica de 2880.56 N/s en deportistas hombres de voleibol sala. Sin embargo, no describen el valor relativo y previamente se explicó las limitaciones de esta variable en fase concéntrica. Laffaye y Cols. (35) describen una TDF-DE de 3.57 N/s/kg, sin embargo como se menciona el CMJ fue realizado con miembros superiores libres. Teniendo en cuenta lo anterior, los resultados no son comparables con los del presente estudio.

Cabe mencionar que, en el presente estudio, se realizó estratificación por sexo para cada deporte en las diferentes variables. Se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas para todas las variables entre los hombres de los seis deportes y entre las mujeres de los seis deportes. Por lo que es posible, concluir que existen diferencias entre deportes independientemente del sexo. Sin embargo, no

se realizó comparación entre hombres y mujeres, por lo que no es posible aseverar conclusiones comparando sexos.

Teniendo en cuenta lo anterior, se identificaron comportamientos llamativos entre sexos en las variables estudiadas, lo que implica un campo adicional de investigación. Se observó que la mayoría de las variables cinéticas y cinemáticas, muestran un predominio en hombres comparados con mujeres, tanto en fuerza como en potencia. Este resultado es esperable y ha sido previamente descrito (6).

En un estudio describen mayor potencia relativa en hombres, explicado porque los hombres presentaron mayor desplazamiento del centro de masa en el mismo tiempo de ejecución de las mujeres, recordando que la velocidad es distancia recorrida en tiempo determinado, los hombres presentaron mayor velocidad en la ejecución del movimiento y por lo tanto mayor potencia. Sin embargo, existen resultados controversiales con respecto a las diferencias por sexo, ya que a su vez describen similitud en la fuerza relativa al peso (27).

Existe controversia en cuanto a la diferencia en la TDF-DE entre mujeres y hombres, en el presente estudio, esta fue una de las pocas variables en las que predominó el desempeño de las mujeres, con respecto a los hombres. La TDF-DE evalúa la capacidad de la unidad músculo tendón de estirarse y rápidamente alcanzar pico de fuerza. Un estudio encontró mayor duración en la fase de desaceleración excéntrica en hombres comparados con mujeres (28) y se ha descrito mejor utilización de energía elástica en mujeres comparado con hombres (45). lo que podría extrapolarse a estos resultados. Rice y Cols (43) reportaron valores similares en esta variable entre ambos sexos.

Sin embargo, en otros estudios describen mayor TDF-DE en hombres comparados con mujeres, indicando que existen diferencias estructurales en las propiedades elásticas y arquitectura muscular diferente, con mayor área transversal y mayor ángulo de penetración en vasto lateral y gastrocnemios en

hombres. (35, 43). Dada la heterogeneidad en la metodología de medición de la variable entre estudios (46, 47), es importante ampliar el campo de la investigación en este sentido.

Adicionalmente se presenta distribución de variables por cuartiles para cada deporte, estratificando por sexo y relativizando por peso corporal, con el fin de evitar variables de confusión que pueden llevar a alteraciones en la interpretación de los datos.

Es difícil comparar estos resultados con los publicados previamente dada la diversidad de variables que pueden ser evaluadas al realizar un CMJ en plataforma de fuerza (11). Además, algunas de las variables pueden ser evaluadas de acuerdo con las diferentes fases o de manera general, lo que dificulta aún más la comparación de resultados. Como se mencionó, la altura del salto es una de las variables más estudiadas, así como la fuerza y potencia. Sin embargo, existen variables que se han estudiado en menor proporción y que han demostrado gran utilidad en la aplicación del CMJ, como el TV:TC y la TDF-DE, lo que abre una gran posibilidad para continuar con la generación de conocimiento.

En este estudio no se tuvo en cuenta las variables relacionadas con cargas de entrenamiento, que son fundamentales para poder establecer relaciones en el proceso de monitorización de cargas. Dado que el presente estudio es de corte transversal, su naturaleza no permite establecer causalidad con relación a los resultados (6).

