



UNIVERSIDAD METROPOLITANA DE CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN
FACULTAD DE ARTES Y EDUCACIÓN FÍSICA
DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN FÍSICA, DEPORTES Y RECREACIÓN

**PARÁMETROS CINEMÁTICOS DE TAEKWONDISTAS CHILENOS DE NIVEL
ÉLITE EN LA PATADA BANDAL CHAGUI**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE PROFESOR DE EDUCACIÓN FÍSICA,
DEPORTES Y RECREACIÓN.

AUTOR: IGNACIO ANDRÉS ROA GAMBOA

PROFESOR GUÍA: DR. ESTEBAN ARIEL AEDO MUÑOZ

SANTIAGO DE CHILE, ABRIL DE 2024

Autorizado para SIBUMCE DIGITAL

2024, Ignacio Andrés Roa Gamboa

Se autoriza la reproducción total o parcial de este material, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, siempre que se haga la referencia bibliográfica que acredite el presente trabajo y su autor.

Dedicado a mis padres, por su esfuerzo que me permitió estudiar lo que me apasiona. A mi abuela que, si bien no logró estar presente en mi titulación, me acompaña desde el plano espiritual. Finalmente, a Carla, por su constante aliento y apoyo incondicional en los momentos más difíciles de este proceso, sin ella no hubiese sido posible.

Agradecimientos

A mi profesor guía y maestro Esteban Aedo, que me abrió las puertas en el camino de la ciencia y la investigación de forma desinteresada e incondicional, mi respeto, cariño y admiración. A los docentes y funcionarios del DEFDER por todo lo enseñado, allí he aprendido no solo a ser educador, sino a ser mejor persona. A mis amigos de carrera, con quienes tuve el placer de compartir este bello proceso y observar su crecimiento personal, mis mejores deseos para ustedes. Finalmente, a mis compañeros de ayudantía: Ricardo, María José y especialmente Fernando y Carla, todos dejaron una huella en mi formación profesional y me ayudaron de una u otro forma descubrir mi rumbo.

Tabla de contenido

Agradecimientos	4
Tabla de contenido.....	5
Resumen	7
Abstract.....	8
Introducción.....	9
1. Planteamiento del Problema	12
1.1. Diagnóstico	12
1.2. Preguntas de investigación:.....	14
1.3. Objetivo general:.....	14
1.4. Objetivos específicos:	14
2. Marco Referencial	15
3. Metodología.....	27
3.1. Enfoque Investigativo	27
3.2. Diseño y Tipo de Investigación	27
3.3. Universo y Población.....	27
3.4. Selección de Muestra	28
3.5. Definición de Variables	28
3.5.1. Tiempo.	28
3.6. Técnica de Recolección de Datos	29
3.7. Análisis de los Datos.....	30
3.8. Criterios de Rigor Científico.....	30
3.8.1. Confiabilidad.....	30
3.8.2. Validez.	30

4. Análisis	31
4.1. Aplicación del Instrumento.....	31
4.2. Modelo Cinemático.....	31
4.3. Análisis de Normalidad.....	32
5. Resultados.....	33
5.1. Estadística Descriptiva.....	33
5.2. Estadística Inferencial.....	39
6. Discusión	42
7. Conclusiones.....	51
8. Referencias	52

Resumen

El taekwondo es un deporte de combate basado principalmente en técnicas de patada, siendo el Bandal chagui la más utilizada y la que marca la mayor cantidad de puntos. Pese a su relevancia, los detalles cinemáticos de la técnica no han sido cubiertos en profundidad, por lo que la presente investigación buscó definir los parámetros cinemáticos de los atletas de élite en la técnica bandal chagui utilizando un modelo biomecánico de tres fases para su análisis, utilizando la técnica de videofotogrametría mediante el sistema de captura de movimiento VICON. Se aplicaron pruebas estadísticas descriptivas e inferenciales a los datos obtenidos mediante el software SPSS. Los resultados sugieren que la fase de impacto es la que presenta los mayores resultados de velocidad y aceleración, así como la que presenta las mayores variaciones entre deportistas. Asimismo, la articulación de la rodilla fue la que obtuvo los mayores valores de velocidad y aceleración. Adicionalmente, se registraron diferencias significativas entre ocho fases de la técnica, las que involucran a cadera, rodilla y pie, obteniendo el mayor tamaño del efecto en las comparaciones realizadas entre las fases de lanzamiento e impacto.

Palabras clave:

Artes Marciales - Tae Kwon Do – Fenómenos Biomecánicos - Cinemática

Abstract

Taekwondo is a combat sport based mainly on kicking techniques, with the Bandal chagui being the most used and the one that scores the most points. Despite its relevance, the kinematic details of the technique have not been covered in depth, so the present research sought to define the kinematic parameters of elite athletes in the bandal chagui technique using a three-phase biomechanical model for analysis, using the videophotogrammetry technique through the VICON motion capture system. Descriptive and inferential statistical tests were applied to the data obtained using SPSS software. The results suggest that the impact phase is the one that presents the highest speed and acceleration results, as well as the one that presents the greatest variations between athletes. Likewise, the knee joint was the one that obtained the highest values of speed and acceleration. Additionally, significant differences were recorded between eight phases of the technique, those involving the hip, knee and foot, obtaining the largest effect size in the comparisons made between the launch and impact phases.

Key words:

Martial Arts - Tae Kwon Do – Biomechanical Phenomena - Kinematics

Introducción

El taekwondo es un arte marcial caracterizado por su enfrentamiento libre de armas y numerosas técnicas de patada. Originado hace unos 1.500 años en Corea del Sur como método de autodefensa, el taekwondo se ha masificado globalmente como deporte desde su aparición en los Juegos Olímpicos de Seúl 1988, instancia en la que se presentó como evento de exhibición, lo que le permitió ser incorporado posteriormente como deporte olímpico oficial en los Juegos de Sidney 2000 (Bürger-Mendonça et al., 2015; Kazemi et al., 2006).

Como establece la Federación Mundial de Taekwondo en su reglamento (World Taekwondo, 2019), el combate se compone por tres rondas de dos minutos cada una, con un minuto de descanso entre cada ronda. Dentro de este tiempo, los competidores tratarán de alcanzar la mayor puntuación posible para superar a su adversario y conseguir la victoria, o bien podrán obtenerla directamente mediante *Knock-down* en un ataque legítimo. La puntuación obtenida en cada golpe depende de la técnica utilizada y el área del cuerpo contactada, siendo permitidos golpes de puño (Jirugui) en el tronco y patadas (Chagui) en tronco y cabeza siempre que el contacto sea realizado con el pie.

Las características de la disciplina exigen a los taekwondistas una gran condición física para alcanzar el alto rendimiento. Acciones como giros, saltos y patadas son fundamentales dentro del combate y requieren de altos niveles de fuerza, velocidad y coordinación, entre otras capacidades (Kim & Nam, 2021; Lystad et al., 2009), así como una gran condición del metabolismo anaeróbico para soportar las numerosas acciones de alta intensidad y corta duración que se dan dentro del combate, principalmente en acciones ofensivas (Bouhlef et al., 2006). Pese a que existe una predominancia de los periodos de baja intensidad o pausa sobre los movimientos exigentes, las acciones decisivas que permiten puntuar son realizadas gracias al sistema anaeróbico aláctico, siendo estas principalmente golpes y patadas.

Dentro del combate, los momentos de ataque se alternan con momentos de baja intensidad o directa pausa mientras se espera volver a atacar, existiendo una relación entre los tiempos de esfuerzo y pausa (E:P) que puede ir desde 1:4 hasta inclusive 1:9 dependiendo del nivel de pericia de los deportistas (Heller et al., 1998; Matsushigue et al., 2009; Sant' Ana et al.,

2021). Para sorprender al rival y conseguir la puntuación, los movimientos durante el periodo de esfuerzo deben ser precisos y veloces, aspectos determinantes para el éxito y el rendimiento deportivo en la disciplina (Falcó Pérez et al., 2009; Santos et al., 2014).

En los momentos de ataque, la utilización del tren inferior es ampliamente superior en comparación al tren superior, generándose el 98% de los puntos gracias a las patadas (Kazemi et al., 2013; P. Moreira et al., 2014). En cuanto a la zona de contacto, las patadas dirigidas al pecho son más frecuentes que las dirigidas a la cabeza, registrando una mayor fuerza de impacto y menor tiempo de ejecución, lo que explica su predominancia (Estevan & Falco, 2013).

Entre las técnicas de patada preferidas, el Bandal Chagui o patada semicircular destaca como la más utilizada por los deportistas y la que cuenta con mayor incidencia en las puntuaciones, concediendo más de la mitad del total alcanzado en combate (Avakian et al., 2021; Ferreira Pedrosa et al., n.d.; P. V. S. Moreira et al., 2016). Sin embargo, a pesar de que su importancia ha quedado en evidencia, los parámetros cinemáticos de cada fase del Bandal Chagui no han sido cubiertos con profundidad. El parámetro, entendido como una cifra que resume las características de la población en torno a una variable de interés, es una información relevante en el análisis de las técnicas deportivas, sin embargo, debido a las dificultades para medir a una población completa suele ser desconocido, por lo que su estimación mediante valores obtenidos de la muestra es una alternativa útil para aproximarse al valor real (Ángel Martínez-González et al., 2020).

Los estudios que han abordado las características cinemáticas de la técnica realizan un análisis general de la misma, sin detallar valores para las distintas fases del movimiento. Sumado a ello, los escasos estudios que han dividido el análisis del movimiento por fases han utilizado distintos protocolos y modelos cinemáticos, lo que dificulta la estandarización de los resultados (Gavagan & Sayers, 2017; Miziara et al., 2019; P. Moreira et al., 2021). Es por esto que el presente estudio busca definir los parámetros cinemáticos de la patada bandal chagui en una muestra de selección nacional nivel élite, determinando las variables de tiempo, velocidad y aceleración en base a un modelo cinemático de tres fases propuesto en la literatura (Kim et al., 2010), correspondientes a las fases de empuje, lanzamiento e impacto. El estudio se centró en las articulaciones de cadera y rodilla, junto con el segmento pie, registrando los datos mediante el sistema de videofotogrametría Vicon. Adicionalmente, se realizó una comparación entre fases

para explorar posibles diferencias significativas entre las variables analizadas, información no encontrada en la literatura y fundamental para el rendimiento.

1. Planteamiento del Problema

1.1. Diagnóstico

El éxito en el taekwondo moderno se basa en contactar de la forma más rápida posible al oponente para conseguir la puntuación. Dentro de los distintos métodos para lograr este objetivo, la técnica de bandal chagui se alza como la patada más utilizada en los combates de taekwondo, y asimismo la más puntuadora (Avakian et al., 2021; Falco et al., 2009; Ferreira Pedrosa et al., n.d.). En este movimiento, la extremidad pateadora viaja hacia el frente en una trayectoria circular, quedando con la rodilla flexionada en posición de preparación para el ataque, desde donde prosigue hacia el objetivo a través de una extensión de rodilla y extensión de tobillo hasta que el oponente es alcanzado, impactando en la zona del tronco con la superficie dorsal del pie (Falco et al., 2009; Miziara et al., 2019). Pese a que su importancia ha sido demostrada, los estudios se han centrado en describir las causas del movimiento (cinética), mientras que la descripción del movimiento como tal (cinemática) no ha sido cubierta en profundidad, o bien la literatura que lo ha hecho se ha basado en distintos protocolos (Gavagan & Sayers, 2017; Kim et al., 2010; Sbriccoli et al., 2010), impidiendo su comparación y generando un vacío investigativo en relación a los parámetros cinemáticos de la técnica en grupos de distinto nivel de pericia. Varios estudios han detallado el tiempo de ejecución, sin embargo, estos presentan diferencias metodológicas que pueden afectar los resultados, como la frecuencia de sampleo de los sistemas utilizados o los instantes utilizados para dividir y analizar la técnica, o bien directamente se omiten algunos aspectos de esta como el sexo de la muestra (Boey & Xie, 2002; Branco et al., 2019; Estevan et al., 2011; Falcó Pérez et al., 2009; Gavagan & Sayers, 2017; Hermann et al., 2008; Miziara et al., 2019). Otras variables cinemáticas fundamentales en la competición son la velocidad y aceleración. Se ha demostrado que estas variables presentan valores mayores en grupos de mayor nivel (Branco et al., 2019; Chang et al., 2021; Quinzi et al., 2013; Sbriccoli et al., 2010), sin embargo, estos carecen de una descripción completa. Los estudios centrados en estas variables detallan el valor pico de la técnica o de cada articulación, o bien se centran en la velocidad de determinados instantes o fases, excluyendo el resto de la técnica (Boey & Xie, 2002; Branco et al., 2019; Chang et al., 2021; Wąsik & Shan, 2015), lo que demuestra un vacío en la literatura. Los estudios que han

detallado la velocidad por fases presentan una situación similar al tiempo, ya que utilizan distintos modelos que impiden su relación y estandarización (Estevan et al., 2013; Fife et al., 2013; Gavagan & Sayers, 2017; P. Moreira & Paula, 2017; Wąsik & Shan, 2015), mientras que en aceleración no hay investigaciones que definan esta variable según fases de la técnica de acuerdo a la revisión de la literatura realizada. Llevando esta problemática al ámbito nacional, las investigaciones existentes sobre Taekwondo en poblaciones chilenas no han abordado las características biomecánicas del combate, profundizando en cambio sobre áreas como la antropometría y la condición física (Godoy-Cumillaf et al., 2015; Herrera-Valenzuela et al., 2020; Hsu et al., 2023; Mendez-Cornejo et al., 2019; Ojeda-Aravena et al., 2020; Orellana Lepe et al., 2018). Esto mantiene el vacío presentado anteriormente sobre los parámetros cinemáticos de la técnica y el deporte, lo que justifica su estudio y descubrimiento. La escasa información existente sobre la técnica y su importancia dentro del combate hacen necesaria la determinación de los parámetros cinemáticos de los atletas, definiendo los valores correspondientes al alto rendimiento y permitiendo su comparación con poblaciones de distinto nivel, lo que evidenciaría las diferencias que resultan determinantes para el éxito deportivo. Las variables de tiempo, velocidad y aceleración constituyen un elemento clave dentro del combate y por consecuencia, en la preparación del deportista, relacionándose directamente con el rendimiento, tanto en Taekwondo como en otros deportes de combate (Kavvoura et al., 2018; Markovic et al., 2005; Yoo et al., 2018). Conocer los parámetros del alto rendimiento en cada fase del movimiento constituye una información altamente valiosa para entrenadores y deportistas, favoreciendo la planificación y prescripción del entrenamiento (Antonietto et al., 2022; Lee et al., 2005), es por esto que el presente estudio busca responder esta necesidad y aclarar los parámetros cinemáticos de la técnica centrando su análisis por fases, pudiendo comprobar si existen diferencias en las distintas etapas que componen al bandal chagui.

1.2. Preguntas de investigación:

1.2.1. ¿Cuáles son los parámetros cinemáticos de los atletas de élite chilenos en la patada bandal chagui?

1.2.2. ¿Existen diferencias cinemáticas significativas entre las fases de la patada bandal chagui?

1.3. Objetivo general:

Determinar los parámetros cinemáticos de los atletas de élite chilenos en un modelo de tres fases para la técnica de bandal chagui.

1.4. Objetivos específicos:

1.4.1. Valorar las variables cinemáticas de tiempo, velocidad y aceleración de miembro inferior en taekwondistas de élite.

1.4.2. Analizar por fases las variables cinemáticas de los taekwondistas de élite chilenos en la técnica de bandal chagui.

1.4.3. Comparar las variables cinemáticas de miembro inferior de los atletas de élite en la técnica de bandal chagui, identificando diferencias entre fases.

