



Universidad Miguel Hernández de Elche
Programa de Doctorado en Deporte y Salud

CAPACIDAD DE SALTO VERTICAL EN JUGADORES DE FÚTBOL CON
PARÁLISIS CEREBRAL: DESCRIPCIÓN DE VARIABLES CINÉTICAS,
ANÁLISIS DE LA FATIGA E IMPACTO DE LA ESPASTICIDAD

Tesis Doctoral
D. Matías Henríquez Valenzuela

Director
Dr. Raúl Reina Vaíllo

Codirector
Dr. Javier Yanci Irigoyen

Elche, junio de 2023



La presente tesis doctoral, titulada “Capacidad de salto vertical en jugadores de fútbol con parálisis cerebral: descripción de variables cinéticas, análisis de la fatiga e impacto de la espasticidad”, es un compendio de tres artículos publicados en revistas indexadas en el *Journal Citation Reports* de la *Web of Science* o *Scopus*.

La relación de artículos presentados que conforman la tesis doctoral es la siguiente:

- Henríquez, M., de Campos, L.F.C., Muñoz-Hinrichsen, F., Cornejo, M.I., Yanci, J., Reina, R. (2022). Neuromuscular fatigue in cerebral palsy football players after a competitive match according to sport classification and playing position. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(10), 6070. <https://doi.org/10.3390/ijerph19106070>
- Henríquez, M., Campos-Campos, K., Smith, R., Aliste, S., Riquelme, S., Reina, R. (2023). Comparison of the vertical jump performance of footballers with cerebral palsy at different competitive levels. *European Journal of Adapted Physical Activity*, 16(4). <https://doi.org/10.5507/euj.2022.013>
- Henríquez, M., Sabido, R., Barbado, D., Roldan, A., Elvira, J.L.L., Yanci, J., Reina, R. (2023). Differences in kinetic characteristics during countermovement jump of football players with cerebral palsy according to impairment profiles. *Frontiers in Physiology*, 14, 1121652. doi: 10.3389/fphys.2023.1121652



El Dr. D. Raúl Reina Vaíllo, director, y el Dr. D. Javier Yanci Irigoyen, codirector de la tesis doctoral titulada “Capacidad de salto vertical en jugadores de fútbol con parálisis cerebral: descripción de variables cinéticas, análisis de la fatiga e impacto de la espasticidad”

INFORMAN

Que D. Matías Henríquez Valenzuela ha realizado bajo nuestra supervisión el trabajo titulado “Capacidad de salto vertical en jugadores de fútbol con parálisis cerebral: descripción de variables cinéticas, análisis de la fatiga e impacto de la espasticidad” conforme a los términos y condiciones definidos en su Plan de Investigación y de acuerdo con el Código de Buenas Prácticas de la Universidad Miguel Hernández de Elche, cumpliendo con los objetivos previstos de forma satisfactoria para la defensa pública de la tesis doctoral. Lo que firmamos para los efectos oportunos,

En Elche, junio de 2023

Director de la tesis
Dr. Raúl Reina Vaíllo

Codirector de la tesis
Dr. Javier Yanci Irigoyen



El Dr. Francisco Javier Moreno Hernández, Coordinador del Programa de Doctorado en Deporte y Salud de la Universidad Miguel Hernández de Elche.

INFORMA

Que D. Matías Henríquez Valenzuela ha realizado en el marco de nuestro Programa de Doctorado el trabajo titulado “Capacidad de salto vertical en jugadores de fútbol con parálisis cerebral: descripción de variables cinéticas, análisis de la fatiga e impacto de la espasticidad” conforme a los términos y condiciones definidos en su Plan de Investigación y de acuerdo con el Código de Buenas Prácticas de la Universidad Miguel Hernández de Elche, cumpliendo los objetivos previstos de forma satisfactoria para su defensa pública como tesis doctoral. Lo que firmo para los efectos oportunos,

en Elche, junio de 2023

Prof. Dr. Francisco Javier Moreno Hernández
Coordinador del Programa de Doctorado en Deporte y Salud

Tabla de Contenido

Listado de Abreviaturas.....	12
Listado de Tablas	14
Listado de Figuras.....	15
Resumen.....	17
Abstract	19
1. Introducción general	23
1.1. Fútbol para personas con parálisis cerebral	23
1.1.1. ¿Quiénes pueden participar en el fútbol para personas con parálisis cerebral?.....	23
1.1.2. Características de los participantes del fútbol parálisis cerebral.....	25
1.1.3. Demandas físicas de fútbol parálisis cerebral.....	28
1.2. Introducción de los tópicos de estudios.....	28
1.2.1. Estudio 1: Neuromuscular Fatigue in Cerebral Palsy Football Players after a Competitive Match According to Sport Classification and Playing Position	28
1.2.2. Estudio 2: Comparison of the Vertical Jump Performance of Footballers with Cerebral Palsy at Different Competitive Levels	30
1.2.3. Estudio 3: Differences in Kinetic Characteristics During Countermovement Jump of Football Players with Cerebral Palsy According to Impairment Profiles.....	31
1.2.4. Estudio 4: Influence of Lower Limb Spasticity in Vertical Jump Capacity in Para-Athletes with Cerebral Palsy	32
1.3. Resúmenes de las limitaciones de conocimiento y problemas de investigación.....	33
2. Objetivos e Hipótesis.....	37
2.1. Objetivos.....	37
2.1.1. <i>Estudio 1</i>	37
2.1.2. <i>Estudio 2</i>	37
2.1.3. <i>Estudio 3</i>	37
2.1.4. <i>Estudio 4</i>	37
2.2. Hipótesis	38
2.2.1. <i>Estudio 1</i>	38
2.2.2. <i>Estudio 2</i>	39
2.2.3. <i>Estudio 3</i>	39
2.2.4. <i>Estudio 4</i>	39
3. Resumen de los Métodos	43
3.1. Estudio 1.....	43

3.1.1. Participantes	43
3.1.2. Procedimientos	43
3.1.3. Intensidad de la carga de partido.....	44
3.1.4. Capacidad neuromuscular	44
3.1.5. Análisis estadístico	45
3.2. <i>Estudio 2</i>	46
3.3. <i>Estudio 3</i>	47
3.4. <i>Estudio 4</i>	49
4. Resumen de los Resultados	55
4.1. Estudio 1	55
4.1.1. Esfuerzo y carga de partido percibida.....	55
4.1.2. Rendimiento en el salto vertical según clasificación posterior a partido competitivo	56
4.1.3. Rendimiento en el salto vertical según posición de juego.....	57
4.1.4. Variación del rendimiento en el salto vertical según clasificación y posición de juego.....	57
4.1.5. Asociación entre la variación de salto vertical, fatiga percibida y carga de partido.....	58
4.2. Estudio 2	58
4.2.1. Diferencias en el salto vertical de acuerdo con el nivel competitivo	58
4.2.2. Diferencias en el salto vertical de acuerdo con la clase deportiva	59
4.2.3. Diferencias en el salto vertical de acuerdo con el nivel competitivo y la clase deportiva	60
4.3. Estudio 3	61
4.3.1. Comparación entre el grupo de participantes con parálisis cerebral y el grupo control	61
4.3.2. Comparación entre perfiles de participantes con parálisis cerebral.....	61
4.4. Estudio 4	65
4.4.1. Comparación resultados del nivel de espasticidad según grupo	65
4.4.2. Comparación de los parámetros de salto según grupo	66
4.4.3. Relación entre los parámetros de salto y el nivel de espasticidad	68
5. Resumen de las Discusiones.....	73
5.1. <i>Estudio 1</i>	73
5.2. Estudio 2	76
5.3. Estudio 3	78
5.4. Estudio 4	81
6. Conclusiones.....	87

6.1. Conclusiones generales	87
6.1.1. <i>Estudio 1</i>	87
6.1.2. <i>Estudio 2</i>	87
6.1.3. <i>Estudio 3</i>	88
6.1.4. <i>Estudio 4</i>	88
6.2. Limitaciones y Prospectivas.....	89
6.2.1. <i>Estudio 1</i>	89
6.2.2. <i>Estudio 2</i>	90
6.2.3. <i>Estudio 3</i>	91
6.2.4. <i>Estudio 4</i>	91
7. Referencias	95
8. Apéndices	111

Listado de Abreviaturas

- AA:** deficiencias de coordinación por ataxia y/o atetosis.
- ANOVA:** análisis de varianza.
- ASAS:** escala australiana de evaluación de la espasticidad.
- AT:** atacante.
- BS:** espasticidad bilateral.
- CD:** duración de la fase concéntrica.
- CG:** grupo control.
- CIMP:** impulso mecánico en fase concéntrica.
- CMJ:** salto con contra movimiento.
- CV:** coeficiente de variación.
- d:** tamaño del efecto de Cohen.
- DEF:** defensa.
- DP:** fase desaceleración.
- E/C:** tasa de impulso excéntrico y concéntrico.
- ED:** duración de la fase excéntrica.
- EIMP:** impulso mecánico en fase excéntrica.
- FT:** clase deportiva en fútbol parálisis cerebral.
- IC:** intervalos de confianza.
- IE:** índice de elasticidad.
- IFCPF:** *International Federation of Cerebral Palsy Football.*
- JD:** duración total del salto.
- JH:** altura de salto.
- MF:** mediocampista.
- MI:** mínima deficiencia elegible.
- mRFD:** tasa máxima de desarrollo de fuerza.
- n²:** Eta cuadrado.
- PC:** parálisis cerebral.

PFC: pico de la fuerza concéntrica.

PFE: pico de fuerza excéntrica.

PPO: pico de potencia.

PS: probabilidad de superioridad.

r: coeficiente de correlación.

Rho: coeficiente de correlación Spearman.

RPE: carga de esfuerzo percibida.

RPE-ML: carga percibida del partido.

SJ: salto sin contra movimiento.

TE: tamaño del efecto.

TTCF: tiempo hasta pico de la fuerza concéntrica.

TTmRFD: tiempo hasta tasa máxima de desarrollo de fuerza.

TTPEF: tiempo hasta pico de la fuerza excéntrica.

UA: unidades arbitrarias.

US: espasticidad unilateral.

Nota: Algunas abreviaturas presentes en esta tesis doctoral mantienen la terminología en inglés provenientes de los artículos dispuestos en el apéndice donde se ha intentado mimetizar el sentido de la expresión en español.