Teniendo en cuenta lo anterior, los hallazgos del presente estudio son útiles en la práctica de la medicina del deporte, en la medida en que brindan una base para conocer ciertas características específicas de los deportes incluidos. Esto permite evaluar de manera objetiva los resultados del CMJ en atletas y direccionar su preparación, tomando como referencia valores de deportistas élite del más alto rendimiento nacional, que han participado y logrado títulos en competencias internacionales.

Como se mencionó, el CMJ tiene diferentes utilidades. En el presente estudio, se utilizó como herramienta para realizar perfilamiento, con estándares e indicadores que permitan interpretar valores de desempeño en los deportistas. Sin embargo, también es útil en la monitorización de la respuesta a cargas de entrenamiento y en el proceso de rehabilitación de lesiones y retorno al deporte (24). Permitiendo a los médicos del deporte migrar de una posición asistencialista a intervencionista, basados en toma de decisiones con datos objetivos y metas específicas. Por lo que es fundamental continuar con la generación de conocimientos en el área.

Fortalezas del estudio

Dentro de las fortalezas del estudio se puede considerar que provee información útil para la práctica diaria de la medicina del deporte, especialmente en el campo del alto rendimiento. Estos datos brindan una guía y apoyan la interpretación de resultados en la prueba de CMJ. Adicionalmente aporta datos específicos, estratificados por deporte y por sexo, lo que es de gran utilidad para su aplicación.

Limitaciones del estudio

La principal limitación del estudio radica en que, dada la naturaleza retrospectiva del mismo, no se tomaron en cuenta variables de cargas y fase de entrenamiento, por lo que no es posible realizar asociación con las mismas. Lo anterior se mitigó incluyendo los mejores valores registrados para cada atleta, de manera que los resultados reflejan el mejor desempeño que han reflejado en el CMJ durante los años que se incluyeron en el estudio. Otra limitación importante fue la inclusión de un único deportista hombre en el deporte de voleibol sala, luego de revisar los criterios indicados en la metodología. Lo que impidió realizar un análisis comparativo con este grupo específico.

Conclusiones

La información que proporciona este estudio es fundamental porque permite identificar las características de cada deporte, con respecto a las variables cinéticas y cinemáticas del CMJ. Se encontraron diferencias significativas en la mayoría de las variables estudiadas entre los seis deportes, independientemente del sexo. Lo que puede ser un reflejo de las necesidades de cada disciplina en cuanto al rendimiento, siendo BMX y levantamiento de pesas los deportes predominantes en la mayoría de las variables. Esto es fundamental pues representa una guía específica a la hora de evaluar los resultados de los deportistas, incluso estratificando por sexo y distribuyendo por cuartiles. Esto último permite identificar el desempeño físico de un atleta en un momento en el tiempo y así evaluar las estrategias necesarias para promover su rendimiento. Es importante ampliar las investigaciones en este campo pues conocer las características de los deportes e identificar las necesidades para cada uno de manera específica, permite realizar intervenciones más acertadas en la medicina del deporte.

Referencias

1. Rodríguez Zárate NM, Argothy Bucheli RE, Acero Jáuregui JA, Gómez Salazar L, Menzel H, Cohen DD. Lineamientos de Política Pública en Ciencias del Deporte en Biomecánica: Coldeportes; 2018.
2. Serrato Roa M, Galeano EE, Sanchez Medina L, Cohen DD, Quiceno Noguera JC, Albarracín Trujillo J. Lineamientos de Política Pública en Ciencias del Deporte en Medicina: Coldeportes; 2015.
3. Petridis L, Utczás K, Tróznai Z, Kalabiska I, Pálinkás G, Szabó T. Vertical Jump Performance in Hungarian Male Elite Junior Soccer Players. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. 2019;90(2):251-7.
4. Carroll KM, Wagle JP, Sole CJ, Stone MH. Intrasession and Intersession Reliability of Countermovement Jump Testing in Division-I Volleyball Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2019;33(11):2932-5.
5. Bourdon PC, Cardinale M, Murray A, Gastin P, Kellmann M, Varley MC, et al. Monitoring athlete training loads: Consensus statement. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2017;12:161-70.
6. Haugen TA, Breitschädel F, Wiig H, Seiler S. Countermovement jump height in national-team athletes of various sports: A framework for practitioners and scientists. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2021;16(2):184-9.
7. McHugh MP, Hickok M, Cohen JA, Virgile A, Connolly DAJ. Is there a biomechanically efficient vertical ground reaction force profile for countermovement jumps? *Translational Sports Medicine*. 2021;4(1):138-46.
8. Pupo JD, Detanico D. Kinetic Parameters as Determinants of Vertical Jump Performance. *Brazilian Journal of Kinanthropometry and Human Performance*. 2011;14(1):41-51.