2. Marco Referencial

2.1. El Taekwondo

2.1.1. Origen y evolución como deporte.

El Taekwondo es un arte marcial surgido hace aproximadamente 2.000 años en Corea como método de autodefensa. En cuanto a su etimología, la palabra Taekwondo proviene de Tae Kwon-Do, que significa camino de patadas y puños. Su origen proviene del Soo bahk do, arte marcial primitivo desarrollado por los guerreros de Silla, el reino más pequeño de Corea hace más de 1.400 años (Falcó Pérez et al., 2009). Con el tiempo, este sistema evolucionó hacia el Tae kyong, el cual se basaba casi exclusivamente en técnicas de pies, manteniéndose hasta la ocupación japonesa de 1909. Durante este periodo que se extendió hasta 1945, se prohibió la práctica de artes marciales, sin embargo, los adherentes del Tae kyong consiguieron mantener viva la destreza pese a los intentos japoneses por erradicar la cultura coreana. Tras la segunda guerra mundial, promotores del estilo Chung Do Kwan dieron origen al Tae Kwon Do en una conferencia de maestros donde se creó su nombre y fue presentado ante el General Choi Hong Hi. En 1961, la asociación coreana de taekwondo fue reconocida por el gobierno coreano, lo que daría paso a la creación de la Federación Internacional de Tae-Kwon-Do (ITF) en 1966 y a la Federación Mundial de Tae-Kwon-Do (WTF) en 1971. En 1973, se celebraría el primer Campeonato Mundial de Taekwondo en Seúl, mientras que su inclusión como deporte de demostración se daría durante la Olimpiadas de Seúl en 1988, para su posterior incorporación como deporte oficial en los Juegos Olímpicos de Sídney 2000. Dentro del deporte, la utilización de los miembros inferiores ha ido en aumento y su presencia en acciones ofensivas es notoriamente superior en relación a los miembros superiores, siendo la mayoría de los puntos realizados mediante patadas (Kazemi et al., 2013), lo que explica su masivo estudio en la literatura.

2.1.2. Técnicas de patada.

Las recurrentes lesiones producidas por el rechazo a los guantes de los primeros líderes del taekwondo generaron la exclusión de los golpes de puño a la cara dentro del reglamento. Como adaptación a las nuevas condiciones de combate, incorporó el uso del Hogu, un protector corporal. Estas nuevas reglas también contribuyeron al desarrollo del taekwondo como un deporte caracterizado por el uso casi exclusivo de las piernas y la proliferación de las técnicas de patada (Moenig, 2011). A fines de la década de 1950, las técnicas descritas por el general Choi Hong-Hi, fundador de la Federación Internacional de Taekwondo (ITF), correspondían a la patada frontal, patada circular, patada lateral, patada hacia atrás, patada ascendente, patada ascendente frontal y patada ascendente lateral, siendo la primera la más usada por los participantes.

La inclusión de la competencia con contacto a principios de la década de 1960 promovió el desarrollo del Taekwondo hacia el ámbito deportivo, alejándose de su naturaleza como arte marcial de defensa personal y diferenciándose del karate, disciplina que mantuvo su filosofía, en aquellos años. A pesar de esta diferencia, los movimientos dentro del combate seguían siendo similares a los del karate, siendo recién a finales de la década de 1960 cuando, producto de la masificación del deporte, se produjo la inclusión de nuevos desplazamientos y posturas con el fin de contar con otras estrategias para superar a los rivales, haciendo más dinámico al deporte. Del mismo modo, la introducción de la competencia traería modificaciones en las técnicas de patadas; el contacto con la bola del pie propio del karate para romper tablas fue sustituido por el impacto con el empeine, lo que resulta más efectivo para enfrentar a un adversario. Esto generó una mayor velocidad y naturalidad en las técnicas de patada, así como una reducción en el número de lesiones en el antepié y los dedos del pie, áreas afectadas con frecuencia ante este tipo de impacto (Willauschus et al., 2021).

El aumento en la velocidad del combate dificultó el logro de la puntuación con las técnicas de patada antiguas del taekwondo tradicional, más potentes pero lentas, siendo modificadas por acciones más frontales y directas hacia el oponente, dejando de lado los movimientos amplios y de gran oscilación. Así, durante la década de 1970 se desarrollaron las principales técnicas de patada conocidas en la actualidad, cuya

categorización depende tanto de la posición y como del ángulo en que sean ejecutadas (Souza et al., 2024):

2.1.2.1. An chagui. Patada lineal dirigida al costado de la cara del oponente. Previo al contacto, se realiza una extensión de la extremidad pateadora en un movimiento con trayectoria de exterior a interior, impactando al objetivo con la parte interna del pie. Simultáneamente, se produce una rotación externa en la extremidad pateadora (Kang, 2012).

2.1.2.2. Ap chagui. Patada lineal dirigida a la cabeza o al tronco del oponente. La dinámica de la patada depende de la estabilidad del tronco previa al contacto, así como de la fuerza producida en el movimiento de extensión de rodilla y tobillo para el impacto, lo que se complementa con una rotación externa simultánea de la extremidad de apoyo. El contacto es realizado con la cara plantar distal del metatarso del pie (Vagner et al., 2021).

2.1.2.3. Bakat Chagui. Patada lineal dirigida a la cabeza del oponente. Previo al contacto, se realiza una extensión de la extremidad pateadora en un movimiento con trayectoria hacia el exterior, elevándose para impactar al objetivo con la parte externa del pie. Simultáneamente, se produce una rotación externa en la extremidad pateadora de hasta 180° (Lagla, 2019).

2.1.2.4. Bandal Chagui. Patada semicircular ascendente hasta el momento de contacto con el objetivo (zona media - tronco). Previo al contacto, se produce una extensión y una rotación interna de la extremidad de contacto, una extensión de tobillo y una rotación externa simultánea de la extremidad de apoyo. El contacto se realiza con el dorso del pie (P. Moreira & Paula, 2017).

2.1.2.5. Dollyo Chagui. Patada circular oscilante con trayectoria en ascenso hasta el momento de contacto con el objetivo (zona superior - cabeza). Los segmentos proximales aceleran antes que los segmentos distales adyacentes en una extensión y rotación interna de la extremidad pateadora, acumulando energía en dirección proximodistal que beneficia la transmisión del impulso. Previo al contacto, existe una

flexión de tobillo y rotación externa simultánea de la extremidad de apoyo de hasta 180°, finalizando con el contacto al objetivo con la cara plantar distal del metatarso del pie (P. Moreira et al., 2018).

2.1.2.6. Furio Chagui. Patada lineal dirigida a la cabeza del oponente. Previo al contacto, se realiza una extensión de rodilla y tobillo de la extremidad delantera, impactando con la planta del pie en una trayectoria descendente y oblicua. Simultáneamente, se produce una rotación externa en la extremidad de apoyo de hasta 180° (Lagla, 2019).

2.1.2.7. Miro chagui. También llamada patada frontal de empuje, es una técnica lineal dirigida a la cabeza del oponente con el fin de hacerlo caer o mantener distancia. Previo al contacto, se realiza una extensión de rodilla y flexión de tobillo, simultáneo a una rotación externa de la extremidad de apoyo de hasta 90°. El impacto se produce con la zona plantar distal del pie (Kang, 2012).

2.1.2.8. Nako chagui. También denominada patada de gancho, realizada en un movimiento no lineal de la extremidad pateadora, iniciando con una rotación externa de la extremidad de apoyo de hasta 90°. Previo al contacto, se produce una extensión de la rodilla y flexión de tobillo, impactando con el talón en una trayectoria horizontal. Simultáneamente, se realiza una rotación externa de hasta 180° en la extremidad de apoyo (Souza et al., 2024).

2.1.2.9. Neryo chagui. También llamada patada descendente o patada hacha, es una técnica directa dirigida la cabeza del oponente, golpeando de arriba para abajo. Previo al contacto hay una extensión de rodilla y tobillo, con una simultánea rotación externa de la extremidad de apoyo. El contacto se realiza con la planta o talón del pie en un movimiento descendente (Epov et al., 2023) .

2.1.2.10. Tuit Chagui. También denominada patada trasera, es una técnica lineal dirigida al tronco o cabeza del oponente. Previo al contacto, se produce un giro para atacar hacia posterior mediante extensión de rodilla y flexión de tobillo, dependiendo de una gran orientación y coordinación del ejecutante. El contacto se realiza con el talón (Arteaga, 2022).

2.1.2.11. Yop Chagui. Patada lateral que implica un movimiento no lineal con la extremidad pateadora. El movimiento comienza con una rotación externa de la extremidad de apoyo. Previo al contacto se produce una extensión de rodilla y flexión tobillo, realizando el contacto con el talón en dirección ascendente. El movimiento se produce con una rotación externa simultánea de la extremidad de apoyo (Góra et al., 2024).

La evolución del Taekwondo hacia un deporte donde predomina la velocidad sobre la potencia también afectó a las técnicas utilizadas dentro del combate y su efectividad. El bandal chagui se alzó como la técnica de patada más utilizada en los combates de taekwondo (Falco et al., 2009), cuyas características serán detalladas en el siguiente punto.

2.2. El Bandal Chagui

2.2.1. Descripción del Bandal Chagui.

El bandal chagui o patada en medialuna es una técnica de patada dirigida al tronco del oponente, en la cual la rodilla de la extremidad de ataque se eleva y gira en simultáneo con una rotación interna de la cadera, quedando en posición de preparación para atacar, periodo definido por Miziara et al. (2019) como la fase de carga. Desde allí, el movimiento continúa con el desplazamiento de la extremidad hacia el oponente en un movimiento horizontal mediante la extensión de rodilla y flexión plantar de tobillo, hasta que el objetivo es alcanzado, contactando con el empeine del pie, denominando a este periodo fase de pateo (Falco et al., 2009; Miziara et al., 2019). Jung y Park (2022) agregan que el rol del tronco y la extremidad de apoyo es fundamental para mantener la estabilidad y el equilibrio durante la patada. Adicionalmente, Liu et al. (2023) destacan que la coordinación en la secuencia proximal a distal del movimiento de la extremidad pateadora es fundamental para un resultado rápido y potente. Se ha demostrado que esta técnica es la más patada más rápida (Pieter & Pieter, 1995), así como la más puntuadora (Avakian et al., 2021; Ferreira Pedrosa et al., n.d.). No obstante, Gutiérrez-Santiago et al.

(2020) también señalan que es la patada con más fallos, es decir, intentos no puntuados. (Miziara et al., 2019).

Sobre las diferencias entre grupos de distinto nivel, Moreira et al. (2016) determinó que los deportistas de élite presentan un mayor rendimiento que los deportistas de menor nivel en una gran cantidad de parámetros del Bandal Chagui, como por ejemplo en el tiempo de ejecución y el tiempo de reacción de algunos músculos involucrados en la patada. De forma similar, Ha et al. (2009) encontró diferencias entre atletas experimentados y no experimentados, específicamente en la extensión de rodilla previa al impacto, la cual fue ampliamente mayor en el grupo de mayor experiencia, diferencia de rango que no se apreció en la extensión de tobillo.

2.2.2. Cinemática del Bandal Chagui.

2.2.2.1. Tiempo de ejecución. El tiempo de ejecución del bandal chagui es fundamental dentro del combate, siendo este una de las cualidades de la técnica como demostraron Pieter y Pieter (1995) siendo el movimiento con menor tiempo de ejecución dentro de la disciplina. Sobre sus valores, los tiempos de ejecución registrados para la patada Bandal Chagui oscilan entre estudios, siendo afectados por aspectos como la experiencia de los participantes, la edad, el sexo o la distancia del objetivo (Boey & Xie, 2002; Branco et al., 2019; Estevan et al., 2011; Falcó Pérez et al., 2009; Gavagan & Sayers, 2017; Hermann et al., 2008; Kim et al., 2010; Sbriccoli et al., 2010), pudiendo ir desde los 0,28s a los 1,54s. Boey y Xie (2002) analizaron la técnica en una muestra de seleccionados nacionales de Singapur y registraron un tiempo promedio de 0.35s para hombres y 0.30s en mujeres. Evaluando el rendimiento con objetivos a corta, media y larga distancia, Estevan et al. (2011) compararon a seleccionados españoles medallistas y no medallistas, registrando un promedio de ejecución de 0.28s y 0.34s respectivamente. De forma similar, Falco et al. (2009) evaluaron el rendimiento de la patada en taekwondistas expertos y principiantes considerando tres distancias y registraron un promedio de 0.25s y 0.32s respectivamente. Finalmente, en su estudio realizado a seleccionados nacionales alemanes, Hermann et al. (2008) registraron un tiempo promedio de 0.29s para hombres y 0.33s para mujeres. Miziara et al. (2019)

registraron un tiempo de ejecución de 0,31s hasta el momento de impacto en ocho taekwondistas profesionales brasileños jóvenes. Gavagan y Sayers (2017) obtuvieron un tiempo de ejecución de 1,54s en deportistas cinturones negro, sin embargo, dentro de este incluyen una fase de recuperación posterior al impacto (hasta que el pie vuelve al suelo). Finalmente, Moreira et al. (2021), obtuvieron un tiempo de ejecución de 0,24s en atletas de élite y de 0,32 en atletas de nivel sub-élite.

2.2.2.2. Velocidad. La velocidad ha sido descrita como el factor más determinante en el Taekwondo (Jung & Park, 2022). Kwan et al. (2011) registraron una velocidad angular de 56,6°/s en los movimientos de flexo-extensión de cadera, mientras que el valor promedio de rodilla en los mismos movimientos fue de 95,5°/s. Gavagan y Sayers (2017) registraron la velocidad angular de cadera y rodilla durante la técnica en cinturones negro, obteniendo unos valores promedio de 341°/s y 943°/s respectivamente. Asimismo, registraron una velocidad lineal de pie de 14,66m/s, mientras que Estevan et al. (2013) registraron una velocidad promedio del segmento pie de 9,90 m/s en taekwondistas experimentados. Miziara et al. (2019) registraron una velocidad promedio de 6m/s, con un valor máximo de 14m/s y un valor mínimo de 3,1m/s en taekwondistas profesionales. Chang et al. (2021) obtuvo una velocidad lineal del pie de 9,75m/s en corta distancia, 9,95m/s en media distancia y 9,55m/s en larga distancia en taekwondistas junior. Finalmente, Wąsik y Shan (2015) registraron un pico de velocidad para el pie de 14,61m/s en atletas de alto nivel, valor que se encuentra dentro del rango de 9,94m/s a 16,26m/s establecido en el mismo estudio.

2.2.2.3. Aceleración. La aceleración es la variable cinemática que menos información posee a la actualidad. De los pocos estudios han estudiado esta variable en la técnica de bandal chagui, existen resultados diversos entre sí por las distintas características metodológicas de cada evaluación. Lara et al. (2011) registraron una aceleración promedio del pie de 127,65 m/s² en su estudio de caso sobre una atleta de elite, mientras que en la articulación de la rodilla registraron 421 rad/s². Sanchez Rodríguez y Bohórquez Aldana (2020) compararon la técnica de bandal con un golpe recto de boxeo,

obteniendo una aceleración de 74 m/s^2 para la técnica de taekwondo. Por último, Chang et al. (2021) estudió la aceleración del pie en distintas distancias de pateo en taekwondistas junior y obtuvo valores de $150,80 \text{ m/s}^2$, $144,99 \text{ m/s}^2$ y $139,58 \text{ m/s}^2$ en corta, media y larga distancia, respectivamente.

2.3. Biomecánica

2.3.1. Descripción de la biomecánica.

La biomecánica puede ser entendida como la ciencia que estudia las fuerzas internas y externas que actúan sobre el cuerpo humano, junto con los efectos que estas producen (Hay, 1978). Como declara Gutiérrez Dávila (1998), el cuerpo humano es un sistema biológico que se rige bajo las leyes y principios de la física, por lo que sus movimientos pueden ser analizados bajo los conocimientos de la mecánica, rama de la física dedicada al estudio del movimiento. De esta manera y como afirman Pérez-Soriano y Llana Belloch (2015), la biomecánica también se centra en el estudio anatómico y fisiológico del cuerpo como base del movimiento, con énfasis en los mecanismos neuromusculares que rigen el movimiento y el aparato locomotor compuesto por huesos, articulaciones, ligamentos, músculos y tendones, abordando las propiedades de los tejidos que conforman estas estructuras.

El estudio de la biomecánica puede dividirse en las ramas de cinemática y cinética, siendo la cinemática la encargada de la descripción espacial y temporal del movimiento, utilizando conceptos como posición, desplazamiento, velocidad y aceleración, mientras que la cinética se centra en analizar las fuerzas implicadas en el movimiento, denominando “dinámica” al estudio de las fuerzas que provocan el movimiento y “estática” al estudio de las fuerzas que mantienen al cuerpo en equilibrio (Izquierdo, 2008).