Listado de Tablas

Tabla 1. Variación del rendimiento en salto vertical (Δ cm, evaluaciones pre vs. post partido) según clases deportivas y posición de juego.....	58
Tabla 2. Rendimiento del salto vertical en salto sin contra movimiento y salto con contra movimiento según clases deportivas.....	59
Tabla 3. Variables de rendimiento en salto con contra movimiento en el grupo de jugadores con parálisis cerebral y el grupo control.....	63
Tabla 4. Variables de rendimiento en salto con contra movimiento en el grupo de jugadores con parálisis cerebral considerando perfil de deficiencia.....	64
Tabla 5. Valores de las variables de estudio en promedio y desviación estándar para el salto con contra movimiento en todos los participantes de acuerdo con las características de cada grupo.....	67

Listado de Figuras

Figura 1. Ejemplo gráfico de las diferentes clases deportivas y sus respectivos perfiles en futbolistas con parálisis cerebral.....	25
Figura 2. Características físicas y fisiológicas que podrían afectar el desempeño en tareas físicas en personas con parálisis cerebral.....	26
Figura 3. Condicionantes físicas que podrían verse afectados en el desempeño en tareas físicas en personas con parálisis cerebral.....	27
Figura 4. Procedimientos de salto vertical en plataforma de contacto previo y posterior a partido competitivo en futbolistas con parálisis cerebral.....	45
Figura 5. Fases del salto con contra movimiento y sus respectivas curvas fuerza y velocidad.....	48
Figura 6. Carga de partido percibida y esfuerzo percibido de los participantes según la clasificación deportiva y la posición de juego.....	55
Figura 7. Rendimiento de la altura de salto vertical tras un partido de fútbol en el salto sin contra movimiento (7A) y el salto con contra movimiento (7B) entre clases deportivas.....	56
Figura 8. Rendimiento de la altura de salto vertical tras un partido de fútbol en el salto sin contra movimiento (8A) y el salto con contra movimiento (8B) según la posición de juego.....	57
Figura 9. Rendimiento en altura de salto vertical en salto sin contra movimiento (9A) y salto con contra movimiento (9B) entre niveles competitivos.....	59
Figura 10. Rendimiento en altura de salto vertical en salto sin contra movimiento (10A) y salto con contra movimiento (10B) entre clases deportivas y niveles competitivos.....	60
Figura 11. Curva fuerza-tiempo del salto con contra movimiento según los perfiles de deficiencia de los jugadores con parálisis cerebral y de los futbolistas sin deficiencia.....	65
Figura 12. Asociación entre la altura de salto y la puntuación total de la escala australiana de evaluación de la espasticidad (ASAS) del lado menos afectado (12A), con el puntaje total ASAS en el grupo muscular asociado a flexión plantar del tobillo (12B) y con el puntaje total de espasticidad (12C).....	68
Figura 13. Asociación entre la tasa máxima de desarrollo de fuerza (mRFD) y la puntuación total de la escala australiana de evaluación de la espasticidad (ASAS)	

del lado más afectado (13A), con el puntaje total ASAS en el grupo muscular asociado a flexión plantar del tobillo del lado más afectado (13B), con el puntaje total de espasticidad en el tobillo (13C) y con el puntaje total ASAS (13D) para todos los participantes del grupo con parálisis cerebral.....69

El fútbol parálisis cerebral (PC) es una disciplina específica para personas con parálisis y lesiones cerebrales, la cual presenta modificaciones en el espacio de juego, reglamentación y categorización de los deportistas. Las demandas del deporte requieren acciones de alta intensidad donde las carreras, saltos, cambios de dirección, contactos entre jugadores y disputas por el balón ocurren durante el transcurso de los partidos. Estas demandas del juego generan unas respuestas físicas de cada jugador siendo condicionadas, entre otros aspectos, por sus características neuromusculares específicas, que a su vez están influenciadas por las consecuencias de la lesión del sistema nervioso central y el compromiso de las vías descendentes de control motor. Al igual que otros deportes paralímpicos y/o para personas con discapacidad, los jugadores se ven sometidos a un proceso de clasificación, el cual busca identificar el impacto de la deficiencia elegible sobre las limitaciones a la actividad específicas de la disciplina deportiva.

El salto vertical se ha identificado como un componente fundamental a la hora de diferenciar entre clases deportivas, evaluar la capacidad neuromuscular y la identificación de parámetros del ciclo estiramiento-acortamiento en jugadores con PC. Sin embargo, varias son las limitaciones que se presentan en la literatura respecto al conocimiento del uso del salto vertical para el control de carga de partido, identificación de posibles talentos, parámetros cinéticos claves que contribuyen al rendimiento en la altura de salto y la contribución de la hipertonia en esta población específica. Mediante esta tesis doctoral se pretende describir parámetros neuromusculares y cinéticos que influyen en el rendimiento del salto vertical con contra movimiento (CMJ) y sin contra movimiento (SJ), analizando sus características en base a contextos de fatiga producida por competiciones, diferenciación de acuerdo con constructos deportivos, y explorando la contribución de la espasticidad en esta acción motora a las clases deportivas de los jugadores.

Se encontraron disminuciones significativas en el rendimiento de salto vertical con y sin contra movimiento posterior a un partido de fútbol competitivo tanto por clase deportiva como por posición de juego. En esta misma línea, jugadores con un impacto mínimo en las limitaciones a la actividad junto con jugadores de la posición de atacantes y de mediocampistas reflejaron una mayor pérdida de la altura alcanzada en el SJ. Con respecto a la diferenciación de constructos de nivel competitivo, los resultados reportaron que jugadores con nivel internacional presentaron un mejor rendimiento en la altura de salto tanto en el SJ como en el CMJ, siendo esta tendencia consistente en las diferentes clases deportivas. Por otro lado, al analizar los parámetros cinéticos del CMJ, se describió

que aquellas variables de producción de potencia, capacidad de fuerza y velocidad durante la fase concéntrica son determinantes a la hora de diferenciar el rendimiento entre futbolistas con PC y futbolistas sin discapacidad. Al comparar según el perfil de deficiencia, solo se identificó menores resultados en las variables de altura de salto, potencia máxima e impulso neto durante la fase concéntrica en jugadores con ambas piernas afectadas. Considerando los resultados de espasticidad de los participantes, los datos sugieren diferencias en las puntuaciones de espasticidad de acuerdo con el perfil de deficiencia y extremidad más o menos afectada. Se encontraron correlaciones significativas entre la puntuación de espasticidad de la musculatura planti-flexora de tobillo y la puntuación total con la variable de altura de salto en la prueba CMJ. Además, se encontró una correlación entre la puntuación de espasticidad de la musculatura planti-flexora de tobillo y la puntuación total con la variable tasa máxima de desarrollo de fuerza.

Los principales resultados de la tesis doctoral sugieren la utilidad práctica de las pruebas de salto vertical para estimar la fatiga neuromuscular y el control de carga en el ámbito competitivo, considerando las clases deportivas específicas y las posiciones de juego en futbolistas con PC. Esta utilidad se puede extender para la identificación de constructos de nivel competitivo, donde el salto vertical puede ser utilizado como un factor más dentro del conjunto de variables determinantes para la selección de talentos. Con respecto al estudio de parámetros cinéticos utilizando el CMJ y el impacto que tiene la espasticidad, se desprende la importancia que tienen variables de potencia e impulso en la fase concéntrica, así como la influencia de la espasticidad total y de la musculatura de flexores plantares en la altura de salto. Estos datos proveen más información a los clasificadores respecto al análisis del impacto de las deficiencias de espasticidad en la realización del salto vertical, mientras que a los entrenadores abre la posibilidad de focalizar sus planes de entrenamiento en esos aspectos del salto que afectan de forma diferenciada a para-futbolistas con PC.

Palabras clave: *lesión cerebral, para-fútbol, clasificación, Paralímpico, capacidad neuromuscular.*

Cerebral palsy (CP) football is a specific discipline for people with cerebral palsy and brain injuries, which presents modifications in the game space, regulation and categorization of athletes. The demands of the para-sport require high intensity actions where running, jumping, changes of direction, contact between players and disputes for the ball occur during the course of the game. These demands of the game generate physical responses from each player being conditioned, among other aspects, by their specific neuromuscular characteristics, which in turn are influenced by the consequences of central nervous system injury and the involvement of descending motor control pathways. Like other Paralympic sports and/or for people with a disability, players are subjected to a classification process, which seeks to identify the impact of the eligible impairment on activity limitations specific to the sport discipline.

The vertical jump has been identified as a fundamental component in differentiating between sport classes, assessing neuromuscular capacity and identifying stretch-shortening cycle parameters in players with CP. However, there are several limitations in the literature regarding the knowledge of the use of vertical jump for match load control, identification of potential talents, key kinetic parameters that contribute to jump height performance and the contribution of hypertonia in this specific population. Through this doctoral thesis we intend to describe neuromuscular and kinetic parameters that influence the performance of the vertical jump with counter movement (CMJ) and without counter movement (SJ), analyzing its characteristics based on contexts of fatigue produced by competitions, differentiation according to sport constructs, and exploring the contribution of spasticity in this motor action to the sport classes of the players.

Significant decreases were found in vertical jump performance with and without counter movement following a competitive football match by both sport classes and playing positions. Also, players with minimal impact on activity limitations along with players in the attacking and midfield position reflected a greater loss of achieved height for SJ. With respect to the differentiation of constructs of competitive level, the results reported that players with international level presented a better performance in jump height in both the SJ and the CMJ, and this trend is consistent in the different sport classes. On the other hand, when analyzing the kinetic parameters of the CMJ, it was described that those variables of power production, strength capacity and speed during the concentric phase are determinant in differentiating the performance between players with CP and players without disability. When comparing according to the impairment profiles,

lower performance was only identified in the variables of jump height, maximum power and net impulse during the concentric phase in players with both affected legs. Considering the spasticity scores of the participants, the data suggest differences in spasticity scores according to impairment profile and more or less affected limbs. Significant correlations were also found between the spasticity score of the ankle planti-flexor musculature and the total score of spasticity with the jump height variable in the CMJ test. In addition, a correlation was found between the spasticity score of the ankle planti-flexor musculature and the total score with the maximum rate of force development variable.

The main results of the doctoral thesis suggest the practical usefulness of vertical jump tests for estimating neuromuscular fatigue and load control in a competitive setting, considering specific sport classes and playing positions of CP football players. This usefulness can be extended to the identification of competitive level constructs, where the vertical jump can be used as another factor within the set of determinant variables for talent selection. With respect to the study of kinetic parameters using CMJ and the impact of spasticity, the importance of power and impulse variables in the concentric phase, as well as the influence of total spasticity and plantar flexor musculature on jump height, can be seen. These data provide more information to classifiers regarding the analysis of the impact of hypertonia deficiencies in the performance of the vertical jump, while for coaches it opens the possibility of focusing their training plans on those aspects of jumping that affect football players in a differentiated way.