9. McErlain-Naylor S, King M, Pain MThG. Determinants of countermovement jump performance: a kinetic and kinematic analysis. *Journal of sports sciences*. 2014;32(19):1805-12.
10. c
12. Lindberg K, Solberg P, Bjørnsen T, Helland C, Rønnestad B, Frank MT, et al. Force-velocity profiling in athletes: Reliability and agreement across methods. *PLoS ONE*. 2021;16(2 February):1-20.
13. McMahon JJ, Suchomel TJ, Lake JP, Comfort P. Understanding the key phases of the countermovement jump force-time curve. *Strength and Conditioning Journal*. 2018;40(4):96-106.
14. Gabbett TJ. The training-injury prevention paradox: Should athletes be training smarter and harder? *British Journal of Sports Medicine*. 2016;50(5):273-80.
15. Sha Z, Zhou Z, Dai B. Analyses of Countermovement Jump Performance in Time and Frequency Domains. *Journal of Human Kinetics*. 2021;78(1):41-8.
16. Lombard W, Reid S, Pearson K, Lambert M. Reliability of metrics associated with a countermovement jump performed on a force plate. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*. 2017;21(4):235-43.
17. Soligard T, Schweltnus M, Alonso JM, Bahr R, Clarsen B, Dijkstra HP, et al. How much is too much? (Part 1) International Olympic Committee consensus statement on load in sport and risk of injury. *British Journal of Sports Medicine*. 2016;50(17):1030-41.
18. Schweltnus M, Soligard T, Alonso JM, Bahr R, Clarsen B, Dijkstra HP, et al. How much is too much? (Part 2) International Olympic Committee consensus statement on load in sport and risk of illness. *British Journal of Sports Medicine*. 2016;50(17):1043-52.
19. James LP, Suppiah H, McGuigan MR, Carey DL. Dimensionality Reduction for Countermovement Jump Metrics. *International journal of sports physiology and performance*. 2021;16(7):1052-5.

20. Hara M, Shibayama A, Takeshita D, Fukashiro S. The effect of arm swing on lower extremities in vertical jumping. *Journal of Biomechanics*. 2006;39(13):2503-11.
21. Lees A, Vanrenterghem J, Clercq DD. Understanding how an arm swing enhances performance in the vertical jump. *Journal of Biomechanics*. 2004;37(12):1929-40.
22. Hooren B, Zolotarjova J. THE DIFFERENCE BETWEEN COUNTERMOVEMENT AND SQUAT JUMP PERFORMANCES: A REVIEW OF UNDERLYING MECHANISMS WITH PRACTICAL APPLICATIONS. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2017;31(7):2011–20.
23. Claudino JG, Cronin J, Mezêncio B, McMaster DT, McGuigan M, Tricoli V, et al. The countermovement jump to monitor neuromuscular status: A meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2017;20(4):397-402.
24. Cohen D, Kennedy C. Kinetics and Force Platforms. In: French D, Torres L, editors. *NSCA's Essentials of Sport Science: Human Kinetics*; 2021.
25. Dunn EC, Humberstone CE, Franchini E, Iredale KF, Blazeovich AJ. Relationships between Punch Impact Force and Upper-and Lower-Body Muscular Strength and Power in Highly Trained Amateur Boxers. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2022;36(4):1019-25.
26. Yi W, Chen C, Zhou Z, Cui W, Wang D. Acute effects of ballistic versus heavy-resistance exercises on countermovement jump and rear-hand straight punch performance in amateur boxers. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*. 2022;14(1):1-8.
27. McMahon JJ, Rej SJE, Comfort P. Sex differences in countermovement jump phase characteristics. *Sports*. 2017;5(1):1-11.