La cinemática a su vez puede dividirse en cinemática lineal, que describe movimientos traslacionales, rectilíneos o curvilíneos, utilizando unidades de medida para el desplazamiento de milímetros (mm), centímetros (cm) y metros (m), y en cinemática angular, siendo la que se ocupa del desplazamiento de las partículas en torno

a un eje, describiendo movimientos de rotación o giro. Aquí encontramos las variables de desplazamiento angular, velocidad angular y aceleración angular, utilizando como unidades de medida para cuantificar los ángulos a los grados (°), revoluciones (rev) o radianes (rad) (Pérez-Soriano & Llana Belloch, 2015).

Como señalan Aedo-Muñoz y Bustamante-Garrido (2011), la biomecánica puede enfocarse tanto en individuos sanos, entendidos como los que presentan patrones motores maduros, así como en individuos enfermos, siendo estos quienes presentan un aumento o disminución de sus patrones motores, pudiendo categorizar así a la biomecánica según su población y objeto de estudio en Biomecánica de la Educación Física, Biomecánica Deportiva o Biomecánica Kinésica. De acuerdo a las características de la presente investigación y la muestra que comprende, en los próximos puntos se profundizará en la biomecánica deportiva.

2.3.2. Biomecánica deportiva.

La biomecánica deportiva es el campo de estudio que busca analizar o dar explicación a los movimientos o técnica deportiva bajo el paradigma de la física, traspasando los acontecimientos de una formulación verbal al lenguaje matemático cuantitativo (Gutiérrez Dávila, 1998). Sobre la técnica deportiva, objeto de estudio de la biomecánica deportiva, esta puede ser comprendida como una secuencia de movimientos organizados que resuelven una tarea motora de acuerdo a las reglas de competición, con énfasis en la eficacia de la ejecución (Barrios & Ranzola, 1998; Riera, 1995). En cuanto a sus objetivos, Aguado (1993) establece que estos se relacionan al deportista, al medio y al material utilizado, entre los que se encuentran la descripción de las técnicas deportivas, la propuesta de técnicas más eficaces y menos lesivas, el estudio de las fuerzas de acción reacción relacionadas al rendimiento y la modificación de los materiales utilizados con fines de mejorar la durabilidad, seguridad y peso de estos, entre otros.

Gutiérrez Dávila (1998) menciona que la biomecánica deportiva se enfrenta a distintas dificultades, como lo son la interferencia que pueden sufrir las técnicas de

registro, las diferencias cinantropométricas y musculares entre deportistas que conllevan a resultados diferentes ante las mismas condiciones, la complejidad de algunos gestos deportivos dependientes de condiciones externas de la disciplina y la variabilidad de los resultados en técnicas sin un nivel de automatismo en la ejecución, es decir, en proceso de aprendizaje.

Como señala Izquierdo (2008), el impacto y desarrollo de la biomecánica deportiva se ha dado de forma reciente en las últimas décadas. El interés en el análisis de los gestos deportivos ha generado un gran desarrollo y avance en las técnicas de estudio de la disciplina, principalmente en el análisis cinemático. En el siguiente punto, se describen las principales evaluaciones para el movimiento en el deporte existentes a la actualidad.

2.3.3. Métodos de análisis en la Biomecánica Deportiva.

2.3.3.1. *Dinamografía.* Técnica que mide la fuerza ejercida durante una acción determinada, registrando la carga mecánica generada durante el movimiento, para lo cual utiliza dispositivos captadores de tensión tales como células de carga, dinamómetros y plataformas de fuerza (Pérez-Soriano & Llana Belloch, 2015). Esta última es una de las herramientas más utilizadas en biomecánica, registrando la fuerza de reacción ejercida contra el piso y aspectos temporales del movimiento mediante el contacto con la plataforma (Cerdeira Kohler et al., 2022).

2.3.3.2. *Acelerometría.* Técnica basada en el uso de sensores que cuantifican las aceleraciones y desaceleraciones de un sistema, traduciéndolas a una señal eléctrica (Ferrin et al., 2018). Las unidades de medida inercial (IMU) son sensores ampliamente utilizados que involucran la tecnología de los acelerómetros en complemento con un giroscopio y magnetómetro (Marotta et al., 2022).

2.3.3.3. *Electromiografía de superficie.* Técnica basada en el registro, procesamiento y análisis de la actividad eléctrica en la superficie de la piel a través de electrodos, lo que permite estudiar la intensidad y sincronización de la acción muscular (Pérez-Soriano & Llana Belloch, 2015). Los resultados de esta técnica pueden verse influenciados por la conductividad eléctrica en la zona de estudio, debiendo preparar la piel antes de la

evaluación, así como por la ubicación del electrodo, siendo recomendada su localización entre el punto de inserción del músculo y el punto motor (Cerde Kohler et al., 2022).

2.3.3.4. Goniometría. Esta técnica no invasiva se centra en el registro de ángulos, lo cual puede realizarse mediante un electrogoniómetro, instrumento transductor de ángulos utilizado principalmente en acciones dinámicas, pero que puede generar incomodidad en los deportistas (Cerde Kohler et al., 2022). Otra alternativa es el uso de un goniómetro, sin embargo, esta técnica manual requiere de una gran pericia del evaluador.

2.3.3.5. Videofotogrametría. Técnica basada en el uso de dos o más cámaras sincronizadas entre sí para el registro tridimensional del movimiento con su posterior digitalización y análisis mediante softwares específicos. Esta técnica analiza el movimiento en detalle fotograma a fotograma, lo que permite la obtención de variables cinemáticas como la posición del centro de gravedad, rangos de movimiento, velocidades y trayectorias, entre otras (Miralles Videofotogrametría, n.d.).

2.3.4. Sistemas de Captura de Movimiento.

La captura de movimiento (Mocap) corresponde a aquellas técnicas de grabación del movimiento humano, donde los registros espaciotemporales son representados digitalmente mediante un software de procesamiento de datos (Gómez Echeverry et al., 2018). Existen múltiples métodos y tecnologías para la captación del movimiento humano, algunos de ellos detallados anteriormente, encontrando técnicas con y sin marcadores, tales como grabaciones en dos o tres dimensiones con detección óptica, sensores magnéticos con imanes o sensores inerciales como acelerómetros que registran de forma directa la cinemática de los segmentos corporales.

Los sistemas de movimiento ópticos utilizan videocámaras, sensores y/o marcadores para la captura, pudiendo ser utilizados en laboratorio o ambientes más ecológicos. En esta técnica, se utilizan marcadores reflectantes o autoiluminados, los que se ubican sobre la superficie del deportista en segmentos y articulaciones específicas para representar los gestos deportivos. Este cuerpo en movimiento es captado por el software y proyectada en el ordenador, lo que permite reconstruir la figura. Pese a su

precisión y la posibilidad de representar figuras en tres dimensiones, este método requiere una gran cantidad de tiempo para el montaje del equipo y la colocación de los marcadores en el individuo a analizar, además de una gran pericia del evaluador (Gómez Echeverry et al., 2018). Otro aspecto a considerar es su alto costo y el tiempo para configurar el hardware a utilizar, el protocolo a utilizar para registrar y procesar cada técnica deportiva puede requerir distintas configuraciones para obtener todos los detalles del cuerpo en movimiento, sufriendo alteraciones en aspectos como la posición de las cámaras, el modelo de marcación a utilizar y las especificaciones de la grabación, entre otros (Pueo, 2016).

Los sistemas de captura inerciales (IMU) se basan en una combinación de giroscopios, magnetómetros y acelererómetros en sus sensores, contando con una gran exactitud en sus valores cinemáticos capturados, aspecto a considerar junto a su bajo costo, gran portabilidad para su uso en condiciones ecológicas y fácil manipulación (Hindle et al., 2021). Adicionalmente, este método no utiliza cámaras para el registro, lo que evita la oclusión y pérdida de marcadores, sin embargo, suelen presentarse errores en la deriva que afectan la velocidad y orientación de los sensores, así como perturbaciones en el campo magnético que alteran la orientación de los giroscopios, afectando el cálculo de los ángulos de rotación, por lo que esta técnica suele complementarse con otros sistemas de captura (Gómez Echeverry et al., 2018; Menéndez & Rodríguez, 2015).

Finalmente, los sistemas de captura electromagnéticos registran la relación espacial de sensores magnéticos con un transmisor cercano, al cual por lo general están conectados. Esta técnica permite realizar evaluaciones fuera del laboratorio, sin embargo, pueden presentar interferencias con objetos metálicos (Menéndez & Rodríguez, 2015), por lo que no son considerados en estudios que requieren una gran precisión de los datos. Pese a ello, algunos estudios han encontrado similitudes entre esta técnica y otros sistemas de captura (Agostini et al., 2017), lo cual se debe sumar a su bajo costo en comparación a otras tecnologías.

3. Metodología

3.1. Enfoque Investigativo

La investigación se realiza bajo el enfoque cuantitativo, siguiendo un conjunto de procesos de forma rigurosa para dar respuesta al problema de investigación. El marco teórico guía la investigación, mientras que la recolección de datos y el análisis estadístico de estos buscan dar respuesta a la pregunta de investigación: ¿Cuáles son los parámetros cinemáticos de los atletas de élite en la patada bandal chagui?

Los procedimientos realizados son estandarizados y las variables evaluadas son representadas numéricamente.

3.2. Diseño y Tipo de Investigación

El diseño de investigación es no experimental, es decir, no existe una manipulación intencional de las variables evaluadas por medio de variables independientes, siendo observadas tal como se expresan en su contexto natural. Dentro de los diseños no experimentales, el estudio corresponde a un diseño transeccional, en donde se analiza la técnica en un momento único, sin ser evaluada su evolución en el tiempo.

El alcance del estudio es de carácter exploratorio-descriptivo, ya que se pretenden conocer los valores de un conjunto de variables cinemáticas en cada fase de la técnica bandal chagui y por cada articulación de la extremidad pateadora, algo que hasta el momento no ha sido examinado según la revisión de la literatura realizada. A la vez, se pretende establecer parámetros cinemáticos de la técnica para atletas hombres y mujeres de nivel élite.

3.3. Universo y Población

La población comprende a taekwondistas chilenos federados adultos de nivel élite.

3.4. Selección de Muestra

La muestra es de tipo no probabilística, siendo seleccionada de forma intencional en base a las características del estudio. La muestra corresponde a 27 taekwondistas (15 hombres y 12 mujeres) cinturones negros de clase mundial seleccionados para la selección de Chile para el año 2022. Todos los participantes serán informados de los procedimientos a realizar y de los riesgos asociados a la prueba, debiendo firmar previamente un consentimiento informado. Sumado a ello, deberán presentarse sin lesiones ni otro tipo de condición que afecte la ejecución de la prueba.

3.5. Definición de Variables

3.5.1. Tiempo.

Duración o intervalo transcurrido entre dos momentos determinados o tiempo comprendido en completar un suceso o acción determinada. Se expresa en segundos según el Sistema Internacional de Unidades (Tippens, 2011).

3.5.2. Velocidad lineal.

Variación de la distancia recorrida por la unidad de tiempo. Se expresa en metros por segundo (m/s).

3.5.3. Velocidad angular.

Corresponde al espacio angular recorrido en relación al tiempo tardado en recorrerlo. Puede expresarse en radianes segundo (rad/s).

3.5.4. Aceleración lineal.

Variación de la velocidad en relación al tiempo en desplazamientos lineales. Se expresa en metros por segundo al cuadrado (m/s^2).

3.5.5. Aceleración angular.

Variación de la velocidad respecto al tiempo en movimientos circulares. Se expresa en radianes por segundo al cuadrado (rad/s^2).

3.5.6. Ángulo de cadera.

Ángulo relativo comprendido entre la pelvis y el muslo, representado por el marcador ubicado en la espina ilíaca anterosuperior (ASI).

3.5.7. Ángulo de rodilla.

Ángulo relativo comprendido entre los segmentos muslo y pierna, representado por el marcador ubicado en el epicóndilo lateral del fémur (KNE).

3.5.8. Segmento Pie.

Zona anterior del pie, representada por el marcador ubicado en la cabeza del segundo metatarsiano (TOE).

3.6. Técnica de Recolección de Datos

Las ejecuciones se registraron mediante un sistema de captura que utiliza la técnica de videofotogrametría con marcadores (Vicon® Motion Systems Ltd). Se utilizaron diez cámaras a una frecuencia de registro de 200hz para capturar la técnica en movimiento (Hamill et al., 2015). El sistema de captura se calibró según los estándares de Vicon, ajustando los residuos de calibración de datos en la posición de 2 mm (Merriault et al., 2017). Se utilizaron rotuladores reflectantes y deformables con un diámetro de 14 mm, los que se posicionaron según el modelo biomecánico de cuerpo inferior plug-in gate (Vicon, 2023), registrando los siguientes puntos anatómicos: Espina ilíaca anterosuperior izquierda (LASI) y derecha (RAS), espina ilíaca posterosuperior izquierda (LPSI) y derecha (RPSI), tercio inferior de la superficie lateral del muslo izquierdo (LTHI), tercio superior de la superficie lateral del muslo derecho (RTHI), epicóndilo lateral de la rodilla izquierda (LKNE) y derecha (RKNE), tercio inferior de la pierna izquierda (LTIB), tercio superior de la pierna derecha (RTIB), línea imaginaria transmalleolar de los maléolos izquierdo (LANK) y derecho (RANK), cabeza del segundo metatarsiano izquierdo (LTOE) y derecho (RTOE) y calcáneo izquierdo (LHEE) y derecho (RHEE) a la misma altura de la superficie plantar que los marcadores TOE.

3.7. Análisis de los Datos

Considerando el tamaño de la muestra ($n = 27$), se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk para analizar la normalidad de los datos. A las variables que demostraron diferencias significativas se les aplicó la prueba de Friedman para muestras relacionadas, con comparación múltiple de Dunn y corrección de Bonferroni, con el fin de conocer la diferencia entre cada fase. Finalmente, el cálculo del tamaño del efecto se hizo a través de la correlación de rangos de Spearman.

Las pruebas estadísticas descriptivas e inferenciales se realizaron utilizando el software SPSS (versión 25.0), considerando un nivel de significación de $p \leq 0,05$.

3.8. Criterios de Rigor Científico

3.8.1. Confiabilidad.

La confiabilidad del sistema de captura de movimiento Vicon es ampliamente reconocida, siendo evaluada mediante repetición de mediciones en circunstancias idénticas (Merriault et al., 2017; Windolf et al., 2008; Yang et al., 2012).

3.8.2. Validez.

Entendida como la desviación del valor medido en relación al valor verdadero, la alta validez del sistema de captura de movimiento Vicon está comprobada, pudiendo presentar desviaciones menores a los 100 μm con la configuración adecuada (Merriault et al., 2017; Windolf et al., 2008; Yang et al., 2012).

4. Análisis

4.1. Aplicación del Instrumento

Las pruebas se realizaron durante las rutinas de entrenamiento de los deportistas, y dentro de su periodo competitivo. El horario de las pruebas se definió de acuerdo a la disponibilidad de los atletas y se aplicaron antes de iniciar las rutinas de entrenamiento.

Previo a la evaluación, se realizó una rutina de calentamiento de 15 minutos, consistente en carrera (5 minutos a 8 km/h) y 10 patadas de la técnica con al menos 2 de ellas a máxima intensidad, similar a la prueba de rendimiento.

La prueba consistió en tres ataques de la patada bandal chagui, con un intervalo de catorce segundos entre patadas. Este valor simula el tiempo de recuperación entre ataques en competiciones internacionales (Santos et al., 2014). Todos los ataques se realizaron sobre una paleta específica para la modalidad, la cual se ubicó a una distancia ajustada por cada deportista, variando así en cada caso.

4.2. Modelo Cinemático

Para facilitar su análisis y de acuerdo con la revisión de literatura realizada, la técnica se dividió en tres fases (Figura 1), siguiendo el modelo cinemático propuesto por Kim et al. (2010). La primera fase llamada “Empuje” se define desde el inicio del movimiento, identificado por la velocidad del tronco al comenzar a rotar, hasta que el pie de la extremidad pateadora pierde contacto con el suelo. La segunda fase denominada “Lanzamiento” comienza desde el fin de la fase de empuje hasta la máxima flexión de rodilla en la extremidad pateadora. Finalmente, la tercera fase corresponde al “Impacto”, la cual transcurre desde el fin de la fase de lanzamiento hasta que el empeine de la extremidad pateadora contacta el objetivo. El tiempo de ejecución total de la técnica abarca desde el inicio de la fase de empuje hasta el término de la fase de impacto.