Key words: brain injury, para-football, classification, Paralympic, neuromuscular capacity

CAPÍTULO 1

Introducción General



Fuente: IFCPF (autorizada)

1. Introducción general

1.1. Fútbol para personas con parálisis cerebral

El fútbol es una disciplina de tipo intermitente que demanda acciones de alta y baja intensidad, siendo suplido por una alternancia entre sistemas energéticos conjugado con factores técnicos y tácticos propios del deporte (Stølen et al., 2005). Estas características son compartidas por el fútbol para personas con parálisis cerebral (PC), el cual mantiene la misma estructura del deporte regular, pero presenta modificaciones en el número de jugadores (7 jugadores por equipo), tiempo de juego (dos partes de 30 min), tamaño de las porterías (5 x 2 m), tamaño del campo (50 x 70 m), ausencia de la regla del fuera de juego y adaptaciones técnicas (e.g., saque de banda con una mano, haciendo rodar el balón por el suelo), que posibilitan que este deporte sea jugado por personas con deficiencias elegibles de carácter neurológico como la hipertonia, la ataxia y la discinesia (IFCPF, 2018). Esta disciplina está gobernada por la *International Federation of Cerebral Palsy Football* (IFCPF) y presenta un ciclo de competencias cuatrienal con un evento mundial cada dos años, ofreciendo oportunidades de práctica tanto para hombres como para mujeres (Henríquez, Castillo, et al., 2021).

Otro elemento característico del fútbol PC es el sistema de clasificación, el cual determina quién puede participar en el ámbito competitivo de acuerdo con la presencia de deficiencias elegibles y el cumplimiento de criterios mínimos de discapacidad, agrupando a los futbolistas en clases de acuerdo a reglamentos específicos del deporte (Reina, 2014). Este tipo de fútbol es específico para el colectivo de personas con PC y afecciones relativas al compromiso del sistema nervioso central, el cual se encuentra bajo el concepto denominado “Para-fútbol”, haciendo alusión a que el prefijo “Para” es un paralelo del fútbol convencional (ParaFootball, 2023). Bajo esta mirada, la presente tesis doctoral acuñara los conceptos “para-futbolistas” y “futbolistas con PC” como el mismo concepto a la hora de referirse a la población objeto de estudio.

1.1.1. ¿Quiénes pueden participar en el fútbol para personas con parálisis cerebral?

Al igual que en otros deportes para personas con discapacidad, el fútbol PC se rige de acuerdo con los postulados del Comité Paralímpico Internacional, el cual define la inclusión de procesos de clasificación basados en la evidencia científica, buscando fomentar la participación competitiva y equitativa entre los deportistas (Tweedy y Vanlandewijck, 2011). El desarrollo de sistemas de clasificación basados

en la evidencia es requerido en los distintos para-deportes, donde la ciencia descriptiva aporta en el entendimiento de las diferencias entre la categorización de las clases deportivas y la optimización de la competición (Tweedy et al., 2018). Asociado a esto, los participantes elegibles para esta disciplina presentan una serie de criterios mínimos de deficiencia relacionados principalmente con la presencia de hipertonía espástica, ataxia y discinesia (atetosis o distonía), teniendo un impacto directo en el desempeño motor específico de la práctica deportiva (Reina, 2014; Reina et al., 2020). Dentro de las deficiencias elegibles, la PC es la condición de salud más prevalente en los participantes de esta modalidad de fútbol. Sin embargo, en menor medida participan también deportistas con diagnósticos médicos de accidentes cerebrovasculares, traumatismos craneoencefálicos, ataxia de Friedrich u otras alteraciones neurológicas.

Para minimizar el impacto de la deficiencia en el resultado de la competición (Tweedy et al., 2016), el sistema de clasificación del fútbol PC divide a los deportistas de acuerdo con la severidad de la afectación y, topográficamente, la localización de la discapacidad. Los jugadores son clasificados considerando una letra para designar la zona de compromiso; siendo A = espasticidad bilateral (diplejías espásticas), B = problemas de coordinación (producidos por ataxia o discinesia), C = espasticidad unilateral (hemiplejías espásticas) (Figura 1). Por otro lado, considerando la severidad de la deficiencia y el impacto que ésta tiene en factores claves asociados al rendimiento deportivo en fútbol (e.g., correr, saltar, cambiar de dirección, controlar el balón, entre otros), este sistema ubica a los participantes en tres categorías, siendo la clase FT1 para aquellos jugadores con un impacto severo en la función, la clase FT2 con un impacto moderado en la función y la clase FT3 un impacto mínimo en las limitaciones a la actividad (Figura 1). En base a esta categorización, el deporte presenta reglas técnicas que ajustan la participación de los jugadores con PC en el campo de juego, admitiéndose como mínimo un jugador de la clase con mayor afectación (FT1) y como máximo un jugador con el mayor nivel funcional (FT3), pudiéndose completar el resto de los jugadores con aquellos que presentan una clase FT1 o FT2 de acuerdo con el criterio de cada entrenador (Peña-González et al., 2023).



Figura 1. Ejemplo gráfico de las diferentes clases deportivas y sus respectivos perfiles en futbolistas con parálisis cerebral. Nota: elaboración propia basada en el manual de clasificación de la *International Federation of Cerebral Palsy Football* (2018).

1.1.2. Características de los participantes del fútbol parálisis cerebral

El desempeño físico ante las demandas de la competición en futbolistas con PC está caracterizado por una serie de limitaciones en la actividad originadas e influenciadas principalmente por las consecuencias generadas debido a la lesión cerebral, afectando al desempeño de tareas motoras (Graham et al., 2016). En ese sentido, esta condición se destaca por ser generada por una lesión en el cerebro inmaduro, siendo de carácter no progresiva, donde desordenes motores van acompañados de comorbilidades asociadas y problemas musculoesqueléticos secundarios, limitando las actividades de la vida diaria y la práctica deportiva (Rosenbaum et al., 2007).

En conformidad con Cans (2000) y la adopción de un consenso europeo para la clasificación de los distintos tipos de PC, es posible identificar condiciones con predominio espástico (e.g., unilateral o bilateral), atáxico o discinético. La PC espástica se caracteriza por presentar patrones anormales de movimiento y postura, junto con un aumento de reflejos patológicos vinculados a la lesión de la primera motoneurona, principalmente por el compromiso en la vía córtico-espinal, que contribuye a la presencia de espasticidad (Bar-On et al., 2015). Por otro lado, la PC de perfil atáxico está caracterizada por una pérdida de la coordinación

muscular, generando movimientos de fuerza anormal, arrítmicos y dismétricos, vinculados a la afectación de estructuras cerebelosas (Graham et al., 2016). Finalmente, la PC discinética es un perfil dominado por la presencia de patrones de movimiento y posturas anormales, donde movimientos involuntarios, recurrentes y estereotipados afectan a las personas en sus actividades del día a día. En esta última clasificación se incorporan las subcategorías de coreo-atetosis y distonía, las cuales se diferencian de acuerdo con la hipo o hiper actividad de los movimientos involuntarios y están vinculadas principalmente a la afectación de la estructura de ganglios basales (Cans, 2000; Graham et al., 2016).

De acuerdo con distintos autores, las diferencias en el rendimiento físico en comparación a futbolistas sin discapacidad podrían estar en el contexto de las deficiencias presentes en personas con PC, donde la disminución del volumen muscular, el alargamiento patológico de sarcómeros, la co-contracción, la espasticidad, las asimetrías, las contracturas y los cambios metabólicos tienen un impacto relevante al realizar tareas motoras (Barrett y Lichtwark, 2010; De Groot et al., 2012; Graham et al., 2016; Kloyiam et al., 2011; Peterson et al., 2012; Verschuren et al., 2018; Verschuren y Takken, 2010). La Figura 2 describe diferentes características físicas y fisiológicas que pueden verse alteradas en personas con PC y afectar su desempeño de respuesta ante exigencias físicas.

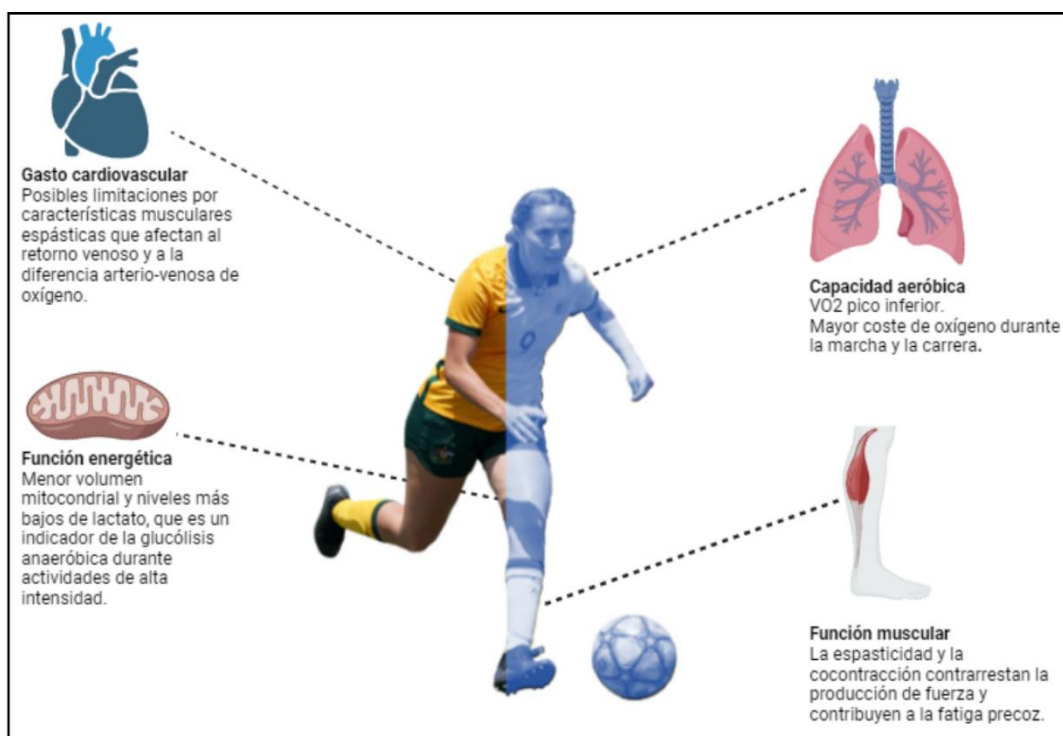


Figura 2. Características físicas y fisiológicas que podrían afectar el desempeño en tareas físicas en personas con parálisis cerebral. Nota: elaboración propia.