28. Philpott LK, Forrester SE, van Lopik KAJ, Hayward S, Conway PP, West AA. Countermovement jump performance in elite male and female sprinters and high jumpers. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*. 2021;235(2):131-8.
29. Heishman A, Brown B, Daub B, Miller R, Freitas E, Bemben M. The influence of countermovement jump protocol on reactive strength index modified and flight time: Contraction time in collegiate basketball players. *Sports*. 2019;7(2).
30. McMahon JJ, Lake JP, Comfort P. Reliability of and relationship between flight time to contraction time ratio and reactive strength index modified. *Sports*. 2018;6(3).
31. Cohen DD, Burton A, Wells C, Taberner M, Diaz MA, Graham-Smith P. Single Vs Double Leg Jump Tests - Not Half an Apple. *Aspetar Sports Medicine Journal*. 2020(March):34-41.
32. Wu PPY, Sterkenburg N, Everett K, Chapman DW, White N, Mengersen K. Predicting fatigue using countermovement jump force-time signatures: PCA can distinguish neuromuscular versus metabolic fatigue. *PLoS ONE*. 2019;14(7):1-16.
33. Barker LA, Harry JR, Mercer JA. Relationships between countermovement jump ground reaction forces and jump height, reactive strength index, and jump time. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2017;32(1):248-54.
34. Jiménez-Reyes P, Samozino P, García-Ramos A, Cuadrado-Peñafiel V, Brughelli M, Morin JB. Relationship between vertical and horizontal force-velocity-power profiles in various sports and levels of practice. *PeerJ*. 2018;2018(11):1-18.
35. Laffaye G, Wagner PP, Tombleson TIL. Countermovement jump height: Gender and sport-specific differences in the force-time variables. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2014;28(4):1096-105.

36. Berton R, Lixandrão ME, Pinto e Silva CM, Tricoli V. Effects of weightlifting exercise, traditional resistance and plyometric training on countermovement jump performance: a meta-analysis. *Journal of Sports Sciences*. 2018;36(18):2038-44.
37. Wilson JM, Loenneke JP, Jo E, Wilson GJ, Zourdos MC, Kim JS. The effects of endurance, strength, and power training on muscle fiber type shifting. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2012;26(6):1724-9.
38. Storey A, Smith HK. Unique aspects of competitive weightlifting: Performance, training and physiology. *Sports Medicine*. 2012;42(9):769-90.
39. Allen DG, Lamb GD, Westerblad H. Skeletal muscle fatigue: Cellular mechanisms. *Physiological Reviews*. 2008;88(1):287-332.
40. Folland JP, Williams AG. The adaptations to strength training: Morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Medicine*. 2007;37(2):145-68.
41. Jakobsen MD, Sundstrup E, Randers MB, Kjær M, Andersen LL, Krstrup P, et al. The effect of strength training, recreational soccer and running exercise on stretch-shortening cycle muscle performance during countermovement jumping. *Human Movement Science*. 2012;31(4):970-86.
42. Cormie P, McBride JM, McCaulley GO. Power-time, force-time, and velocity-time curve analysis of the countermovement jump: Impact of training. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2009;23(1):177-86.
43. Rice PE, Goodman CL, Capps CR, Triplett NT, Erickson TM, McBride JM. Force– and power–time curve comparison during jumping between strength-matched male and female basketball players. *European Journal of Sport Science*. 2017;17(3):286-93.
44. Markovic G, Mikulic P. Neuro-musculoskeletal and performance adaptations to lower-extremity plyometric training. *Sports Medicine*. 2010;40(10):859-95.

45. Harry J, Barker L, Tinsley G, Krzyszkowski J, Chowning L, McMahon J, et al. Relationships among Countermovement Vertical Jump Performance Metrics, Strategy Variables, and Interlimb Asymmetry in Females. *Sports Biomechanics*. 2021(May 5):1-19.
46. Ebben W, Flanagan E, Jensen R. Gender similarities in rate of force development and time to takeoff during the countermovement jump. *Journal of Exercise Physiology Online*. 2007;10(6):10-7.
47. Bell D, Jacobs I. Electro-mechanical response times and rate of force development in males and females. *Medicine and science in sports and exercise*. 1985;18(1).