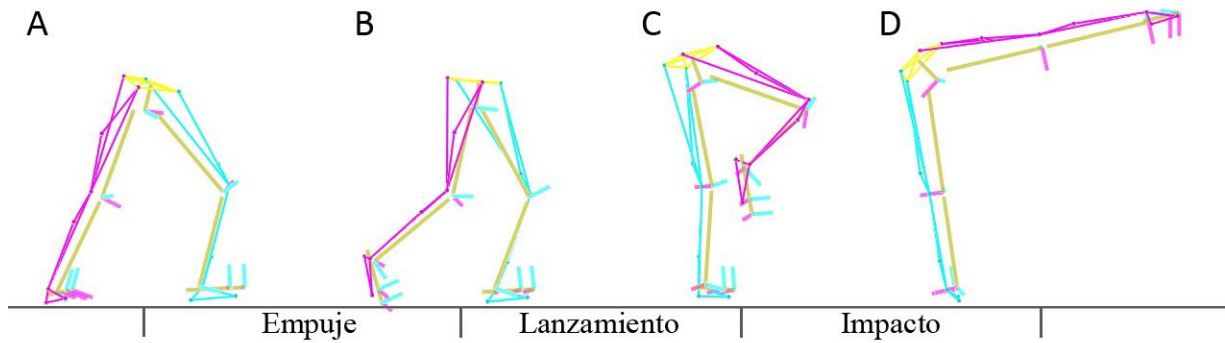


Figura 1. Modelo cinemático de Bandal Chagui propuesto por Kim et al: Inicio del movimiento (A); Despegue del suelo (B); Máxima flexión de rodilla (C) y Contacto con el objetivo (D).

4.3. Análisis de Normalidad

Al aplicar la prueba de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$), la hipótesis de normalidad fue rechazada en nueve de las 21 variables analizadas: Tiempo de fase de lanzamiento ($p = 0,028$), velocidad de rodilla en fase de lanzamiento ($p = 0,001$) e impacto ($p = 0,036$), velocidad de cadera en fase de empuje ($p = 0,040$), aceleración de pie en fase de empuje ($p = 0,025$), aceleración de rodilla en fase de empuje ($p = 0,004$), lanzamiento ($p = 0,001$) e impacto ($p = 0,001$) y aceleración de cadera en fase de impacto ($p = 0,001$). Debido a esto, se decidió expresar la estadística descriptiva mediante mediana y cuartiles, así como aplicar pruebas inferenciales no paramétricas.

5. Resultados

5.1. Estadística Descriptiva

Debido a la distribución anormal de las variables, se utilizó la mediana como estadígrafo de tendencia central y los cuartiles como estadígrafos de posición. Media, desviación estándar, mínimo y máximo fueron agregados como estadígrafos adicionales (Tabla 1).

Variable	Medida	Empuje	Lanzamiento	Impacto
Tiempo (s)	Mediana	0,15 ^c	0,13 ^c	0,10 ^{a,b}
	Q1 – Q3	0,14 – 0,18	0,13 – 0,15	0,09 – 0,11
	Media (DS)	0,15 (0,03)	0,14 (0,02)	0,10 (0,01)
	Min - Max	0,09 – 0,20	0,12 – 0,19	0,09 – 0,12
Velocidad pie (m/s)	Mediana	1,82 ^{b,c}	9,14 ^{a,c}	12,29 ^{a,b}
	Q1 – Q3	1,27 – 2,00	8,25 – 9,91	10,99 – 13,77
	Media (DS)	1,77 (0,52)	9,13 (1,22)	12,29 (1,69)
	Min - Max	0,98 – 3,07	6,50 – 11,39	8,17 – 14,83
Velocidad rodilla (°/s)	Mediana	622,33 ^{b,c}	796,03 ^{a,c}	1615,30 ^{a,b}
	Q1 – Q3	491,77 – 724,57	725,27 – 867,90	1441,50 – 1734,17
	Media (DS)	611,81 (138,79)	850,12 (210,53)	1634,21 (296,43)
	Min - Max	307,97 – 805,93	609,30 – 1551,37	1071,77 – 2516,63
Velocidad cadera (°/s)	Mediana	224,07 ^{b,c}	422,80 ^a	504,33 ^a
	Q1 – Q3	182,57 – 287,23	349,63 – 480,03	414,90 – 638,87
	Media (DS)	236,11 (74,54)	423,79 (96,42)	535,43 (162,21)
	Min - Max	135,70 – 452,23	232,07 – 604,77	312,50 – 883,80
Aceleración pie (m/s ²)	Mediana	59,15 ^{b,c}	117,36 ^{a,c}	328,32 ^{a,b}
	Q1 – Q3	43,23 – 63,05	93,39 – 139,36	272,67 – 375,48
	Media (DS)	56,78 (18,71)	115,37 (31,85)	318,08 (76,96)
	Min - Max	26,69 – 115,72	67,79 – 181,98	122,65 – 445,68
Aceleración rodilla (°/s ²)	Mediana	10755,73 ^{b,c}	15709,47 ^{a,c}	32493,17 ^{a,b}
	Q1 – Q3	9391,83 – 12191,13	13550,93 – 19061,97	26098,87 – 41264,20
	Media (DS)	11035,06 (2693,74)	17888,99 (7499,54)	35989,39 (14731,62)
	Min - Max	6639,40 – 20376,77	9932,10 – 43396,63	16895,43 – 88375,07
Aceleración cadera (°/s ²)	Mediana	6251,93 ^c	5763,03 ^c	15843,47 ^{a,b}
	Q1 – Q3	5028,50 – 7397,33	4232,57 – 6994,43	13110,70 – 25377,63
	Media (DS)	6462,96 (1781,47)	5741,99 (1574,74)	19795,78 (11053,28)
	Min - Max	3614,57 – 11374,27	2686,60 – 8132,07	6678,00 – 52280,73

Tabla 1. Estadísticos de la patada Bandal Chagui. Fases que presentan diferencias significativas según prueba de Dunn: ^a: Diferencia respecto a fase de empuje – ^b: Diferencia respecto a fase de lanzamiento - ^c Diferencia respecto a fase de impacto.

Como se aprecia en la figura 2, el tiempo empleado en cada fase va disminuyendo considerablemente, presentándose una diferencia de un 50% entre la primera y última fase de la técnica. Asimismo, la fase de empuje presenta un mayor rango intercuartil que el resto, con una distribución asimétrica negativa. Al contrario, la fase de lanzamiento presenta una distribución asimétrica positiva con un valor atípico, mientras que en la fase de impacto se aprecia una distribución simétrica.

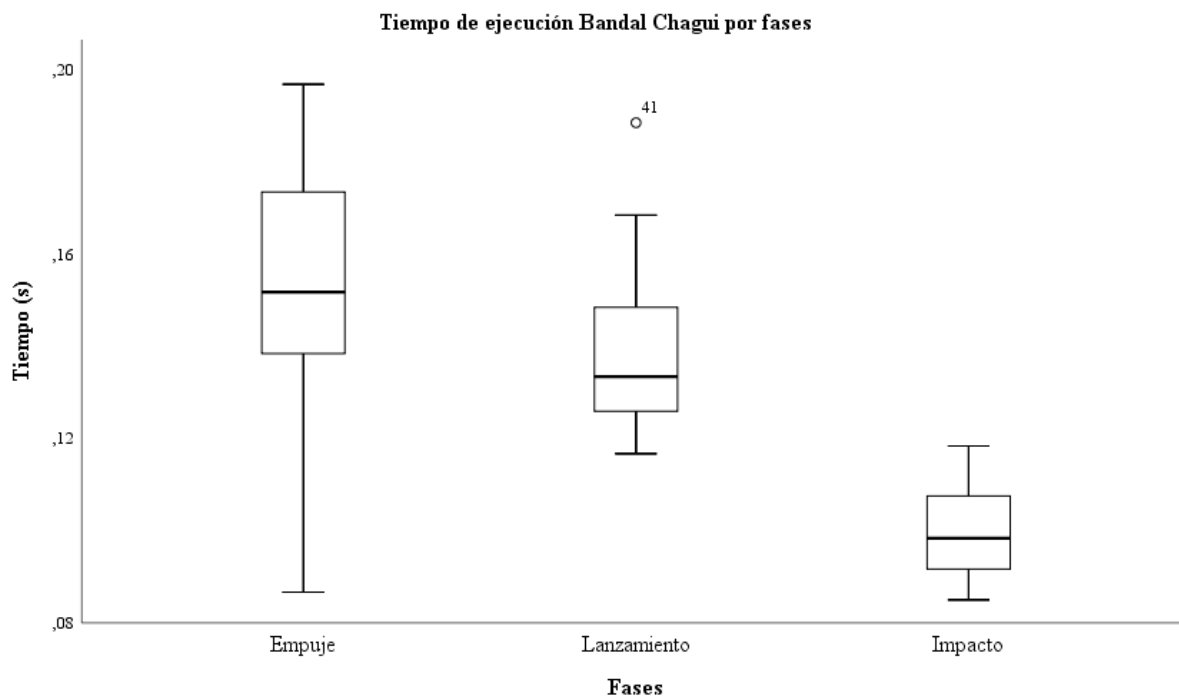


Figura 2. Tiempo de ejecución de la patada bandal chagui por fases.

La velocidad lineal del pie (figura 3), representada a través del marcador del metatarsiano, muestra un notorio incremento entre fases a medida que avanza la técnica; la velocidad de empuje se quintuplica al pasar de 1,82m/s a 9,14m/s en la fase de lanzamiento. Por su parte, la velocidad de la fase de impacto es casi siete veces mayor a esta última, alcanzando los 12,29m/s. La fase de empuje presenta una asimetría positiva con un valor atípico, correspondiente al único de la variable. En el lanzamiento se aprecia una distribución simétrica, mientras que en el impacto la distribución es asimétrica negativamente.

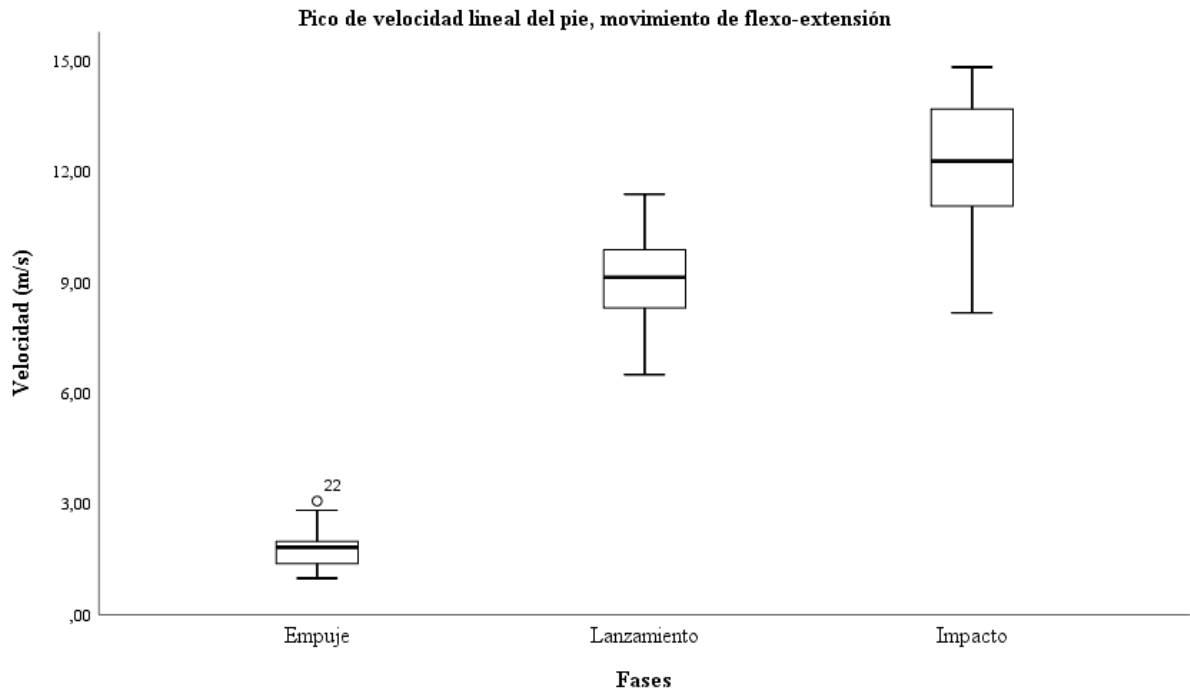


Figura 3. Velocidad del pie por fases.

Al igual que en el pie, las velocidades de rodilla y cadera incrementan de fase en fase (figuras 4 y 5). No obstante, a diferencia de lo observado en la figura 3, la velocidad de rodilla presenta un incremento moderado de 622,33°/s a 796,03°/s entre las fases de empuje y lanzamiento, el cual asciende abruptamente en el impacto, duplicando la velocidad de su fase predecesora con un pico de 1615,30°/s. Exceptuando el empuje, la rodilla presenta una gran cantidad de valores atípicos en sus fases, con dos valores extremos de un total de cuatro en la fase de lanzamiento. Por su parte, la fase de lanzamiento presenta dos valores atípicos leves. No se aprecia distribución simétrica en ninguna de las tres fases.

En el caso de la cadera, se observó un incremento gradual de la velocidad angular entre las fases, cuyos valores son menores a los alcanzados en rodilla. La fase de empuje presentó un pico de velocidad de 224,07°/s, la cual es casi duplicada en la fase de lanzamiento alcanzando los 422,80°/s. En la fase de impacto se produce un aumento que llega a los 504,33°/s. Se presenta un valor atípico leve en la fase de empuje, mientras que la distribución en el lanzamiento parece simétrica. Por el contrario, la fase de impacto presenta una distribución asimétrica negativa, pero sin presentar valores atípicos.

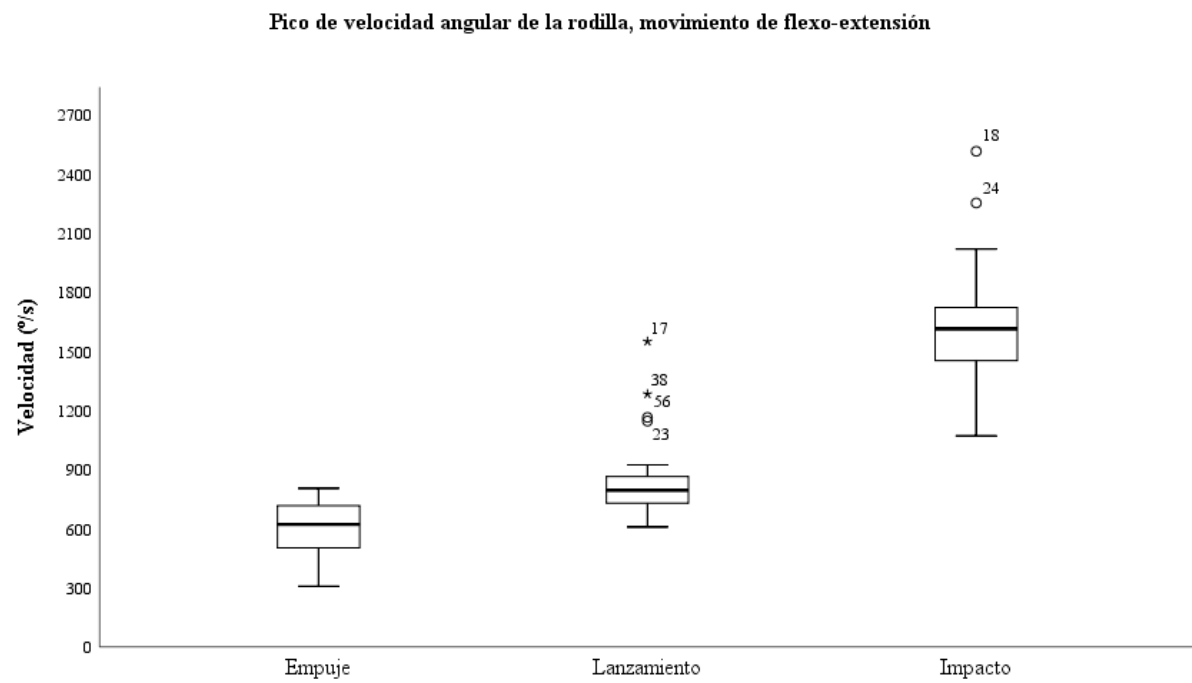


Figura 4. Velocidad de la rodilla por fases.