La literatura sugiere que los futbolistas con PC presentan un compromiso del sistema neuromuscular que afecta directamente a su desempeño motor, impactando en la resistencia muscular (Henríquez, Herrera, et al., 2021; Kloyiam et al., 2011), la fuerza muscular (de Groot et al., 2012; Hussain et al., 2014), la habilidad para generar cambios de dirección (Reina et al., 2016; Henríquez, Peña-González et al., 2023), la generación de carrera, la aceleración y la desaceleración (Reina et al., 2017), la habilidad de realizar carreras repetidas (Henríquez, Kokaly, et al., 2020) y la capacidad de salto (Reina et al., 2018, 2019) (Figura 3). Además, el rendimiento físico puede verse afectado durante formatos de fútbol reducido (Henríquez, Iturricastillo, et al., 2021; Henríquez, Riquelme, et al., 2020; Yanci et al., 2022) y en competición (Henríquez, Castillo, et al., 2021; Yanci et al., 2018, 2019), siendo la respuesta característica según cada perfil de compromiso motor y tipo de PC/clasificación deportiva (Reina et al., 2020).



Figura 3. Condicionantes físicos que podrían verse afectados en el desempeño en tareas físicas en personas con parálisis cerebral. Nota: elaboración propia.

1.1.3. Demandas físicas de fútbol parálisis cerebral

Las demandas de las competiciones y las respuestas físicas de los parafutbolistas involucran acciones de alta intensidad donde las carreras, saltos, cambios de dirección, colisiones entre jugadores y disputas por el balón ocurren durante el transcurso de los partidos. El fútbol PC, al igual que el fútbol convencional, demanda actividades de alta exigencia física. Por ejemplo, en partidos internacionales se ha reportado que los jugadores alcanzan carreras de alta velocidad ($>18 \text{ km/h}^{-1}$), con una cobertura de distancia recorrida de $3,27 \pm 1,96 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ (Yanci et al., 2018). Junto con esto, también se ha reportado una frecuencia importante de aceleraciones/desaceleraciones y velocidades máximas promedio de hasta $22,95 \pm 2,01 \text{ km/h}^{-1}$ (Reina et al., 2020). El fútbol para personas con PC presenta importantes demandas neuromusculares, donde se han reportado diferencias en las respuestas físicas de los jugadores ante variables como la altura del lugar de competición (Henríquez, Castillo, et al., 2021), diversos factores contextuales como el resultado final o el nivel de oposición (Henríquez et al., 2023) y el impacto de las demandas físicas en la altura de salto como un componente de fatiga neuromuscular (Henríquez et al., 2022). En referencia a este aspecto y las demandas que presenta esta disciplina, la capacidad de salto ha sido identificada como un factor importante para determinar la capacidad neuromuscular de los jugadores, por lo que su evaluación es frecuentemente incluida tanto para conocer este parámetro como para identificar el impacto que tienen las deficiencias elegibles en el rendimiento físico del fútbol PC (Reina et al., 2018; Yanci et al., 2016).

1.2. Introducción de los tópicos de estudios

A continuación, se describe un resumen de la introducción de los diferentes artículos que componen la tesis doctoral.

1.2.1. *Estudio 1: Neuromuscular Fatigue in Cerebral Palsy Football Players after a Competitive Match According to Sport Classification and Playing Position*

Durante el transcurso de los partidos, las demandas en la realización de actividades motoras durante la competencia deportiva inducen a una disminución gradual en la producción de fuerza, daño muscular, alteración de la producción de torque en extremidades inferiores y depleción de sustratos energéticos que contribuyen a la generación de fatiga neuromuscular en la musculatura implicada (de Hoyo et al., 2016; Enoka y Duchateau, 2008). Los procesos de fatiga en el fútbol responden a condiciones complejas que contribuyen a la disminución del

rendimiento físico, siendo dependientes de factores musculares locales y centrales (Bangsbo et al., 2006; Reilly et al., 2008).

Dado que el fútbol PC requiere múltiples acciones de alta intensidad y una óptima capacidad neuromuscular (Henríquez, Kokaly, et al., 2020; Reina et al., 2018), condicionantes que deben mantenerse durante todo el tiempo de juego, conocer la fatiga muscular inducida por los partidos puede ser un aspecto relevante para profesionales y clasificadores de este deporte. La fatiga se puede monitorizar de diferentes maneras, utilizando herramientas que permitan dilucidar variables fisiológicas y mecánicas, donde uno de los procedimientos más utilizados es el análisis de la variación en la altura del salto vertical, utilizado como un indicador indirecto producido por las respuestas ante las demandas del juego (de Hoyo et al., 2016; Krstrup et al., 2010; Mohr et al., 2010; Robineau et al., 2012).

Estudios previos sugieren que el salto vertical sin contra movimiento o *squat jump* (SJ) y el salto con contra movimiento o *countermovement jump* (CMJ) son pruebas que permiten estimar cambios a nivel neuromuscular, siendo útiles como indicadores para la monitorización de la fatiga mediante el uso de plataformas que proveen la posibilidad de realizar procedimientos rápidos y fáciles de ejecutar (Gathercole et al., 2015; Marqués-Jiménez et al., 2017). En ese sentido, algunos autores sugieren que los cambios en el rendimiento del salto vertical producido posterior a un partido de fútbol están vinculados a la presencia de fatiga neuromuscular, como consecuencia de las demandas específicas en la capacidad anaeróbica en extremidades inferiores (Carling et al., 2018; Hader et al., 2019; Oliver et al., 2008; Watkins et al., 2017).

De acuerdo con Yanci et al. (2014), los futbolistas con PC presentan entorno a un 47% y un 41% de menor rendimiento en las pruebas SJ y CMJ, respectivamente, al compararlos con futbolistas profesionales convencionales, reflejando así el impacto del compromiso funcional en una tarea motora con requerimientos neuromusculares. Si bien los protocolos de SJ y CMJ se han usado y validado en futbolistas con PC (Reina et al., 2018; Yanci et al., 2016), la mayoría de los estudios se han limitado a la descripción del rendimiento físico y las diferencias de acuerdo con el perfil funcional (Boyd et al., 2016; Kloyiam et al., 2011; Reina et al., 2020; Yanci et al., 2016).

Considerando las diferencias en la capacidad física según las clases que presentan los futbolistas con PC (Reina et al., 2018, 2020), puede ser pertinente conocer si la fatiga presenta diferencias en las magnitudes entre perfiles funcionales tras situaciones de competencia. Además, tal y como se ha observado en el fútbol regular (Azcarate et al., 2020; Barrett et al., 2018), la fatiga podría estar

condicionada por la posición de juego y el perfil de actividad en respuesta a las exigencias del partido. Monitorizar la fatiga post-partido mediante el uso de métodos rápidos y sencillos, como la valoración del salto, en para-futbolistas con PC, podría ser esencial para gestionar estrategias en los procesos de recuperación, planificación de sesiones de carga de entrenamiento e identificar posibles diferencias individuales de acuerdo al perfil funcional. Por otro lado, conocer el impacto que tiene un determinado periodo de juego o altas demandas de la competición en la fatiga neuromuscular podría ayudar a los clasificadores en la toma de decisiones durante la fase de observación en el proceso de clasificación.

1.2.2. Estudio 2: Comparison of the Vertical Jump Performance of Footballers with Cerebral Palsy at Different Competitive Levels

El salto vertical también se considera de importancia crítica para monitorizar los efectos del entrenamiento (Pagaduan et al., 2019), siendo un método adecuado para medir la función neuromuscular en el ciclo estiramiento-acortamiento (Maulder y Cronin, 2005), y el cual ha sido respaldado por varios estudios como indicador diferenciador entre los niveles competitivos de futbolistas sin discapacidad (Arnason et al., 2004; Ruiz-Ariza et al., 2015).

En ese sentido, la evaluación del salto vertical podría convertirse potencialmente en un parámetro que proporcione información valiosa para programas de identificación de talentos, que en el caso de los para-atletas está influenciado por la naturaleza de la deficiencia y la clasificación deportiva (Dehghansai et al., 2021). Estudios previos realizados en futbolistas con PC han demostrado la utilidad de la valoración de la capacidad de salto mediante el SJ y CMJ utilizando la altura de salto (Reina et al., 2018; Yanci et al., 2014, 2016), las fuerzas de reacción al suelo (Cámara et al., 2013) y variables de control postural (Reina et al., 2019), describiendo limitaciones de la actividad en esta tarea específica.

Sin embargo, los estudios mencionados sólo se realizaron con para-futbolistas de un único nivel competitivo (e.g., nivel nacional o nivel internacional), por lo que existe información limitada sobre las diferencias en el rendimiento cuando se comparan jugadores de diferentes niveles. Asimismo, la comparación del salto vertical entre jugadores de diferentes niveles competitivos sigue siendo un ámbito desconocido, existiendo un vacío en el conocimiento respecto al uso potencial del SJ y CMJ para la identificación de talentos o la discriminación entre constructos considerando la clase deportiva (Castagna y Castellini, 2013).

1.2.3. *Estudio 3: Differences in Kinetic Characteristics During Countermovement Jump of Football Players with Cerebral Palsy According to Impairment Profiles*

La capacidad de salto vertical es frecuentemente utilizada debido a que es fácil de ejecutar, y mediante el uso de plataformas de fuerza se pueden identificar múltiples variables útiles para la monitorización del rendimiento (e.g., desarrollo de potencia/fuerza, ratio del desarrollo de la fuerza, velocidad, altura de salto). Algunos investigadores han reportado relaciones entre parámetros del CMJ y el rendimiento en carrera, velocidad de chute y fuerza máxima en extremidades inferiores, resaltando la relevancia de variables asociadas a la potencia mecánica (Dobbs et al., 2015; Rodríguez-Lorenzo et al., 2016; Wisløff et al., 2004).

Sin embargo, existen limitados estudios que involucren variables cinéticas durante la realización del CMJ en futbolistas con PC, mostrando resultados inconclusos a la hora de determinar las variables determinantes para el rendimiento y la diferenciación entre perfiles funcionales (e.g., espasticidad bilateral/unilateral, ataxia, discinesia). Por ejemplo, Yanci et al. (2016) no encontraron relaciones entre el rendimiento en la altura alcanzada en el CMJ y el perfil de clasificación en un equipo con 12 futbolistas españoles con PC. Por el contrario, Reina et al. (2018) reportaron diferencias significativas en la misma variable de rendimiento en un grupo de 132 para-futbolistas internacionales, revelando diferencias significativas según el perfil de deficiencia. Con respecto a este enfoque, el análisis limitado de la altura de salto y el rendimiento de potencia máxima puede pasar por alto la naturaleza compleja del CMJ y diferentes variables y estrategias neuromusculares utilizadas por los jugadores con deficiencias elegibles para el fútbol PC (Gathercole et al., 2015).

Son limitados los estudios que describan los parámetros cinéticos en la ejecución del salto en futbolistas con PC, siendo común un reducido número de participantes que limitan la generalización de los resultados (Reina et al., 2019; Yanci et al., 2014, 2016). Por lo tanto, una comprensión más completa de variables clave que diferencien entre los perfiles de deficiencia y que contribuyen al rendimiento de salto podría favorecer la prescripción de programas eficaces de entrenamiento físico para mejorar el rendimiento en la población de futbolistas con PC. Por otro lado, la identificación de parámetros clave del salto favorecería, potencialmente, el desarrollo de implicaciones prácticas para la clasificación basada en la evidencia, mejorando las estrategias para apoyar la asignación de clase en los para-futbolistas con deficiencias neurológicas y en base a los nuevos perfiles de clasificación.