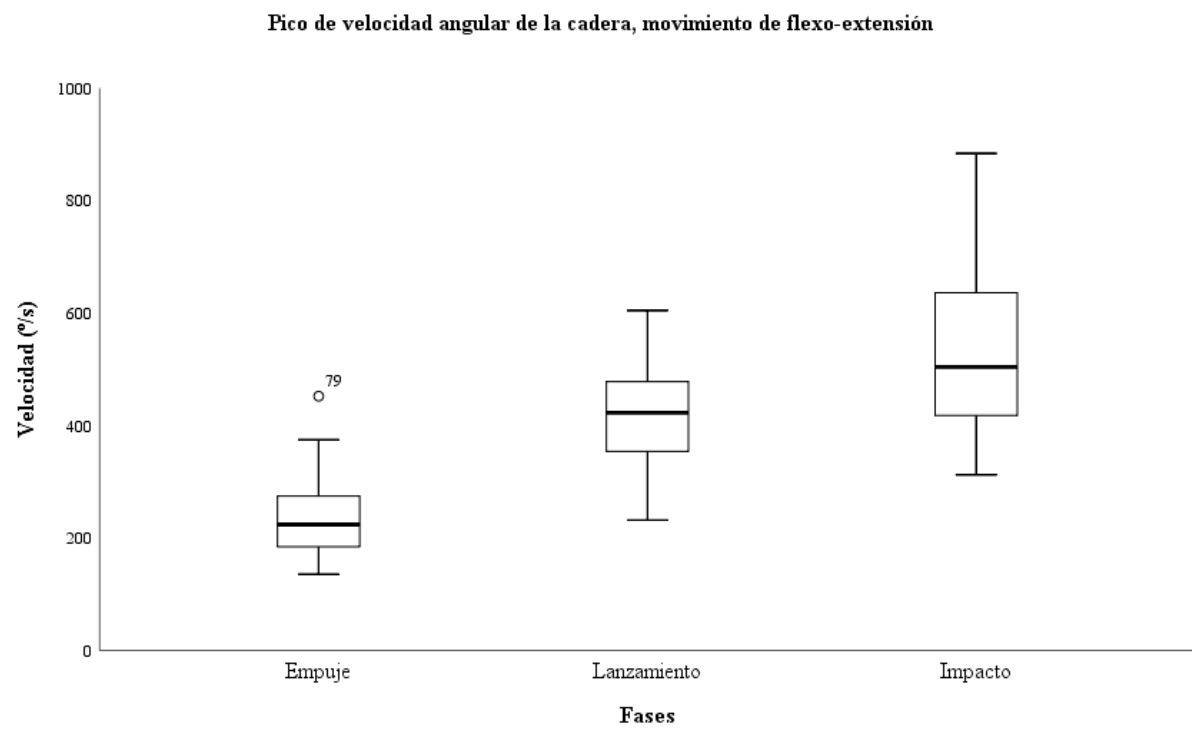


Figura 5. Velocidad de cadera por fases.

La aceleración del pie muestra valores similares a los observados en la velocidad de la rodilla (figura 6), con un incremento en la fase de impacto. La aceleración del empuje se ve duplicada en el lanzamiento, pasando de 59,15 a 117,36m/s² mientras que esta última casi es triplicada en la fase de impacto al llegar a los 328,32m/s². El rango intercuartil incrementa proporcionalmente con el aumento de la mediana en cada fase. Ninguna fase demuestra una distribución de frecuencia normal; La fase de empuje contiene un valor atípico extremo hacia el máximo de los datos y la fase de impacto presenta un valor atípico leve hacia el mínimo de los datos. Si bien el lanzamiento no muestra valores atípicos, se puede observar una distribución asimétrica positiva.

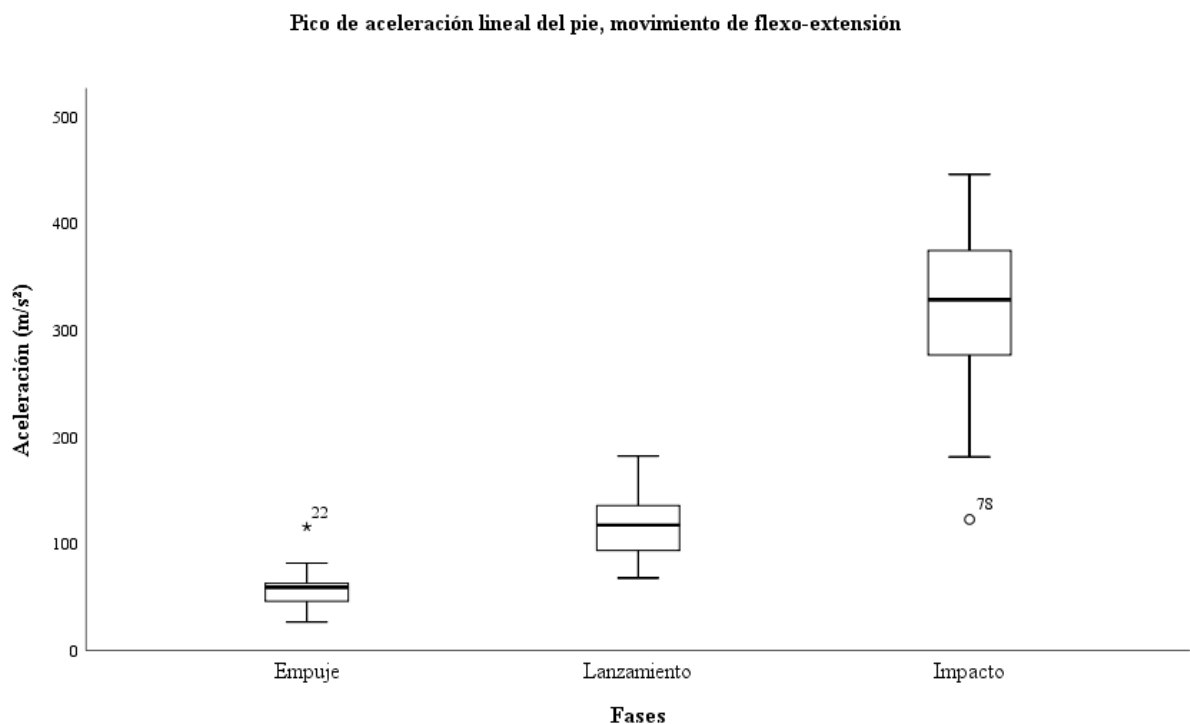


Figura 6. Aceleración de pie por fases.

Sobre la aceleración de rodilla (figura 7), esta encuentra su pico en los 10755,73°/s² en la fase de empuje e incrementa alrededor de un 50% para la fase de lanzamiento, alcanzando los 15709,47°/s². Dicha aceleración es duplicada en la fase de impacto, llegando a 32493,17°/s². Al igual que en la velocidad, la articulación presenta valores atípicos en las tres fases de la técnica,

observando un valor extremo en empuje, uno leve y dos extremos en el lanzamiento y uno de cada tipo en el impacto.

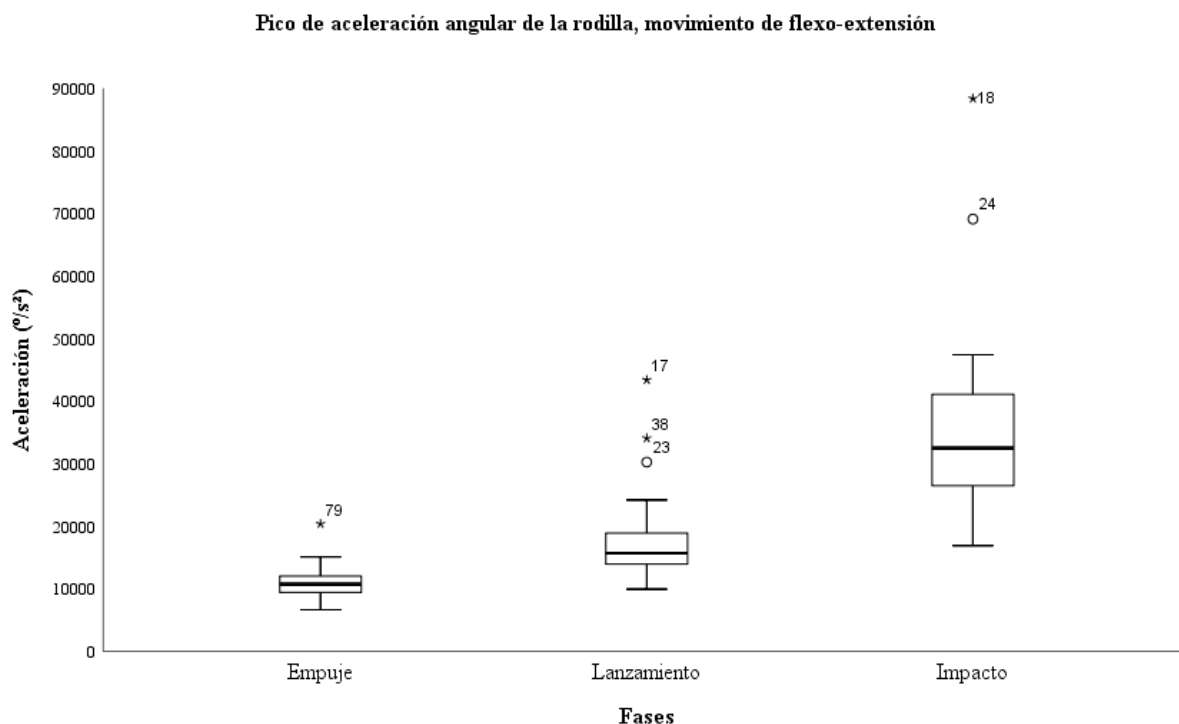


Figura 7. Aceleración de rodilla por fases.

A diferencia de lo observado en el resto de las variantes, la aceleración de cadera no aumenta con el avance de la técnica (figura 8). Se puede identificar una leve disminución desde el empuje al lanzamiento, en donde la aceleración pasa de $6251,93^{\circ}/s^2$ a $5763,03^{\circ}/s^2$ respectivamente. Desde allí, la aceleración encuentra su pico en la fase de impacto en los $15843,47^{\circ}/s^2$. Esta última fase muestra dos valores atípicos que representan los puntos más altos en la variable, alcanzando los $52280,73^{\circ}/s^2$. Un tercer valor atípico se observa en la parte superior de la fase de empuje, mientras que por el contrario la fase de lanzamiento demuestra una distribución simétrica de los datos.

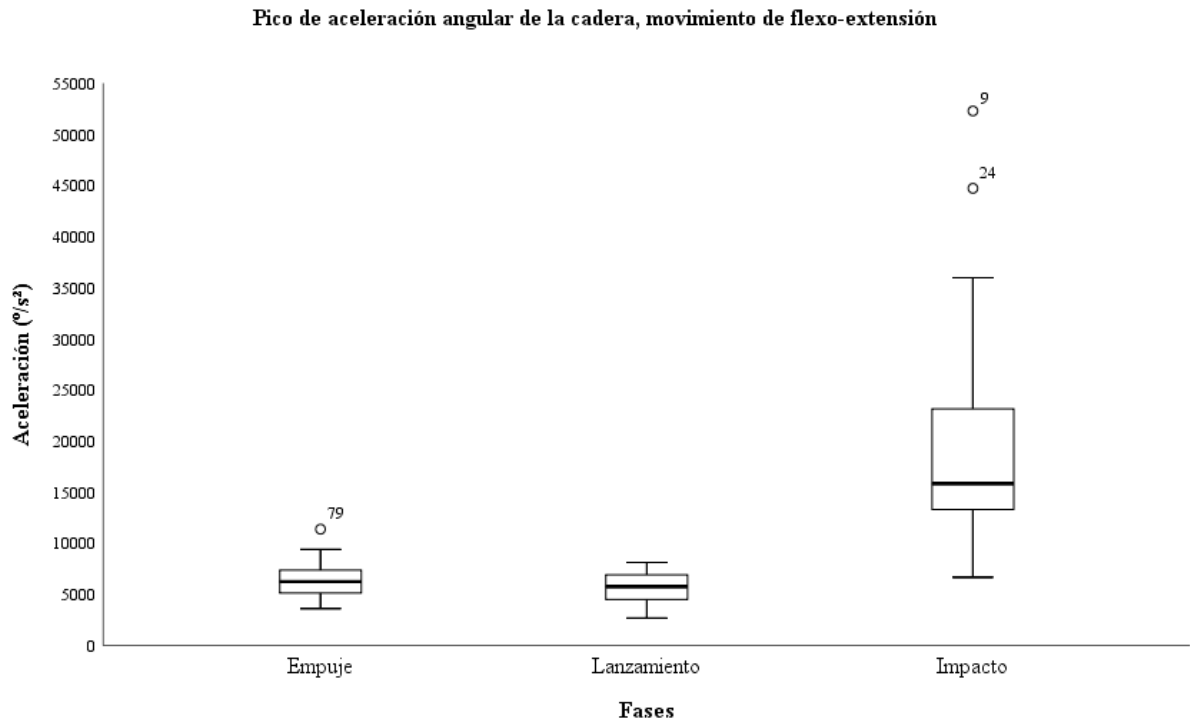


Figura 8. Aceleración de cadera por fases.

5.2. Estadística Inferencial

Con la finalidad de estimar los parámetros cinemáticos de la población, se optó por utilizar métodos robustos, disminuyendo la influencia de datos anómalos en la distribución. De esa manera, se utilizó la mediana muestral como medida de centralización y se calculó el rango intercuartil como medida de dispersión, cuyos resultados se resumen en la tabla 2.

Variable	Parámetro	Empuje	Lanzamiento	Impacto
Tiempo (s)	Mediana	0,15	0,13	0,10
	IQR	0,04	0,02	0,02
Velocidad pie (m/s)	Mediana	1,82	9,14	12,29
	IQR	0,73	1,66	2,78
Velocidad rodilla (°/s)	Mediana	622,33	796,03	1615,30
	IQR	232,80	142,63	292,67
Velocidad cadera (°/s)	Mediana	224,07	422,80	504,33
	IQR	104,67	130,40	223,97
Aceleración pie (m/s ²)	Mediana	59,15	117,36	328,32
	IQR	19,81	45,97	102,80
Aceleración rodilla (°/s ²)	Mediana	10755,73	15709,47	32493,17
	IQR	2799,30	5511,03	15165,33
Aceleración cadera (°/s ²)	Mediana	6251,93	5763,03	15843,47
	IQR	2368,83	2761,87	12266,93

Tabla 2. Estimación de parámetros cinemáticos en la patada Bandal Chagui según fases de la técnica. IQR: Rango intercuartil.

Para identificar posibles diferencias entre las tres fases de la técnica, se aplicó la prueba de Friedman (Friedman, 1937) para muestras relacionadas con un post-hoc de Dunn con corrección de Bonferroni en cada variable (Demšar, 2006; Dunn, 1961; Sedgwick, 2014), procedimiento no paramétrico indicado para comparar más de dos variables (García et al., 2010). La hipótesis nula fue rechazada en cada una de las siete comparaciones de la prueba de Friedman por el mismo valor ($p=0,001$).

Al aplicar el post-hoc de Dunn-Bonferroni, se encontraron diferencias en 18 de las 21 comparaciones realizadas entre pares (tabla 1). Las fases de empuje e impacto demostraron diferencias ($p=0,001$) en todas las variables. El mismo valor se encontró entre las fases de lanzamiento e impacto en variables de tiempo, velocidad de rodilla, aceleración de pie, rodilla y cadera, asimismo para la velocidad de cadera entre las fases de empuje y lanzamiento. Se encontró un valor de significación de 0,001 para velocidad de pie entre empuje-lanzamiento y lanzamiento-impacto. Asimismo, hubo diferencias significativas de 0,013, 0,002 y 0,029 entre empuje-lanzamiento en las variables de velocidad de rodilla, aceleración de pie y aceleración de rodilla, respectivamente.

En las comparaciones que presentaron diferencias se estimó el tamaño del efecto (TE) a través de la correlación de rangos de Spearman, con una interpretación del valor r correspondiente a $>0,2$ efecto mínimo, $>0,5$ efecto moderado y $>0,8$ efecto fuerte (Ferguson, 2009). El coeficiente de correlación de Spearman demostró un efecto considerable en ocho de las comparaciones entre pares (Tabla 3). Se observó un tamaño del efecto mínimo para el tiempo entre empuje-lanzamiento ($\rho=0,489$), la aceleración de rodilla entre empuje-impacto ($\rho=0,454$) y la aceleración de cadera entre empuje-impacto ($\rho=0,424$). Los otros cinco casos demostraron un efecto mediano, todos correspondientes a comparaciones entre las fases de lanzamiento e impacto, específicamente en las variables de velocidad de pie ($\rho=0,526$), velocidad de rodilla ($\rho=0,596$), velocidad de cadera ($\rho=0,444$), aceleración de pie ($\rho=0,596$) y aceleración de rodilla ($\rho=0,6$).