1.2.4. *Estudio 4: Influence of Lower Limb Spasticity in Vertical Jump Capacity in Para-Athletes with Cerebral Palsy*

De acuerdo con el Comité Paralímpico Internacional, la clasificación debe conseguir evidenciar relaciones entre las deficiencias elegibles y las limitaciones a la actividad asociadas a los requerimientos del deporte (Tweedy y Vanlandewijck, 2011). La PC es reconocida dentro del espectro de condiciones que generan discapacidad neurológica y deficiencias motoras, donde en más del 75% de los casos hay una pérdida del control espinal descendente, generando espasticidad relacionada a la hipertonía, producto de la pérdida de la modulación del reflejo de estiramiento (Bar-On et al., 2015; Cans, 2000; Sankar y Mundkur, 2005). La musculatura espástica presenta cambios en la matriz extracelular, con sarcómeros muy estirados que dan lugar a una curva longitud-tensión alterada que limita la capacidad del ciclo estiramiento-acortamiento, afectando a tareas como el salto (Mathewson et al., 2015; Mathewson y Lieber, 2015; Tisha et al., 2019). En ese contexto, se ha propuesto que la espasticidad tiene un impacto relevante en las limitaciones a la actividad, afectando a una serie de acciones físicas y técnicas que influyen en la determinación de la clase deportiva durante el proceso de clasificación (IFCPF, 2018).

Topográficamente, las afectaciones más comunes son la presencia de espasticidad en un hemicuerpo (i.e., hemiplejias) y espasticidad en ambas extremidades inferiores (i.e., diplejías) donde las cuatro extremidades están afectadas, pero en mayor medida las del tren inferior (Graham et al., 2016). Existe información respecto al impacto que tienen las deficiencias elegibles en diferentes parámetros de la capacidad de salto vertical (Cámara et al., 2013; Reina et al., 2019; Runciman et al., 2016; Yanci et al., 2014). A pesar de ello, ningún estudio ha examinado las diferencias en las variables cinéticas durante la evaluación del salto vertical comparando sólo a jugadores con espasticidad unilateral y bilateral, lo que podría precisar la función neuromuscular y la limitación en el ciclo de estiramiento-acortamiento.

Así mismo, no se ha explorado la posible relación entre la espasticidad medida con estándares clínicos en el contexto de la clasificación y parámetros de salto, que podrían ayudar a entender de mejor forma el impacto de esta deficiencia neuromusculo-esquelética de función corporal en el desempeño motor. El análisis de la relación entre la espasticidad, los parámetros cinéticos en la realización del salto vertical y la diferenciación entre grupos según la afectación topográfica podría ayudar a entender de mejor forma los perfiles de clasificación e implicaciones para el entrenamiento de jugadores con PC con diferentes grados de espasticidad.

1.3. Resúmenes de las limitaciones de conocimiento y problemas de investigación

Durante los últimos años ha existido un incremento en la prevalencia de la participación deportiva de futbolistas con PC, aumentando la visibilidad y profesionalización de la modalidad, e incluso recibiendo una alta atención desde la investigación en las ciencias del deporte (Peña-González et al., 2023). Como resultado, hoy en día existe un volumen de literatura significativo que permite vislumbrar las características de los futbolistas con PC en distintas áreas, tanto en aspectos que van desde la condición física, las demandas de la competición o diferencias de acuerdo con la clase deportiva, entre otros aspectos. Si bien el rendimiento en salto vertical se ha estudiado en diferentes áreas, existen importantes limitaciones en la literatura que abordar para comprender los alcances que tiene su evaluación, tanto como un instrumento de medición de fatiga, identificación de constructos competitivos, parámetros diferenciadores entre perfiles funcionales o el impacto que pueden tener en deficiencias elegibles.

Si bien el uso del salto vertical ha sido extensamente utilizado en el fútbol convencional como un indicador de fatiga neuromuscular (de Hoyo et al., 2016; Krstrup et al., 2010; Mohr et al., 2010; Robineau et al., 2012), su uso en población con alteraciones neurológicas no ha sido tan estudiado (Reina et al., 2018; Yanci et al., 2014, 2016), pudiendo ser relevante a la hora de considerar las deficiencias que presentan estos deportistas como un elemento diferenciador respecto a su clasificación y posición de juego. Junto con esto, su uso podría facilitar la planificación de sesiones de recuperación, cuantificación de la fatiga y carga de las sesiones atendiendo a los perfiles funcionales de los jugadores.

Por otro lado, el salto vertical puede ser utilizado mediante instrumentos de bajo coste y fácil acceso, lo cual favorece su uso como una medida para discriminar entre clases deportivas, pero también invita a explorar su utilidad como una herramienta más para identificar talentos deportivos en una condicionante física relevante para el rendimiento en fútbol. La clasificación es un factor determinante tanto para el desarrollo deportivo como para el éxito en competición, por lo que el uso del salto vertical puede ser una herramienta útil para discriminar entre constructos deportivos, proveyendo de información práctica tanto a entrenadores como clasificadores.

Sin embargo, gran parte de los estudios se han limitado a considerar únicamente la variable altura de salto (Reina et al., 2018; Yanci et al., 2014) y no se han identificado parámetros cinéticos que contribuyen al rendimiento y que

podrían ser elementos diferenciadores entre distintos tipos de deficiencias elegibles. Esta información podría generar aplicaciones prácticas a la hora de programar entrenamientos en búsqueda de la optimización del rendimiento físico y la identificación de parámetros que pueden afectar variables cinéticas específicas a cada perfil funcional.

Finalmente, dentro de los lineamientos de la clasificación de futbolistas con PC, se declara que la espasticidad tiene un impacto negativo en tareas motoras como el salto (IFCPF, 2018), si bien son limitados los estudios que abordan su análisis, quedando circunscrito a parámetros que omiten una descripción compleja del salto vertical (Gathercole et al., 2015). La descripción de parámetros de salto vertical podría ayudar a vislumbrar posibles diferencias y relaciones con deficiencias elegibles, entregando un panorama más completo respecto a lo que se conoce hoy en día. Por consiguiente, estas limitaciones en la literatura dan pie al desarrollo de estudios que faciliten el entendimiento de estos aspectos, los cuales se presentarán agrupados en esta tesis doctoral.

CAPÍTULO 2

Objetivos e Hipótesis



Fuente: IFCPF (autorizada)

2. Objetivos e Hipótesis

2.1. Objetivos

Los capítulos previos expuestos en el marco teórico describen algunas limitaciones que existen en la literatura científica respecto al uso del salto vertical en diferentes contextos y usando diversas variables en futbolistas con PC. Esta tesis doctoral compila cuatro artículos científicos donde los objetivos se exponen en función de los distintos estudios incluidos en la tesis doctoral.

2.1.1. Estudio 1

- 1) Determinar la carga percibida de partido según las clases deportivas y la posición de juego en futbolistas con PC.
- 2) Comparar la fatiga neuromuscular inducida por un partido competitivo (e.g., la variación de la capacidad de salto antes y después del partido) según las clases deportivas y las posiciones de juego en futbolistas con PC.
- 3) Explorar si la variación de rendimiento neuromuscular está asociada con la fatiga percibida y la carga de partido en futbolistas con PC.

2.1.2. Estudio 2

- 4) Comparar la capacidad de salto vertical de futbolistas con PC de diferentes niveles de competencia (internacional y nacional) y según la clasificación deportiva (FT1-FT3).

2.1.3. Estudio 3

- 5) Determinar y comparar los parámetros cinéticos durante la realización de un CMJ entre futbolistas internacionales con PC y futbolistas sin discapacidad.
- 6) Analizar las diferencias de parámetros cinéticos entre los diferentes perfiles de deficiencia que presentan los jugadores con PC (espasticidad bilateral, discinesia/ataxia, espasticidad unilateral y deficiencia mínima) y futbolistas sin discapacidad.

2.1.4. Estudio 4

- 7) Comparar los resultados del nivel de espasticidad entre la pierna menos y más afectada de acuerdo con la deficiencia de los futbolistas con PC (espasticidad bilateral vs. espasticidad unilateral).

- 8) Examinar las diferencias en las variables cinéticas del rendimiento del salto vertical entre futbolistas con PC de perfiles espásticos unilateral y bilateral con futbolistas sin discapacidad.
- 9) Determinar la asociación entre las puntuaciones clínicas de espasticidad y las variables de fuerza-tiempo durante un CMJ, considerando también los perfiles de deficiencia.

2.2. Hipótesis

Se han establecido las siguientes hipótesis de acuerdo con los objetivos presentados en cada uno de los artículos que hacen referencia la tesis doctoral. Al igual que los objetivos, las hipótesis se exponen organizadas en función de los estudios incluidos.

2.2.1. Estudio 1

- 1) La medición de la carga percibida es un elemento que se ha implementado en futbolistas con PC y en diferentes poblaciones de para-atletas con discapacidad (de Freitas et al., 2020; Henríquez, Iturricastillo, et al., 2021; Iturricastillo et al., 2018). El uso de esta herramienta será apropiado para estimar la percepción de carga interna de futbolistas con PC de acuerdo con la clase deportiva y la posición de juego posterior a un partido competitivo.
- 2) El uso del salto vertical como herramienta para evaluar la fatiga neuromuscular ha sido extensamente estudiado en población sin discapacidad y se sugiere que puede ser una herramienta para evaluar este aspecto posterior a un partido de fútbol (Carling et al., 2018; Hader et al., 2019; Oliver et al., 2008; Watkins et al., 2017). Jugadores de fútbol con PC presentan diferentes deficiencias, las cuales afectan el rendimiento físico y generan limitaciones de la actividad específicas a cada perfil. Los resultados sugerirán que el impacto de un partido de competición reducirá la capacidad de generar altura de salto vertical producto de la fatiga neuromuscular, lo cual se diferenciará respecto a la clase deportiva y la posición de juego.
- 3) Estudios en futbolistas sin discapacidad han reportado relaciones significativas entre la carga percibida posterior a partidos de fútbol e indicadores de fatiga periférica generados por una disminución de la capacidad contráctil (Rampinini et al., 2011). Se espera que los resultados vayan en línea con la literatura y se encuentren relaciones significativas

entre la fatiga percibida y la variación del rendimiento en el salto vertical posterior a un partido de fútbol para personas con PC.

2.2.2. *Estudio 2*

- 4) La altura de salto vertical ha sido descrita como una variable relevante para evaluar la condición neuromuscular, y en algunos casos se ha considerado como un elemento diferenciador de niveles competitivos en futbolistas sin discapacidad (Arnason et al., 2004; Ruiz-Ariza et al., 2015). En el fútbol para personas con PC, el uso del salto vertical se ha sugerido para estimar la capacidad neuromuscular y la diferenciación entre jugadores de diferentes clases deportivas durante el proceso de clasificación (Reina et al., 2018; Yanci et al., 2016). Se espera que el uso del salto vertical mediante la prueba SJ y CMJ permita la discriminación entre constructos de nivel competitivo, considerando además la clase deportiva de futbolistas con PC.

2.2.3. *Estudio 3*

- 5) Múltiples parámetros cinéticos medidos con plataformas de fuerza durante la realización del CMJ contribuyen al rendimiento en la altura de salto vertical (Gathercole et al., 2015), por lo que variables asociadas a la potencia de salto presentarán menores valores en comparación a futbolistas con PC.
- 6) Futbolistas con perfiles de espasticidad bilateral y problemas de coordinación presentarán menores valores de rendimiento en variables de potencia en comparación con los otros perfiles de futbolistas con PC y futbolistas sin alteraciones neurológicas.

2.2.4. *Estudio 4*

- 7) Futbolistas con PC de perfil de afectación unilateral y bilateral presentarán diferencias en los niveles de espasticidad, medidos tanto en la pierna más afectada como en la menos afectada.
- 8) Topográficamente, los futbolistas con perfil de espasticidad bilateral presentan afectación en las cuatro extremidades, pero con una mayor afectación en miembros inferiores, mientras que los perfiles de espasticidad unilateral solo presentan una afectación en un hemicuerpo mayormente (Graham et al., 2016). En ese sentido, se espera que los parámetros cinéticos de salto vertical discriminen entre perfiles de deficiencias asociados a la espasticidad en futbolistas con PC.

- 9) Estudios previos han mostrado resultados inconsistentes respecto a la relación entre la espasticidad y habilidades funcionales (Park, 2018; Ross y Engsberg, 2002). Por otro lado, Roldan et al. (2022) no encontraron una asociación significativa entre la altura del salto en CMJ y los niveles de espasticidad en extremidades inferiores. Considerando estos resultados, se esperan asociaciones bajas entre los niveles de espasticidad y los parámetros cinéticos medidos en el CMJ.

CAPÍTULO 3

Resumen de los Métodos



Fuente: FEDPC (autorizada)

3. Resumen de los Métodos

El resumen de los métodos de los diferentes estudios será presentado en esta sección de acuerdo con lo realizado en cada investigación de forma independiente. Los protocolos de los estudios 1 y 2 fueron aprobados por el comité de ética de la Universidad Santo Tomas de Santiago de Chile (ref. 63.20), mientras que para los protocolos de los estudios 3 y 4 fueron aprobados por el comité de ética de la Universidad Miguel Hernández (UMH) de Elche (ref. DPS.RRV.01.14). El proyecto de tesis doctoral fue evaluado y aprobado por la Oficina de Investigación Responsable de la UMH siendo otorgado el código ADH.DES.RRV.MHV.23.

Todos los resultados de los estudios que componen esta tesis doctoral se analizaron con el paquete estadístico *Statistical Package for Social Sciences* (versión 26, SPSS Inc., Chicago, IL, EE.UU.), y adicionalmente para los estudios 1 y 2 se utilizó el paquete estadístico *GraphPad Prism* (*GraphPad Software*, versión 8 para Windows, San Diego, CA, EE.UU.). Para los diferentes estudios reportados en esta tesis doctoral, la significación estadística se fijó en $p < 0,05$.

3.1. Estudio 1

3.1.1. Participantes

Una muestra de 56 futbolistas hombres con PC, seleccionados mediante un muestreo de conveniencia, participaron en este estudio. Todos los participantes competían en la liga chilena de fútbol PC y 15 de ellos pertenecían a la selección nacional. Los futbolistas fueron categorizados de acuerdo con su clase deportiva (FT1, FT2 o FT3) y la posición de juego regular en el campo de juego (defensa [DEF], mediocampista [MF] o delanteros [AT]). Los criterios de inclusión en el estudio fueron completar más de 50 min de juego durante los partidos competitivos y ser jugadores de campo.

3.1.2. Procedimientos

Todos los participantes pertenecían a un club de fútbol PC, los cuales compitieron en un torneo realizado en Chile. Seis partidos competitivos fueron jugados en días diferentes en un campo de las dimensiones oficiales del deporte. Los partidos se jugaron con 14 jugadores (2 porteros y 12 jugadores de campo), en un ambiente competitivo regular. Se evaluó la percepción de carga posterior a cada partido competitivo y se estimó la capacidad de salto vertical 30 min antes de cada partido y después de finalizado el encuentro.

3.1.3. Intensidad de la carga de partido

Se utilizó el esfuerzo percibido (RPE) como un método para cuantificar la carga interna de los jugadores durante los partidos, caracterizado por ser un procedimiento de bajo coste y fácil acceso, el cual ha sido usado previamente con futbolistas con PC (de Freitas et al., 2020; Henríquez, Iturricastillo, et al., 2021). Todos los participantes respondieron respecto a su RPE en una escala de 0 a 10 puntos, tras 30 min del partido oficial. Además, la carga interna del partido se calculó de la siguiente manera: [carga percibida del partido [RPE-ML] = valor RPE × tiempo de partido (min)], expresada en unidades arbitrarias (UA).

3.1.4. Capacidad neuromuscular

Para analizar la capacidad neuromuscular se utilizaron las pruebas SJ y CMJ sobre una plataforma de contacto (2.5, *DMJUMP*, Santiago, Chile) en una superficie estable (Figura 4). En el SJ, se indicó a los participantes que realizaran dos saltos verticales máximos desde una posición inicial con un ángulo de flexión de rodilla de 90° mantenido durante 2 s antes de saltar, sin ningún rebote ni contra movimiento. Con respecto al CMJ, los participantes comenzaron en posición de pie, con las manos fijas en las caderas y las rodillas completamente extendidas, manteniendo esa posición durante la ejecución del salto sin utilizar el balanceo de los brazos. Desde esa posición, todos los participantes realizaron un rápido movimiento de flexión-extensión hacia abajo hasta que el ángulo de la rodilla alcanzó los 90° aproximadamente, seguido de la realización de un esfuerzo máximo de salto vertical con las piernas totalmente extendidas y flexión plantar durante la fase de despegue y aterrizaje. Para ambas pruebas, los saltos se realizaron en dos intentos, con intervalos de descanso de 1 minuto entre ensayos, registrándose la mayor altura obtenida (cm). A los futbolistas que presentaban hemiplejía espástica y dificultad para mantener las manos en las caderas se les permitió mantener las manos a los lados del cuerpo (Yanci et al., 2016).

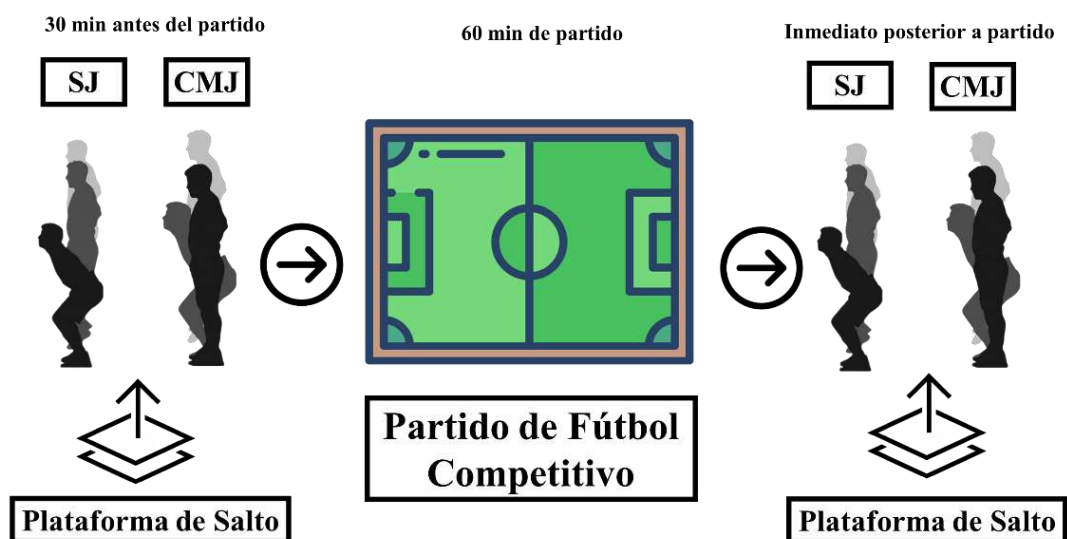


Figura 4. Procedimientos de salto vertical en plataforma de contacto previo y posterior a partido competitivo en futbolistas con parálisis cerebral. CMJ: salto con contra movimiento, SJ: salto sin contra movimiento. Nota: Elaboración propia basada en el estudio de Henríquez et al. (2022).

3.1.5. Análisis estadístico

Todos los datos fueron calculados con su media y desviación estándar. Se aplicó un modelo de análisis de la varianza (ANOVA) de medidas repetidas $2 \times 3 \times 3$, considerando las mediciones previas y posterior al partido como factor intragrupo con las clases deportivas y la posición de juego (i.e., factores intergrupos). Se realizó un análisis post-hoc de *Tukey* para examinar las diferencias de acuerdo con las clases deportivas y la posición de juego. Se usó la prueba pareada *t-student* para determinar las diferencias del salto vertical previo y posterior a cada partido. Junto con esto, se calculó la variación de rendimiento en salto vertical (Δ cm) tanto para SJ como para CMJ. Los tamaños del efecto utilizados en este estudio fueron el eta-cuadrado parcial (η_p^2), y el índice *g de Hedges'* el cual está basado en el índice de Cohen *d* (Cohen, 1988), pero reduce el riesgo de sesgo causado por analizar muestras pequeñas o subgrupos menores de 20 participantes (Hedges y Olkin, 1985). Se consideró la siguiente interpretación del tamaño del efecto: superior a 0,8, entre 0,5 y 0,8, entre 0,2 y 0,5, e inferior a 0,2 como grande, moderado, pequeño y trivial, respectivamente (Cohen, 1988). La relación entre la variación de salto vertical y variables de carga interna fueron calculadas utilizando la correlación de *Spearman*.