Variable	Fases	Significancia	Rho Spearman	Tamaño del efecto
Tiempo	Empuje y lanzamiento	,010	,489	Mínimo
Velocidad pie	Lanzamiento e impacto	,005	,526	Mediano
Velocidad rodilla	Lanzamiento e impacto	,001	,596	Mediano
Velocidad cadera	Empuje e impacto	,020	,444	Mínimo
Aceleración pie	Lanzamiento e impacto	,001	,596	Mediano
Aceleración rodilla	Empuje e impacto	,017	,454	Mínimo
Aceleración rodilla	Lanzamiento e impacto	,001	,600	Mediano
Aceleración cadera	Empuje e impacto	,028	,424	Mínimo

Tabla 3. Variables y fases que demostraron diferencias significativas según la prueba de Dunn con corrección de Bonferroni y tamaño del efecto de la comparación según Spearman.

6. Discusión

El éxito en el Taekwondo está definido principalmente por la puntuación alcanzada durante el combate, siendo la diferencia de puntos entre los competidores el mecanismo que predomina para determinar la victoria. Como demuestran algunos autores, la cantidad de combates definidos por Knock-out es cercana al 1% (Păunescu et al., 2014; Ziaee et al., 2010), lo que reafirma la importancia del puntaje en la competencia y de las técnicas utilizadas para alcanzar dicho objetivo.

Como se ha demostrado, la técnica Bandal Chagui es la más utilizada por los deportistas y de igual forma, la que se adjudica la mayor cantidad de puntos dentro del combate (Avakian et al., 2021; Ferreira Pedrosa et al., n.d.; Hermann et al., 2008; P. V. S. Moreira et al., 2016). Sin embargo, a pesar de su importancia, la literatura que abarca los parámetros biomecánicos de la técnica es escasa y sus características cinemáticas no han sido detalladas en profundidad.

Diversos autores han estudiado la cinemática en otras técnicas o artes marciales, (Jakubiak & Saunders, 2008; P. V. S. Moreira et al., 2016; Wąsik et al., 2013), comprobando la importancia de variables como el tiempo y la velocidad en el rendimiento, no obstante, los detalles específicos de la técnica de Bandal Chagui no han sido cubiertos por la literatura a la fecha actual, desconociéndose mucha información relevante de esta importante técnica de patada. Es por esto que el presente estudio buscó definir parámetros cinemáticos en un grupo de deportistas de élite chilenos, además de corroborar si existen diferencias relevantes para el rendimiento entre las distintas fases de la técnica (empuje, lanzamiento e impacto ordenadas secuencialmente) según el modelo biomecánico seleccionado (Kim et al., 2010).

Los principales resultados establecen que existen numerosas diferencias entre las fases de la técnica, abarcando las dos articulaciones estudiadas (cadera y rodilla) y el segmento pie. El tiempo de la fase de empuje resultó ser menor a la fase de lanzamiento, mientras que la velocidad y aceleración lineal del pie resultaron menores en la fase de lanzamiento en relación a la fase de impacto. Estas fases demostraron el mismo patrón en la velocidad y aceleración angular de la rodilla, donde la fase de impacto resultó significativamente mayor a la fase de lanzamiento. Adicionalmente, la aceleración angular de la rodilla en la fase de empuje fue menor

a la fase de impacto. En cuanto a la cadera, la fase de empuje obtuvo una menor velocidad y aceleración angular que la fase de impacto.

Es complejo comparar estos hallazgos con valores de otros estudios debido a la escasa literatura existente sobre la biomecánica de las patadas en artes marciales. Si esto lo acotamos a la cinemática de Bandal Chagui, el número de estudios es aún menor, teniendo inclusive fases de las que no existe información. Es por esto que la discusión se realizará con un enfoque descriptivo más que comparativo, en base a los parámetros cinemáticos obtenidos.

La estadística inferencial sobre los parámetros cinemáticos del Bandal chagui demuestra que la fase que ocupa mayor tiempo corresponde al empuje (0,15s), mientras que la fase de impacto es la más corta (0,10s), sin embargo, el rango intercuartil es similar en cada fase de la técnica, lo que demuestra que los datos mantienen su distribución cercana a la mediana independiente de la fase y el tiempo empleado. Estas características sobre el tiempo de las fases podrían tener relación al carácter de ambas fases dentro de la técnica; como distintos autores han señalado (Falcó Pérez et al., 2009; Liu et al., 2023; Pozo et al., 2011), la fase de empuje corresponde a la etapa de preparación, mientras que las fases de lanzamiento e impacto se atribuyen a la etapa de ataque de la técnica, por lo que requieren de una mayor explosividad y velocidad, y por ende, su ejecución conllevaría un menor tiempo. Los factores asociados a las diferencias de tiempo tendrían relación con la velocidad y aceleración aplicada en ambas fases, la que tendría variaciones según el nivel del deportista. A su vez, estas variaciones estarían ligadas a aspectos de fuerza y activación muscular del miembro inferior durante el inicio de la técnica; de acuerdo a lo señalado por Wąsik (2010), el tiempo de empuje depende directamente del nivel de fuerza de los músculos responsables de levantar el pie, aspecto que determinaría el tiempo de ejecución de la técnica. Sbriccoli et al. (2010) observaron diferencias en la actividad eléctrica de la extremidad pateadora, donde los karatekas de élite registraron una notoria acción antagonista del bíceps femoral durante la fase de lanzamiento en comparación al grupo amateur. En la misma línea, Pozo et al. (2011) observaron una acción concéntrica de los flexores de rodilla seguida de una acción antagonista de los extensores de rodilla para frenar el movimiento, fenómeno que se visualizó en atletas de nivel internacional y nacional, pero que fue más rápida en los atletas internacionales. Sobre las diferencias estadísticas entre fases, el tiempo presentó una diferencia entre las fases de empuje (0,15s) y lanzamiento (0,13s), las que corresponden al

39% y 34% del tiempo total de ejecución respectivamente. Al contrario de lo reportado en nuestra investigación, Gavagan y Sayers (2017) demostraron proporciones distintas, obteniendo un 19% y 45% en cada fase respectivamente, con un tiempo de ejecución de 1,54s que cuatriplica el valor presentado en nuestra investigación. Cabe destacar que su muestra no comprendió a atletas de élite, lo que podría sugerir que los atletas de nivel superior poseen un mayor tiempo en la fase de empuje y un menor tiempo en la fase de lanzamiento en comparación a taekwondistas sub-élite y amateurs. La hipótesis concuerda con los valores obtenidos por Moreira et al. (2021), quienes estudiaron la técnica con un modelo cinemático diferente en atletas de élite y obtuvieron 0,24s para la fase de empuje, correspondiente al 53% de la ejecución total. Otros trabajos demostraron similitudes con nuestro estudio en relación al tiempo, sin embargo, no contaban con la información necesaria para su comparación. Miziara et al. (2019) utilizaron un modelo que unió ambas fases en taekwondistas profesionales y obtuvieron un tiempo promedio de 0,24s, correspondiente al 77% del tiempo de ejecución, lo que se asimila al 73% obtenido en nuestro estudio, sin embargo, el momento de despegue que separa a ambas fases no fue especificado. En su estudio sobre patada frontal en karatekas, Pozo et al. (2011) determinaron un tiempo de 0,24s para la fase de empuje en atletas internacionales, correspondiente al 40% del tiempo de ejecución, porcentaje que se acerca a lo expuesto en nuestro estudio, sin embargo, el tiempo de la fase de lanzamiento no fue detallado. Por otro lado, el inicio de la técnica fue determinado en el momento en que se produce movimiento en la extremidad pateadora, protocolo que difiere de nuestro estudio y podría afectar el tiempo registrado. A pesar de ello, estos descubrimientos coinciden con lo expuesto por anteriormente, sugiriendo una correlación positiva el nivel de competición de los atletas y el tiempo empleado en la fase de empuje, la cual debe ser comprobada estadísticamente en futuros estudios. Adicionalmente, se requieren estudios que comparen los parámetros temporales de patadas en artes marciales en atletas de distinto nivel. Finalmente, la poca información existente sobre la fase de lanzamiento debe ser considerada en la literatura, ya que esta no es descrita de forma específica y se le considera en conjunto con otras fases de la técnica, lo que resulta impreciso para un correcto análisis ya que como quedó en evidencia, este periodo posee diferencias cinemáticas con otras fases de la técnica.

En cuanto a las variables de velocidad y aceleración, los parámetros muestran considerables similitudes en las distintas fases de la técnica, cuyos principales resultados se exponen a continuación según cada articulación o segmento.

La cadera no presenta grandes alteraciones en sus parámetros de velocidad, registrando su mayor velocidad y rango intercuartil en la fase de impacto (rango intercuartil de 223,97°/s con una mediana de velocidad de 504,33°/s). En los parámetros de aceleración, la cadera es la única que demuestra una disminución entre dos fases conforme avanza la ejecución de la técnica, lo que se aprecia entre la fase de empuje (6251,93°/s²) y la fase de lanzamiento (5763,03°/s²), mientras que el mayor rango intercuartil se encuentra en la fase de impacto (12266,93°/s²). Estos hallazgos se suman a las diferencias significativas entre las fases de empuje e impacto, tanto en velocidad (224,07°/s y 504,33°/s) como en aceleración (6251,93°/s² y 15843,47°/s²), presentando valores cercanos a lo expuesto en otras investigaciones. Moreira y Paula (2017) obtuvieron una velocidad de empuje cercana a los 200°/s en atletas de élite, mientras que en la fase de impacto el valor ascendió sobre los 650°/s, diferencia mayor a la de nuestro estudio. Otros estudios reportaron información relevante sobre la fase de impacto, pero no detallaron los valores de velocidad en la fase de empuje debido a las características del estudio; Quinzi et al. (2013) obtuvieron 608°/s en la fase de impacto con un grupo de élite, mientras que Gavagan y Sayers (2017) con su grupo de sub-élite registraron una velocidad de cadera de 341°/s en la fase de impacto, resultado menor a las presentadas anteriormente. En una comparación de patada frontal, Sbriccoli et al. (2010) analizaron la cinemática de karatekas de élite y amateurs, obteniendo un pico de 543°/s y 427°/s en la fase de impacto respectivamente, demostrando una diferencia entre ambos grupos. La poca información existente sobre la fase de empuje se suma al vacío de la literatura sobre la aceleración de la técnica; el único estudio encontrado sobre los picos de aceleración por fase corresponde al de Branco et al. (2019), quienes registraron un pico en la fase de impacto de 13270,99°/s² en karatekas jóvenes y de 9620,57°/s² en karatekas veteranos, lo que demuestra similitudes entre el primer grupo y los hallazgos de nuestro estudio. A pesar de la poca información, estos resultados sugieren que tanto la velocidad como la aceleración angular de cadera en la fase de impacto son mayores conforme aumenta el nivel de los atletas, lo que coincide con lo demostrado por Quinzi et al. (2013), quienes demostraron que las fibras musculares de los atletas de élite poseen una mayor velocidad de conducción que el grupo amateur en los músculos implicados durante esta fase.

Adicionalmente, Sbriccoli et al. (2010) evidenciaron que los atletas de élite tenían un notorio aumento en el rango de flexión de cadera sobre los deportistas amateurs y una menor activación del glúteo mayor, músculo antagonista del movimiento, lo que sugeriría un control de la velocidad y desaceleración del movimiento por parte de este músculo en los deportistas de menor nivel. Sumado a ello, los deportistas de élite demostraron una alta activación del bíceps femoral frente en contraste con una actividad casi inexistente en el grupo amateur, no obstante, la acción de este músculo antagonista en el movimiento no está clara y debe ser estudiada en próximas investigaciones. En cuanto a la fase de empuje, si bien no se pueden establecer relación entre atletas de distintos niveles debido a la poca información existente, Moreira y Paula (2017) señalan que su velocidad y aceleración dependerían directamente de la fuerza ejercida contra el suelo, lo que significaría una alta fuerza de reacción en los atletas de élite. Como se observó en su estudio, los primeros músculos en activarse durante esta acción fueron el tensor de la Fascia lata, los glúteos mayor y medio, el gastrocnemio lateral y el bíceps femoral, por lo que sería interesante estudiar si estos fenómenos ocurren en deportistas de menor nivel. Otro hallazgo a considerar es que tanto en la fase de empuje como en la de impacto se produjeron picos de activación en el bíceps femoral y el glúteo mayor, sin embargo, su influencia en las variables estudiadas no es clara y debe indagarse. De forma similar, Quinzi et al. (2013) destacan la activación del recto femoral durante esta fase, músculo biarticular que participaría principalmente como flexor de la cadera por sobre su función de extensor de la rodilla. Las influencias de estos músculos en la velocidad y aceleración de la cadera durante el empuje es un punto crítico a resolver en futuras investigaciones, Wąsik (2010) resaltó la importancia de la fase de empuje en el rendimiento, describiéndola como la responsable del tiempo de ejecución de la técnica, por lo que la profundización de los aspectos que determinan la velocidad y aceleración debiesen ser considerados en futuras investigaciones.

Sobre los parámetros de la rodilla, se observó un abrupto aumento en la mediana de velocidad entre las fases de lanzamiento ($796,03^\circ/\text{s}$) e impacto ($1615,30^\circ/\text{s}$), mientras que la fase de empuje demostró el mayor rango intercuartil proporcional ($232,80^\circ/\text{s}$ con una mediana de velocidad de $622,33^\circ/\text{s}$), cuyo aumento en la dispersión de las observaciones que debe ser considerado. Sobre su aceleración, existe un notorio aumento en el impacto, alcanzando el máximo valor de la técnica ($32493,17^\circ/\text{s}^2$), así como la mayor distancia entre datos con un rango intercuartil ($15165,33^\circ/\text{s}^2$). Esta articulación tuvo diferencias significativas entre las fases de

lanzamiento e impacto tanto en velocidad ($796,03^{\circ}/s$ y $1615,30^{\circ}/s$) como en aceleración ($15709,47^{\circ}/s^2$ y $32493,17^{\circ}/s^2$), a lo que se le suma una diferencia de aceleración entre las fases de empuje e impacto ($10755,73^{\circ}/s^2$ y $32493,17^{\circ}/s^2$). Los resultados parecen coincidir entre estudios con muestras de élite; similar a nuestros hallazgos, Quinzi et al. (2013) registraron una velocidad de $1734^{\circ}/s$ para la fase de impacto en atletas de élite, mientras que Gavagan y Sayers (2017) registraron un pico de velocidad bastante menor para la misma en deportistas sub-élite, el cual fue de $943^{\circ}/s$. De la misma forma, Sbriccoli et al. (2010) registraron una velocidad de rodilla para la fase de impacto de $1470^{\circ}/s$ en atletas de élite y de $1100^{\circ}/s$ en amateurs sobre patada frontal en karatekas. Al contrario de lo señalado por estos estudios, Moreira y Paula (2017) notificaron valores inversos, obteniendo una fase de lanzamiento de $1506^{\circ}/s$ y una fase de impacto cercana a los $750^{\circ}/s$, siendo el único estudio que se distingue de los parámetros observados, suceso a tener en consideración a futuro. Similar a lo ocurrido en la cadera, la información sobre la aceleración es escasa, teniendo solo como referencia los valores de Branco et al. (2019) quienes obtuvieron una aceleración de $10842.34^{\circ}/s^2$ para karatekas jóvenes y de $9903.80^{\circ}/s^2$ para karatekas veteranos en la fase de impacto de la patada frontal, resultados considerablemente menores a los registrados en el presente estudio, sin embargo, hay que tener en consideración que las diferencias técnicas de ambos estilos de patadas podrían afectar los resultados obtenidos. De todas formas, los estudios permiten inferir que los atletas de élite poseen valores mayores en la fase de impacto que los deportistas de menor nivel. Quinzi et al. (2013) encontró una alta activación del vasto lateral, músculo que participa en la extensión de rodilla durante esta fase. Este fenómeno también fue registrado por Sbriccoli et al. (2010), quienes además demostraron que dicha activación era aún mayor en los deportistas amateur, e inversamente, encontraron una mayor activación del recto femoral en los deportistas de élite lo que sugiere que, al realizar un mismo movimiento, la acción muscular de los deportistas sería diferente según su nivel. Sobre la fase de empuje, observaron un mayor rango de extensión de rodilla en el momento de despegue en el grupo élite, así como una activación más corta del bíceps femoral durante el movimiento, lo que se traduciría en un trabajo neuromuscular más eficaz. Es probable que el comportamiento de estos músculos tenga implicancia en las diferencias de velocidad y aceleración que se presentan entre distintas poblaciones, hipótesis que debe ser estudiada con mayor profundidad.

Finalmente, el segmento pie demostró un aumento progresivo en la velocidad lineal conforme avanza la ejecución con un drástico aumento entre dos fases, esta vez entre las fases de empuje (1,82m/s) y lanzamiento (9,14m/s), no obstante, el rango intercuartil no presenta mayores variaciones entre fases. Sobre su aceleración, el segmento pie también experimenta un ascenso en la fase de impacto (328,32 m/s²), mientras que el rango intercuartil presenta su mayor variación en la fase de lanzamiento (45,97m/s² con una mediana de 117,36m/s²). Por otra parte, este tuvo diferencias entre las fases de lanzamiento e impacto en velocidad (9,14m/s y 12,29m/s) y aceleración (117,36m/s² y 328,32m/s²). Moreira y Paula (2017) encontraron en los atletas de élite una velocidad de lanzamiento cercana a los 14m/s, mientras que en la fase de impacto el valor estuvo alrededor de los 6m/s. A excepción de este estudio, ninguno dentro de la literatura revisada describió valores de velocidad o aceleración de pie en la fase de empuje. Gavagan y Sayers (2017) registraron una velocidad de impacto de 14,66m/s, hallazgos similares a los de Estevan et al. (2013) que obtuvieron un pico de velocidad de 14,42m/s. Wąsik y Shan (2015) obtuvieron una velocidad menor de para la fase de impacto correspondiente a 10,61m/s, mientras que Fife et al. (2013) obtuvo un pico de 11,91m/s en taekwondistas de nivel internacional, resultado que se acerca al valor de nuestro estudio. En cuanto a aceleración, Chang et al. (2021) registraron un pico para la fase de impacto de 150,80m/s² en atletas junior de élite, mientras que Branco et al. (2019) obtuvieron 112,30m/s² en patada frontal en karatekas jóvenes y 111,23m/s² en veteranos, valores similares entre sí y ampliamente menores a los registrados en nuestro estudio, suceso que llama la atención y debe ser estudiado en profundidad. Sobre los motivos subyacentes a esos valores, Gavagan y Sayers (2017) plantean que la distancia del objetivo y otros movimientos propios de la técnica como la abducción de la cadera, la inclinación lateral de la pelvis y la rotación axial del tronco pueden influir positivamente en la velocidad y aceleración del pie. Por su parte, Sbriccoli et al. (2010) notaron una menor activación del gastrocnemio lateral en ambas fases para los atletas de élite en comparación con el grupo amateur, lo que sugiere una mayor eficiencia en atletas de mayor nivel. Como ha ocurrido en las otras variables, la información sobre la fase de lanzamiento es limitada, por lo que los factores asociados a esta no se pueden establecer, sin embargo, al igual como se ha establecido en los estudios revisados, es probable que estos tengan relación con la activación muscular realizada en esta fase.

Aunque los resultados proporcionan información relevante sobre la cinemática de la técnica Bandal Chagui, existen aspectos metodológicos que no fueron considerados en la investigación y que podrían haber potenciado los hallazgos del estudio, los cuales deben ser considerados como limitantes. En primer lugar, el tamaño de la muestra basada en seleccionados nacionales chilenos de Taekwondo disminuye el poder estadístico del estudio, por lo que ante un mayor número de sujetos se podría haber presentado un mayor número de diferencias. Por otro lado, la distancia del objetivo fue acomodada por cada atleta según sus preferencias, algo que pudo influir en los resultados ya que como se apreció en otros estudios, la distancia del objetivo a alcanzar en la patada implica diferencias en los movimientos realizados, la musculatura implicada y los valores de velocidad registrados, por lo que esta debió ser establecida y declarada en la metodología. Adicionalmente, no se detalló el rango articular alcanzado por los atletas en cada movimiento, el cual según otros estudios, difiere en relación al nivel de ejecución de los deportistas, por lo que la inclusión de esta información pudo resultar valiosa para la interpretación de los resultados. En este estudio tampoco se describieron valores de fuerza o de la actividad eléctrica de los músculos, lo que se demostró que tiene estrecha relación con los resultados. Finalmente, la información relacionada al tiempo de reacción no fue considerada, siendo un periodo de la técnica relevante en el rendimiento, ya que como demuestran distintos estudios, este resulta menor en deportistas de mayor nivel, accionando más rápido frente al estímulo.

Las futuras investigaciones deben considerar estas limitaciones y profundizar los resultados del presente estudio, el cual sienta las bases para un análisis más detallado de las técnicas de patada en artes marciales, incluyendo las fases de empuje y lanzamiento junto a la ya descrita fase de lanzamiento, algo innovador hasta la fecha. Sumado a ello, se debe considerar una alternativa ecológica de evaluación que se acerque a las condiciones de competición, lo que probablemente afecte el comportamiento de las variables. Se recomienda también esclarecer los factores subyacentes a los parámetros cinemáticos descritos, los cuales actualmente carecen de la evidencia necesaria para ser definidos. De la misma manera, surge la necesidad de relacionar estos factores determinantes del rendimiento a deportistas de distintos niveles de competición, aclarando los motivos que gatillan las diferencias en el desempeño. Por último, se destaca la urgencia de establecer un modelo cinemático universal que permita comparar los distintos estudios sobre la patada Bandal Chagui, el cual incluso podría extrapolarse a otras técnicas de

patadas de artes marciales. La variedad actual de modelos biomecánicos para el movimiento dificulta el análisis y la conversación entre estudios, por lo que resulta imperante definir una estructura que se base en los mismos acontecimientos para determinar el inicio y final de cada fase en futuros estudios.

7. Conclusiones

El objetivo de este estudio fue describir los parámetros cinemáticos de un grupo de atletas de élite en la patada de Bandal Chagui a través de un modelo de movimiento que dividiera la técnica por fases, además de determinar posibles diferencias entre las fases en las variables analizadas, incluyendo los detalles de las fases de empuje y lanzamiento, algo novedoso hasta la fecha según la revisión de la literatura realizada. Los parámetros establecidos y las diferencias obtenidas estadísticamente en las articulaciones y segmento estudiados nos permiten establecer las siguientes conclusiones sobre los atletas de élite:

- 1) La fase de empuje ocupa el mayor tiempo en la ejecución de la técnica, con 0,15s de 0,38s totales.
- 2) Los picos del segmento pie en los parámetros cinemáticos de velocidad y aceleración se encuentran en la fase de impacto, con 12,29m/s y 328,32m/s² respectivamente.
- 3) Los parámetros de velocidad y aceleración durante la fase de impacto son mayores conforme aumenta el nivel de pericia de los deportistas en cadera, rodilla y pie.
- 4) El pico de velocidad angular de la técnica se presenta en la rodilla, específicamente durante la fase de impacto con 1615,30°/s.
- 5) El pico de aceleración angular de la técnica se presenta en la rodilla, específicamente durante la fase de impacto con 32493,17°/s².
- 6) Existe una disminución en la aceleración de cadera en la fase de lanzamiento, descendiendo 488,9°/s² desde la fase anterior.
- 7) Las mayores variaciones en los valores de los participantes según el rango intercuartil se dan durante la fase de impacto.

Si bien estas estimaciones provienen de una muestra de nivel élite, se necesitan más estudios para extrapolar estos resultados a otros grupos. De todos modos, se espera que estos hallazgos sirvan para guiar futuras investigaciones sobre las técnicas en Taekwondo y otras artes marciales, determinando las diferencias con grupos de deportistas de otros niveles. Asimismo, se espera que los resultados presentados puedan resultar útiles para la prescripción de entrenamiento en deportistas de la disciplina, contribuyendo a la orientación de los aspectos a mejorar según el nivel de experiencia.

8. Referencias

- Aedo-Muñoz, E., & Bustamante-Garrido, A. (2011). CONCEPTUALIZACIÓN DE LA BIOMECÁNICA DEPORTIVA Y BIOMECÁNICA DE LA EDUCACIÓN FÍSICA. *Revista Educación Física Chile*.
- Agostini, V., Gastaldi, L., Rosso, V., Knaflitz, M., & Tadano, S. (2017). A wearable magneto-inertial system for gait analysis (H-gait): Validation on normalweight and overweight/obese young healthy adults. *Sensors (Switzerland)*, 17(10). <https://doi.org/10.3390/s17102406>
- Aguado, X. (1993). *Eficacia y técnica deportiva*.
- Ángel Martínez-González, M., Sánchez-Villegas, A., Toledo Atucha, E., & Faulin Fajardo, J. (2020). *Bioestadística amigable*.
- Antonietto, N. R., Teixeira, R. P. A., Soto, D. A. S., Antonietto, D. Á., Avakian, P., Rezende, C. L., Aedomuñoz, E., Brito, C. J., & Miarka, B. (2022). Effects of Outcomes in Technical-tactical and Time-motion Analysis of Male High-level Taekwondo Bouts. *Journal of Physical Education and Sport*, 22(6), 1516–1523. <https://doi.org/10.7752/jpes.2022.06191>
- Arteaga, J. P. (2022). Diferencias Biomecánicas de la técnica “Tuit Chagui” en el taekwondo con deportistas novatos y avanzados. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(4), 4363–4378. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i4.2942
- Avakian, P., Frezza, D. A., Pinho, B. G., Junior, A. A., Aedo-Munoz, E., Perez, D. I. V., Antonietto, D. A., Brito, C. J., & Miarka, B. (2021). Development and reliability of technical-tactical and time-motion real-time analysis in the World Taekwondo Grand Prix. *Ido Movement for Culture*, 21(4), 20–27. <https://doi.org/10.14589/ido.21.4.4>
- Barrios, J., & Ranzola, A. (1998). *Manual para el deporte de iniciación y desarrollo*.
- Boey, L. W., & Xie, W. (2002). *EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF TURNING KICK PERFORMANCE OF SINGAPORE NATIONAL TAEKWONDO PLAYERS*.

- Bouhlef, E., Jouini, A., Gmada, N., Nefzi, A., Ben Abdallah, K., & Tabka, Z. (2006). Heart rate and blood lactate responses during Taekwondo training and competition. *Science and Sports*, 21(5), 285–290. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2006.08.003>
- Branco, M. A. C., Vencesbrito, A. M. V., Rodrigues-Ferreira, M. A., Branco, G. A. C., Polak, E., Cynarski, W. J., & Jacek, W. (2019). Effect of Aging on the Lower Limb Kinematics in Karate Practitioners: Comparing Athletes and Their Senseis. *Journal of Healthcare Engineering*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/2672185>
- Bürger-Mendonça, M., Oliveira, J. C. de, Cardoso, J. R., Bielavsky, M., & Azevedo, P. (2015). Changes in blood lactate concentrations during taekwondo combat simulation. *Journal of Exercise Rehabilitation*, 11(5), 255–258. <https://doi.org/10.12965/jer.150218>
- Cerda Kohler, H., Aedo Muñoz, E., Solar Altamirano, I., Haichelis Oxman, D., Ponce Hernández, A., Carlos Ponce Espinoza, J., & Tejo Cárdenas, J. (2022). *Lineamientos Unidad de Ciencias Aplicadas al Deporte 2022-2028: El qué, el cómo y el por qué hacemos lo que hacemos*. www.mindep.cl
- Chang, W. G., Lin, K. Y., Chu, M. Y., & Chow, T. H. (2021). Differences in pivot leg kinematics and electromyography activation in various round house kicking heights. *Journal of Sports Science and Medicine*, 20(3), 457–465. <https://doi.org/10.52082/jssm.2021.457>
- Demšar, J. (2006). Statistical Comparisons of Classifiers over Multiple Data Sets. *Journal of Machine Learning Research*, 7, 1–30.
- Dunn, O. (1961). Multiple Comparisons Among Means Author(s): Olive Jean Dunn Source. *Journal of the American Statistical Association*, 56(293), 52–64.
- Epov, O., Kalinin, E., Kuzmichev, V., Epov, E., & Potapova, K. (2023). NERYO-CHAGI KINEMATIC CHARACTERISTICS EVALUATION IN IMPACT SINGLE COMBATS BY EXAMPLE OF WTF TAEKWONDO VIA FEEDBACK TECHNOLOGIES. *European Journal of Physical Education and Sport Science*, 9(6). <https://doi.org/10.46827/ejpe.v9i6.4839>

- Estevan, I., & Falco, C. (2013). Mechanical analysis of the roundhouse kick according to height and distance in taekwondo. *Biology of Sport*, 30(4), 275–279.
<https://doi.org/10.5604/20831862.1077553>
- Estevan, I., Jandacka, D., & Falco, C. (2013). Effect of stance position on kick performance in taekwondo. *Journal of Sports Sciences*, 31(16), 1815–1822.
<https://doi.org/10.1080/02640414.2013.803590>
- Estevan, I., Alvarez, O. A., Falco, C., Molina-García, J., García, G., & Castillo, I. (2011). IMPACT FORCE AND TIME ANALYSIS INFLUENCED BY EXECUTION DISTANCE IN A ROUNDHOUSE KICK TO THE HEAD IN TAEKWONDO. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(10), 2851–2856. www.nsca-jscr.org
- Falco, C., Alvarez, O., Castillo, I., Estevan, I., Martos, J., Mugarra, F., & Iradi, A. (2009). Influence of the distance in a roundhouse kick's execution time and impact force in Taekwondo. *Journal of Biomechanics*, 42(3), 242–248.
<https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2008.10.041>
- Falcó Pérez, Coral., Iradi Casal, A., Mugarra González, F., & Universitat de València. Departament de Fisiologia. (2009). *Estudio sobre parámetros mecánicos y distancia de golpeo del “badal chagui” en taekwondo*. Universitat de València, Servei de Publicacions.
- Ferguson, C. J. (2009). An Effect Size Primer: A Guide for Clinicians and Researchers. *Professional Psychology: Research and Practice*, 40(5), 532–538.
<https://doi.org/10.1037/a0015808>
- Ferreira Pedrosa, G., Couto, B., Antoni Szmuchrowski, L., Śledziwski, D., Łoniewski, M., Kuder, A., Angelo Dias da Silva, R., & Pena Couto, B. (n.d.). *Muscle assessments View project Analysis of lower limbs' bilateral differences View project Fighting profiles in men's taekwondo competition in the under 68 kg category at the Olympic Games in Beijing (2008) and London (2012)-case studies*.
<https://www.researchgate.net/publication/316009640>

- Ferrin, C., Encarnación-Martínez, A., & Cárdenas-Sandoval, R.-P. (2018). Técnicas Complementarias de Evaluación Biomecánica Aplicadas al Deporte. In *Lineamientos de Política Pública en Ciencias del Deporte en Biomecánica*.
- Fife, G. P., O'Sullivan, D. M., Pieter, W., Cook, D. P., & Kaminski, T. W. (2013). Effects of Olympic-style taekwondo kicks on an instrumented head-form and resultant injury measures. *British Journal of Sports Medicine*, 47(18), 1161–1165.
<https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-090979>
- Friedman, M. (1937). THE USE OF RANKS TO AVOID THE ASSUMPTION OF NORMALITY IMPLICIT IN THE ANALYSIS OF VARIANCE. *Journal of the American Statistical Association*, 32(200), 675–701.
- García, S., Fernández, A., Luengo, J., & Herrera, F. (2010). Advanced nonparametric tests for multiple comparisons in the design of experiments in computational intelligence and data mining: Experimental analysis of power. *Information Sciences*, 180(10), 2044–2064.
<https://doi.org/10.1016/j.ins.2009.12.010>
- Gavagan, C. J., & Sayers, M. G. L. (2017). A biomechanical analysis of the roundhouse kicking technique of expert practitioners: A comparison between the martial arts disciplines of Muay Thai, Karate, and Taekwondo. *PLoS ONE*, 12(8).
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182645>
- Godoy-Cumillaf, A. E. R., Valdés-Badilla, P. A., Soler, N. S., Carmona-López, M. I., & Fernández, J. J. (2015). Características antropométricas de adolescentes pertenecientes a distintas escuelas deportivas formativas | Anthropometric Characteristics of Adolescents from Different Sports Training Schools. *International Journal of Morphology*, 33(3), 1065–1070. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022015000300041>
- Gómez Echeverry, L. L., Jaramillo Henao, A. M., Ruiz Molina, M. A., Velásquez Restrepo, S. M., Páramo Velásquez, C. A., & Silva Bolívar, G. J. (2018). Sistemas de captura y análisis de movimiento cinemático humano: una revisión sistemática. *Prospectiva*, 16(2), 24–34. <https://doi.org/10.15665/rp.v16i2.1587>