3.2. Estudio 2

3.2.1. Participantes

En este estudio participaron 41 futbolistas divididos por su clase deportiva, así como por su nivel competitivo de índole internacional ($n = 18$) o nacional ($n = 23$). Los criterios de inclusión fueron ser categorizado nivel 1 en la escala *Gross Motor Function Classification Scale* (Palisano et al., 2008), pertenecer a un club chileno de fútbol para personas con PC y presentar una clase deportiva de manera oficial. El nivel competitivo internacional correspondió a aquellos participantes con experiencia representando a una selección nacional en instancias internacionales (e.g., competencias regionales o mundiales), mientras que el nivel nacional involucró a participantes sin ningún tipo de experiencia competitiva internacional. Los clubes de donde provenían los participantes reportaron realizar entre 1 a 4 sesiones de entrenamiento a la semana y participación en competiciones de al menos cuatro torneos nacionales durante el año.

3.2.2. Procedimientos

Todos los sujetos participaron en el periodo competitivo entre 2019-2020, donde se realizaron pruebas de salto vertical previo a los partidos. Se realizó una familiarización de los protocolos del salto SJ y CMJ. Para determinar la altura de salto se utilizó una plataforma de salto (2.5, *DMJUMP*, Santiago, Chile).

3.2.3. Medición de la altura de salto vertical

Se realizaron los protocolos de SJ y CMJ, los cuales ya fueron detallados en el *estudio 1*, donde los participantes fueron instruidos para alcanzar la máxima altura posible. Para el análisis estadístico se consideró la mejor altura de salto registrada de dos intentos posibles. Adicionalmente, se calculó el índice de elasticidad (IE) para analizar el ciclo estiramiento-acortamiento, siendo expresado en porcentaje mediante la siguiente fórmula (Bosco y Komi, 1979; Yanci et al., 2014, 2016):

$$IE = [(CMJ - SJ) \cdot 100] / SJ$$

3.2.4. Análisis estadístico

Los resultados fueron expresados de acuerdo con la media y desviación estándar. Se utilizó un diseño multifactorial 2×3 ANOVA para comparar la altura de salto y el IE considerando el nivel competitivo y la clase deportiva. El post-hoc de *Tukey* se utilizó para determinar la comparación múltiple entre niveles de clases

deportivas. Los tamaños del efecto utilizados en este estudio fueron η_p^2 y el índice de *g* Hedges’.

3.3. Estudio 3

3.3.1. Participantes

Una muestra a conveniencia de 154 participantes varones, donde 121 fueron futbolistas con PC y 33 futbolistas sin discapacidad como grupo control (CG), participaron voluntariamente en este estudio. Los futbolistas con PC se describieron de acuerdo con los distintos perfiles de deficiencia elegibles en espasticidad bilateral (BS), deficiencias de coordinación (AA), espasticidad unilateral (US) y mínima deficiencia elegible (MI). Los jugadores del grupo de MI fueron aquellos jugadores que presentaron una mínima afectación en hipertonía, ataxia o discinesia cumpliendo con los criterios de elegibilidad para el deporte (Reina, Iturricastillo, et al., 2021). Respecto a los criterios de inclusión, el grupo de futbolistas con PC debía tener una licencia de la IFCPF y el CG un cómputo de años equivalente de experiencia en fútbol.

3.3.2. Procedimientos

Se realizó un estudio transversal para examinar las variables cinéticas del CMJ, considerando los distintos perfiles de deficiencia de los futbolistas con PC y el CG. Todos los participantes evitaron actividades físicamente demandantes antes de las mediciones y se realizó un calentamiento estandarizado antes de realizar tres CMJ con 30 s de recuperación entre cada ensayo.

3.3.3. Capacidad de salto vertical

Se solicitó a los participantes realizar la prueba CMJ sobre una plataforma de fuerzas (KistlerTM, Model 9287B, Winterthur, Switzerland), la cual registra fuerzas verticales con una frecuencia de muestreo de 1000 Hz. Se utilizó un *software* personalizado diseñado en *LabView* (versión 12.0, *National Instruments*, Texas, EE.UU.) para analizar las variables de resultado de la prueba CMJ. Las distintas fases del salto CMJ y sus respectivas curvas de fuerza y velocidad se encuentran detalladas en la Figura 5. Para las pruebas de salto, se consideró el desplazamiento máximo de la altura de salto (JH; unidades: cm), donde el mejor intento fue utilizado para posteriores análisis. El pico de potencia de salida (PPO; unidades: W/kg) se calculó como el producto de los datos de velocidad vertical y fuerza durante el CMJ. La fase excéntrica del salto se consideró cuando la velocidad

era negativa e incluyó la fase de reposo, la fase de descarga y la fase de frenado desde el inicio del movimiento hasta la velocidad cero (Cormie et al., 2009). Las variables evaluadas en la fase excéntrica fueron el pico de fuerza excéntrica (PFE; unidades: N/kg), el impulso mecánico cuantificado como la fuerza total aplicada durante la fase excéntrica y normalizada por la masa corporal (EIMP; unidades: $N \cdot s \cdot kg^{-1}$), y el tiempo hasta el pico de la fuerza excéntrica (TTPEF; unidades: s). La fase concéntrica incluye la etapa propulsiva previa al despegue, en la que la velocidad fue positiva en la curva fuerza-tiempo. El pico de fuerza concéntrica (PFC; unidades: N/kg) fue la fuerza máxima alcanzada durante la fase concéntrica donde el cambio en el desplazamiento fue positivo y vertical, también se consideró el impulso concéntrico de la fuerza neta (CIMP; unidades: $N \cdot s \cdot kg^{-1}$). Además, se tuvo en cuenta el tiempo hasta el pico de fuerza concéntrica (TTCF; unidades: s). La tasa de producción de fuerza en cada fase del salto se cuantificó utilizando la tasa máxima de desarrollo de fuerza (mRFD; unidades: N/s), que se definió como el mayor incremento de fuerza durante un periodo de 20 ms (Woodard et al., 1999). Junto con esto, también se calculó el tiempo hasta la tasa máxima de desarrollo de fuerza (TTmRFD; unidades: s) (Reina et al., 2019). El tiempo de duración total del salto (JD; unidades: s), la fase de desaceleración (DP; unidades: s), la duración de la fase excéntrica (ED; unidades: s), la duración de la fase concéntrica (CD; unidades: s), y la tasa de impulso excéntrico y concéntrico (E/C; unidades: tasa) también se registraron durante el CMJ. Todas las variables de fuerza y potencia se relativizaron por la masa corporal del participante (Cormie et al., 2009).

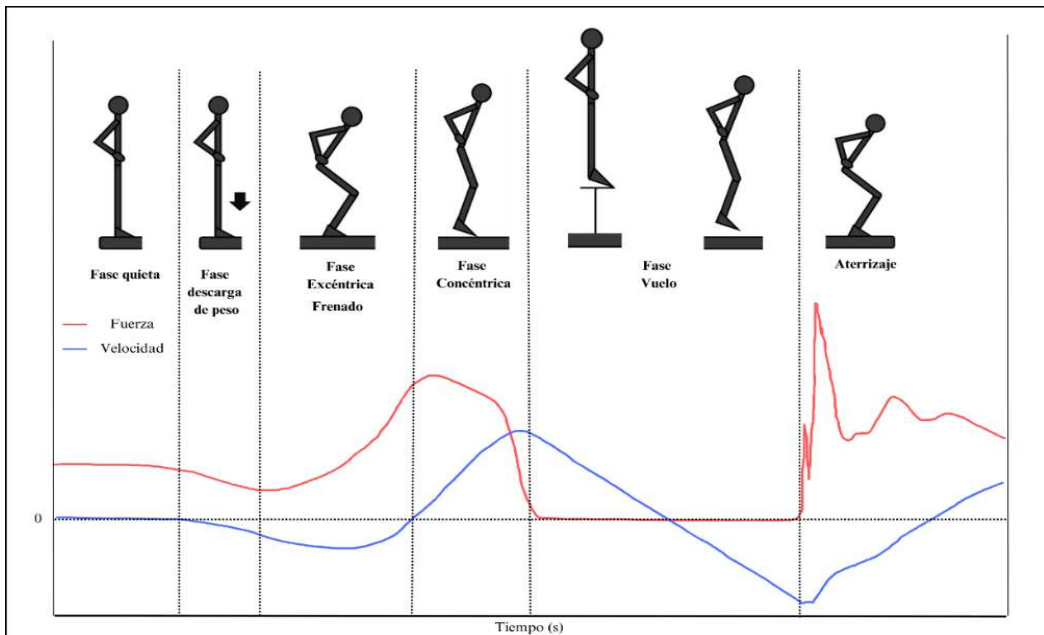


Figura 5. Fases del salto con contra movimiento (CMJ) y sus respectivas curvas fuerza y velocidad. Nota: Extraído y modificado desde Fleeton et al. (2022) y Vanegas et al. (2021).

3.3.4. Análisis estadístico

Los resultados fueron presentados con la media y desviación estándar. Se calculó el coeficiente de variación y la magnitud de las diferencias entre los grupos de futbolistas con PC y el CG con la prueba no pareada *t-test*. Las pruebas ANOVA con post hoc de *Tukey* se utilizaron para determinar las diferencias entre grupos de futbolistas con PC además del CG. Se consideró el tamaño del efecto basado en el índice *d* de *Cohen* (Cohen, 1988).

3.4. Estudio 4

3.4.1. Participantes

Participaron una muestra total de 86 participantes, de los cuales 53 fueron futbolistas de nivel internacional con PC; y 33 futbolistas sin discapacidad provenientes de diferentes clubes de fútbol amateurs de la zona sur de España, los cuales fueron reclutados para formar parte del CG. Solo futbolistas con PC con afectación de espasticidad unilateral (US) o bilateral (BS) fueron considerados en el estudio.

3.4.2. Procedimientos

Se realizó un estudio transversal para comparar y examinar la relación entre la espasticidad de las extremidades inferiores y variables cinéticas del salto vertical CMJ. Para las mediciones de espasticidad, dos fisioterapeutas con experiencia internacional en la clasificación de atletas de deportes Paralímpicos fueron los encargados de medir a los participantes previo a la realización de la prueba CMJ. Se consideró la dominancia de las extremidades como la pierna menos afectada o la pierna más afectada de acuerdo con la zona de afectación en el caso de participantes con hemiparesia espástica, o por la pierna preferida para chutar o pasar el balón durante el juego para aquellos participantes con diparesia espástica (Reina, Barbado, et al., 2021).