- Góra, T., Mosler, D., Podstawski, R., & Wąsik, J. (2024). The Impact of Effective Mass on the Strength of Side and Turning Kick in Taekwon-Do Male Practitioners. *Applied Sciences*, 14(6), 2339. <https://doi.org/10.3390/app14062339>
- Gutiérrez Dávila, M. (1998). *Biomecánica deportiva: bases para el análisis*.
- Gutiérrez-Santiago, A., Pereira-Rodríguez, R., & Prieto-Lage, I. (2020). Detection of the technical and tactical motion of the scorable movements in taekwondo. *Physiology and Behavior*, 217. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2020.112813>
- Ha, C.-S., Choi, M. H., & Kim, B.-G. (2009). The Kinematical Analysis of the Taekwondo Sparring Players` Bandal Chagi in Kinematics. *International Journal of Applied Sports Sciences*, 21, 115–131.
- Hamill, J., Knutzen, K. M., & Derrick, T. R. (2015). *Biomechanical Basis of Human Movement (4th edition)* (4th edition). Wolters Kluwer Health.
- Hay, J. (1978). *The biomechanics of sports techniques*. Prentice-Hall.
- Heller, J., Perič, T., Dlouhá, R., Kohlíková, E., Melichna, J., & Nováková, H. (1998). Physiological profiles of male and female taekwon-do (ITF) black belts. *Journal of Sports Sciences*, 16(3), 243–249. <https://doi.org/10.1080/026404198366768>
- Hermann, G., Scholz, M., Vieten, M., & Kohloeffel, M. (2008). *Reaction and performance time of Taekwondo top-athletes demonstrating the Baldung-Chagi*.
- Herrera-Valenzuela, T., Vargas, J. J. N., Merlo, R., Valdés-Badilla, P., Pardo-Tamayo, C., & Franchini, E. (2020). Effect of the covid-19 quarantine on body mass among combat sports athletes | Efecto de la cuarentena de la covid-19 sobre el peso corporal de los practicantes de deportes de combate. *Nutricion Hospitalaria*, 37(6), 1186–1189. <https://doi.org/10.20960/nh.03207>
- Hindle, B. R., Keogh, J. W. L., & Lorimer, A. V. (2021). *Inertial-Based Human Motion Capture: A Technical Summary of Current Processing Methodologies for Spatiotemporal and Kinematic Measures*.

- Hsu, C. C., Su, C. S., & Su, C. L. (2023). Regular practice of Kung Fu and Taekwondo improve Chilean adults' health and quality of life during the COVID-19. *Working with Older People*. <https://doi.org/10.1108/WWOP-02-2023-0002>
- Izquierdo, Mikel. (2008). *Biomecánica y bases neuromusculares de la actividad física y el deporte*. Editorial Médica Panamericana.
- Jakubiak, N., & Saunders, D. H. (2008). THE FEASIBILITY AND EFFICACY OF ELASTIC RESISTANCE TRAINING FOR IMPROVING THE VELOCITY OF THE OLYMPIC TAEKWONDO TURNING KICK. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(4), 1194–1197. www.nscj-jscr.org
- Jung, T., & Park, H. (2022). Contributions of Body Segments to the Toe Velocity during Taekwondo Roundhouse Kick. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(15). <https://doi.org/10.3390/app12157928>
- Kang, W. S. (2012). Taekwondo Technical Terminology. In *Kukkiwon World Taekwondo Headquarters*.
- Kavvoura, A., Zaras, N., Stasinaki, A.-N., Arnaoutis, G., Methenitis, S., & Terzis, G. (2018). The Importance of Lean Body Mass for the Rate of Force Development in Taekwondo Athletes and Track and Field Throwers. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology Article*. <https://doi.org/10.3390/ifmk3030043>
- Kazemi, M., de Ciantis, M., & Rahman, A. (2013). A profile of the Youth Olympic Taekwondo Athlete. *J Can Chiropr Assoc*, 57(4). <http://www.singapore2010.sg/>
- Kazemi, M., Waalen, J., Morgan, C., & White, A. R. (2006). A PROFILE OF OLYMPIC TAEKWONDO COMPETITORS. ©*Journal of Sports Science and Medicine*, 114–121. <http://www.jssm.org>
- Kim, J. W., Kwon, M. S., Yenuga, S. S., & Kwon, Y. H. (2010). The effects of target distance on pivot hip, trunk, pelvis, and kicking leg kinematics in Taekwondo roundhouse kicks. *Sports Biomechanics*, 9(2), 98–114. <https://doi.org/10.1080/14763141003799459>

- Kim, J. W., & Nam, S. S. (2021). Physical characteristics and physical fitness profiles of korean taekwondo athletes: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(9624). <https://doi.org/10.3390/ijerph18189624>
- Lagla, M. E. (2019). *Sistema de ejercicios específicos para desarrollar la fuerza explosiva en el pateo de los taekwondistas del Club de Artes Marciales de la Universidad Central del Ecuador*.
- Lee, C. L., Chin, Y. F., & Liu, Y. (2005). COMPARING THE DIFFERENCE BETWEEN FRONT-LEG AND BACK-LEG ROUND-HOUSE KICKS ATTACKING MOVEMENT ABILITIES IN TAEKWONDO. *23 International Symposium on Biomechanics in Sports*, 877–880.
- Liu, L., Jia, M., Ma, Y., Lin, S., Peng, Q., Xiong, J., & Zheng, W. (2023). Biomechanics research on laterality effect between dominant and non-dominant during double roundhouse kick in the competitive taekwondo. *Heliyon*, 9(10). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20843>
- Lystad, R., Pollard, H., & Graham, P. (2009). Epidemiology of injuries in competition taekwondo: A meta-analysis of observational studies. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12(6), 614–621. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2008.09.013>
- Markovic, G., Misigoj-Durakovic, M., & Trninic, S. (2005). Fitness Profile of Elite Croatian Female Taekwondo Athletes. *Coll. Antropol*, 29(1), 93–99.
- Marotta, L., Scheltinga, B. L., van Middelaar, R., Bramer, W. M., van Beijnum, B. J. F., Reenalda, J., & Buurke, J. H. (2022). Accelerometer-Based Identification of Fatigue in the Lower Limbs during Cyclical Physical Exercise: A Systematic Review. *Sensors*, 22(8). <https://doi.org/10.3390/s22083008>
- Matsushigue, K., Hartmann, K., & Franchini, E. (2009). TAEKWONDO: PHYSIOLOGICAL RESPONSES AND MATCH ANALYSIS. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(4), 1112–1117. www.nsca-jscr.org
- Mendez-Cornejo, J., Gomez-Campos, R., Carrasco-López, S., Urzua-Alul, L., & Cossio-Bolanós, M. (2019). Applicability of the Body Mass Index and Weight Index in young

athletes participating in the University selection of Chile | Aplicabilidad del índice de masa corporal e índice ponderal en jóvenes deportistas que participan en la Selección Universitaria de. *Revista Espanola de Nutricion Humana y Dietetica*, 23(2).
<https://doi.org/10.14306/renhyd.23.2.625>

Menéndez, S., & Rodríguez, J. (2015). *Protocolo de trabajo y banco de pruebas para el uso del equipo de captura de movimiento MOCAP-OPTITRACK*.
<http://atrae.webs.ull.es/capturadormovimiento/>

Merriault, P., Dupuis, Y., Bouteau, R., Vasseur, P., & Savatier, X. (2017). A Study of Vicon System Positioning Performance. *Sensors*, 17(7). <https://doi.org/10.3390/s17071591>

Planes Valles, E., Miralles Marrero, R., Beceiro, J., & Marsal, X. (2007). Estudio de la abducción del hombro mediante videofotogrametría (VFG) y radiología seriada (RX) simultánea. *Biomecánica*, 15(1), 7–11.

Miziara, I., Silva, B., Marques, I., Rosa de Sá, A., Oliveira, I., Pereira, A., & Naves, E. (2019). Analysis of the biomechanical parameters of high-performance of the roundhouse kicks in Taekwondo athletes. *Research on Biomedical Engineering*, 35(3–4), 193–201.
<https://doi.org/10.1007/s42600-019-00022-1>

Moenig, U. (2011). La evolución de las técnicas de patada en taekwondo. *Revista de Artes Marciales Asiáticas*, 6(1), 117–140.

Moreira, P., Falco, C., Menegaldo, L., Goethel, M., De Paula, L., & Gonçalves, M. (2021). Are isokinetic leg torques and kick velocity reliable predictors of competitive level in taekwondo athletes? *PLoS ONE*, 16(6 June).
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235582>

Moreira, P., Fernandes, L., Fagundes, M., Id, G., & Vieira, F. (2014). Talent detection in taekwondo: Which factors are associated with the longitudinal competitive success? *CIENCE OF MARTIAL ARTS*, 10, 295. www.archbudo.com

Moreira, P., Franchini, E., Ervilha, U., Goethel, M., Adalgiso, C., & Gonçalves, M. (2018). Relationships of the expertise level of taekwondo athletes with electromyographic,

kinematic and ground reaction force performance indicators during the dolho chagui kick. *Archives of Budo*, 14, 59–69.

Moreira, P., & Paula, L. (2017). Kinesiologic Description of the Round House Kick: A Brief Review. *Journal of Athletic Enhancement*, 06(01). <https://doi.org/10.4172/2324-9080.1000250>

Moreira, P. V. S., Goethel, M. F., & Gonçalves, M. (2016). Neuromuscular performance of Bandal Chagui: Comparison of subelite and elite taekwondo athletes. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 30, 55–65.
<https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2016.06.001>

Ojeda-Aravena, A., Azocar-Gallardo, J., Galle, F., & García-García, J. M. (2020). Relationship between the characteristics of body composition and general and specific physical performance in Chilean national taekwondo competitors of both sexes: An observational study | Relación entre las características de la composición corporal y el. *Revista Espanola de Nutricion Humana y Dietetica*, 24(2).
<https://doi.org/10.14306/renhyd.24.2.969>

Orellana Lepe, G., Warnier Medina, A., Olivares Fernández, P., Yáñez-Sepúlveda, R., Herrera Valenzuela, T., & Zapata Bastías, J. (2018). Somatotype of taekwondo athletes at the regional training center in valparaíso, Chile | Somatotipo de atletas de taekwondo del centro de entrenamiento regional de valparaíso, Chile. *International Journal of Morphology*, 36(1), 201–205. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022018000100201>

Păunescu, C., Pițigoi, G., & Păunescu, M. (2014). Head Injuries in Junior Taekwondo Competitions. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 117, 295–299.
<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.02.216>

Pérez-Soriano, P., & Llana Belloch, S. (2015). *Biomecánica básica aplicada a la actividad física y el deporte*.

Pieter, F., & Pieter, W. (1995). Speed and force in selected taekwondo techniques. *Biology of Sport*, 12(4), 257–266.

- Pozo, J., Bastien, G., & Dierick, F. (2011). Execution time, kinetics, and kinematics of the mae-geri kick: Comparison of national and international standard karate athletes. *Journal of Sports Sciences*, 29(14), 1553–1561. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.605164>
- Pueo, B. (2016). High speed cameras for motion analysis in sports science. *Journal of Human Sport and Exercise*, 11(1), 53–73. <https://doi.org/10.14198/jhse.2016.111.05>
- Quinzi, F., Camomilla, V., Felici, F., Di Mario, A., & Sbriccoli, P. (2013). Differences in neuromuscular control between impact and no impact roundhouse kick in athletes of different skill levels. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 23(1), 140–150. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2012.09.006>
- Riera, J. (1995). Estrategia, táctica y técnica deportiva. *Apunts. Educación Física y Deportes*, 39, 45–56.
- Sant' Ana, J., Sakugawa, R. L., & Diefenthaler, F. (2021). The Effect of a Pace Training Session on Internal Load and Neuromuscular Parameters in Taekwondo Athletes. *Frontiers in Physiology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.710627>
- Santos, V. G., Pires, F. O., Bertuzzi, R., Frachini, E., Da Silva-Cavalcante, M. D., Peduti Dal Molin Kiss, M. A., & Lima-Silva, A. E. (2014). Relationship between attack and pause in world taekwondo championship contests: effects of gender and weight category. In *Ligaments and Tendons Journal* (Vol. 4, Issue 2).
- Sbriccoli, P., Camomilla, V., Di Mario, A., Quinzi, F., Figura, F., & Felici, F. (2010). Neuromuscular control adaptations in elite athletes: The case of top level karateka. *European Journal of Applied Physiology*, 108(6), 1269–1280. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1338-5>
- Sedgwick, P. (2014). Multiple hypothesis testing and Bonferroni's correction. *BMJ*, 349(6284). <https://doi.org/10.1136/bmj.g6284>
- Souza, J., Gamonales, J., Hernández-Beltrán, V., Louro, H., & Íbañez, S. (2024). Effective techniques analysis in taekwondo: A systematic review. *Retos*, 53, 78–90.
- Tippens, P. E. (2011). *FISICA, CONCEPTOS Y APLICACIONES (7A. ED)*.

- Vagner, M., Cleather, D., Kubovy, P., Hojka, V., & Stastny, P. (2021). *Effect of strength training programs on front push kick dynamics and kinematics* (Vol. 17). www.archbudo.com
- Vicon. (2023). *PLUG-IN GAIT REFERENCE GUIDE* (2da edición). Vicon Motion Systems Limited.
- Wąsik, J. (2010). The structure of the roundhouse kick on the example of a European Champion of taekwon-do. *ARCHIVES OF BUDO*, 6(4). www.archbudo.com
- Wąsik, J., Ferreira da Silva Santos, J., & Franchini, E. (2013). Movement structure and kinetics of the traditional straight punch: Measurements in taekwon-do athletes. *IDO MOVEMENT FOR CULTURE. Journal of Martial Arts Anthropology*, 13(1), 42–47. <https://doi.org/10.14589/ido.13.1.6>
- Wąsik, J., & Shan, G. (2015). Target effect on the kinematics of Taekwondo Roundhouse Kick - Is the presence of a physical target a stimulus, influencing muscle-power generation? *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, 17(4), 115–120. <https://doi.org/10.5277/ABB-00229-2014-02>
- Willauschus, M., Rütter, J., Millrose, M., Walcher, M., Lambert, C., Bail, H. J., & Geßlein, M. (2021). Foot and Ankle Injuries in Elite Taekwondo Athletes: A 4-Year Descriptive Analysis. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 9(12). <https://doi.org/10.1177/23259671211061112>
- Windolf, M., Götzen, N., & Morlock, M. (2008). Systematic accuracy and precision analysis of video motion capturing systems-exemplified on the Vicon-460 system. *Journal of Biomechanics*, 41, 2776–2780. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2008.06.024>
- World Taekwondo. (2019). *COMPETITION RULES & INTERPRETATION*.
- Yang, P. F., Sanno, M., Brüggemann, G. P., & Rittweger, J. (2012). Evaluation of the performance of a motion capture system for small displacement recording and a discussion for its application potential in bone deformation in vivo measurements. *Journal of Engineering in Medicine*, 226(11), 838–847. <https://doi.org/10.1177/0954411912452994>

Yoo, S., Park, S.-K., Yoon, S., Lim, H. S., & Ryu, J. (2018). Comparison of Proprioceptive Training and Muscular Strength Training to Improve Balance Ability of Taekwondo Poomsae Athletes: A Randomized Controlled Trials. In ©*Journal of Sports Science and Medicine* (Vol. 17). <http://www.jssm.org>

Ziaee, V., Rahmani, S.-H., & Rostami, M. (2010). Injury Rates in Iranian Taekwondo Athletes; a Prospective Study. In *Asian Journal of Sports Medicine* (Vol. 1, Issue 1).