3.4.3. Medición de espasticidad

Las mediciones de espasticidad se realizaron con la Escala Australiana de Evaluación de la Espasticidad (ASAS), que demostró una buena fiabilidad entre evaluadores en personas con PC (Love et al., 2016). La evaluación de la espasticidad consideró el grupo principal de músculos en los movimientos articulares como flexión de rodilla (i.e., isquiotibiales) y flexión plantar de tobillo (i.e., gastrocnemio). La evaluación se realizó en ambos lados siguiendo procedimientos estandarizados

en una camilla de examen clínico y fue realizada una vez con cada jugador por los dos clasificadores para obtener una puntuación de consenso (Love et al., 2016). Se asignó 1 punto de valoración a cada músculo evaluado según el grado de resistencia generado durante el movimiento de estiramiento pasivo, donde 0 indicaba ausencia de espasticidad o atrapamiento en el movimiento pasivo-rápido; y 4 al puntaje designado cuando la parte(s) afectada(s) correspondía a un segmento de contractura rígida pero que se mueve en el movimiento pasivo-lento (Love et al., 2016). Para el análisis estadístico, los resultados de la evaluación de la espasticidad muscular se sumaron en cada articulación principal para proporcionar una puntuación total global, teniendo en cuenta que un valor más alto indica más deterioro, al igual que en procedimientos anteriores utilizados en estudios de la literatura sobre clasificación basada en la evidencia y para-deporte (Roldan et al., 2022; van der Linden et al., 2018, 2020).

3.4.4. Capacidad de salto vertical

Al igual que como está descrito en el estudio 3, las variables de rendimiento de salto fueron evaluadas mediante el CMJ en una plataforma de fuerzas (KistlerTM, Model 9287B, Winterthur, Switzerland). Las variables cinéticas recolectadas durante la fase excéntrica y concéntrica del salto fueron JH, PPO, PFE, EIMP, PFC y el CIMP. Adicionalmente, se evaluó el mRFD (unidades: $\text{N}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$), siendo todas las variables relativizadas según el peso corporal (Cormie et al., 2009).

3.4.5. Análisis estadístico

Los datos fueron reportados según su media y desviación estándar. Se utilizó una prueba de *Wilcoxon* para determinar si existían diferencias significativas entre el lado menos afectado y el más afectado en las puntuaciones ASAS. Además, se utilizó una prueba *U* de *Mann-Whitney* no pareada para comparar las puntuaciones del grupo muscular de espasticidad entre los grupos de espasticidad bilateral y unilateral. Se realizó un ANOVA de una vía con análisis post-hoc de *Tukey* para determinar cualquier diferencia significativa en la comparación entre los grupos de participantes en las variables cinéticas durante el CMJ. Para calcular el tamaño del efecto para las comparaciones entre pares, se utilizó el índice *g* de *Hedges* incluyendo sus respectivos intervalos de confianza superior e inferior (IC 95%) (Hedges y Olkin, 1985). En el caso de las variables no paramétricas, la significación práctica se evaluó calculando el η_p^2 (Cohen, 1988), cuya magnitud se interpretó como trivial, 0–0,03; pequeña, 0,03–0,039; intermedia, 0,039–0,11; y grande, >0,11 (Cohen, 1988). Adicionalmente, para la comparación de grupos independientes en variables no paramétricas se calculó la probabilidad de superioridad (*PS*) (Erceg-

Hurn y Mirosevich, 2008). Para los valores de *PS* se utilizó la siguiente interpretación cualitativa: sin diferencia entre medias ($PS = 0,00-0,50$), pequeña ($PS = 0,50-0,56$), media ($PS = 0,56-0,71$) y grande ($PS > 0,71$) (Grissom, 1994). La correlación de *Spearman* (*Rho*) fue considerada para determinar las relaciones entre las puntuaciones ASAS de espasticidad y las variables cinéticas de salto vertical. La fuerza de las asociaciones se interpretó con los siguientes criterios: $< 0,10$, trivial; $0,10-0,30$, pequeño; $0,30-0,50$, moderado; $0,50-0,70$, grande; $0,70-0,90$, muy grande; y $> 0,90$, casi perfecto (Hopkins et al., 2009).

CAPÍTULO 4

Resumen de los Resultados



Fuente: IFCPF (autorizada)

4. Resumen de los Resultados

En esta sección se presentará un resumen de los resultados de los diferentes trabajos que componen la tesis doctoral, de acuerdo con los objetivos establecidos y separados por cada estudio.

4.1. Estudio 1

4.1.1. Esfuerzo y carga de partido percibida

Las respuestas de RPE y RPE-ML de los participantes según sus clases y posiciones de juego se presentan en la Figura 6. Con respecto a las clases deportivas, las puntuaciones obtenidas fueron 376 ± 77 y $6,4 \pm 1,3$ UA para FT1, 365 ± 89 y $6,2 \pm 1,5$ UA para FT2, y 387 ± 104 y $6,4 \pm 1,7$ UA para FT3. En cuanto a las posiciones de juego, los valores observados fueron 328 ± 93 y $5,5 \pm 1,6$ UA para los defensas, $370 \pm 88,2$ y $6,3 \pm 1,5$ UA para los centrocampistas, y 390 ± 86 y $6,6 \pm 1,4$ UA para los atacantes. No se hallaron diferencias significativas en las comparaciones globales y por pares para las variables RPE y RPE-ML según los factores entre grupos ($p > 0,05$).

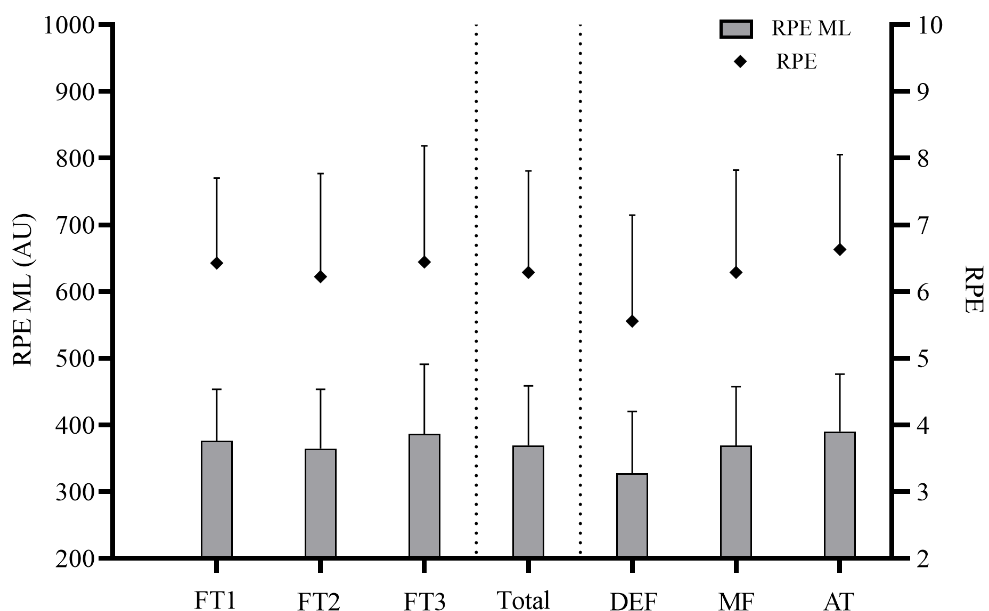


Figura 6. Carga de partido percibida (RPE-ML) y esfuerzo percibido (RPE) de los participantes según la clasificación deportiva y la posición de juego.

FT: clases deportivas de fútbol con parálisis cerebral, DEF: defensas, MF: centrocampistas, AT: atacantes.

4.1.2. Rendimiento en el salto vertical según clasificación posterior a partido competitivo

Para la muestra total, la altura de salto se redujo tras el partido de fútbol, tanto en el SJ [$\Delta = -2,71 \pm 1,55$ cm; $p < 0,01$; $\eta_p^2 = 0,88$] como en el CMJ [$\Delta = -2,81 \pm 1,87$ cm; $p < 0,01$; $\eta_p^2 = 0,48$]. No se encontraron diferencias significativas en el rendimiento de salto en la comparación entre las clases deportivas de los jugadores ($p > 0,05$) y la posición de juego ($p > 0,05$). Las Figuras 7A (SJ) y 7B (CMJ) muestran el rendimiento en salto vertical de los para-futbolistas en función de sus clases deportivas, mientras que las Figuras 8A (SJ) y 8B (CMJ) las ilustran considerando sus posiciones de juego. Con respecto a la clase deportiva, se encontró una diferencia significativa en el rendimiento entre las mediciones pre-post partido en todas las clases para el SJ (Figura 7A) en FT1 ($p < 0,01$; $d_g = 0,30$), FT2 ($p < 0,01$; $d_g = -0,42$) y FT3 ($p < 0,001$; $d_g = 0,58$), y para el CMJ (Figura 7.B) en FT1 ($p < 0,05$; $d_g = 0,31$), FT2 ($p < 0,01$; $d_g = 0,45$) y FT3 ($p < 0,01$; $d_g = 0,45$).

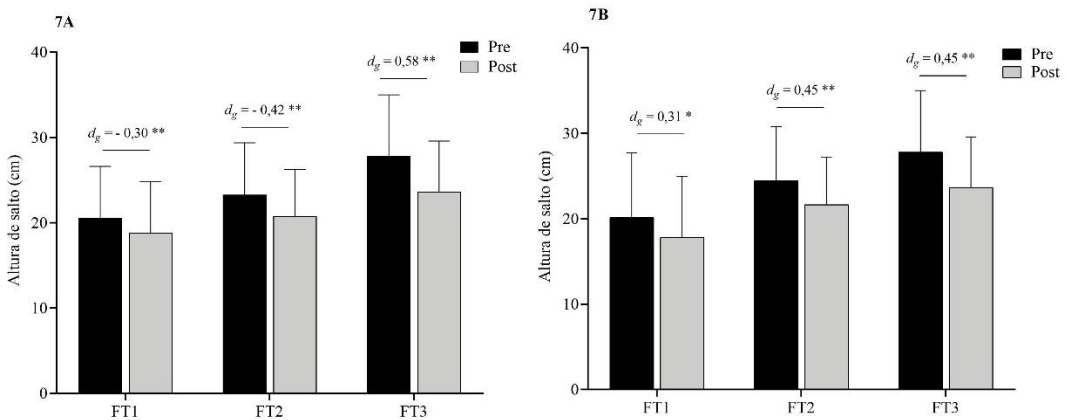


Figura 7. Rendimiento de la altura de salto vertical tras el partido de fútbol en el salto sin contra movimiento (7A) y el salto con contra movimiento (7B) entre clases deportivas. FT: clases deportivas de fútbol de parálisis cerebral, d_g : tamaño del efecto. ** ($p < 0,01$), * ($p < 0,05$) diferencia significativa entre antes y después del partido.

4.1.3. Rendimiento en el salto vertical según posición de juego

Con respecto a la posición de juego, después de los partidos se encontraron diferencias significativas para el rendimiento de SJ (Figura 8A) para DEF ($p < 0,01$; $d_g = 0,24$), MF ($p < 0,01$; $d_g = 0,47$) y AT ($p < 0,01$; $d_g = 0,42$). Estas diferencias también se encontraron para CMJ (Figura 8B) en las posiciones de juego de DEF ($p < 0,05$; $d_g = 0,22$), MF ($p < 0,01$; $d_g = 0,48$) y AT ($p < 0,01$; $d_g = 0,44$).

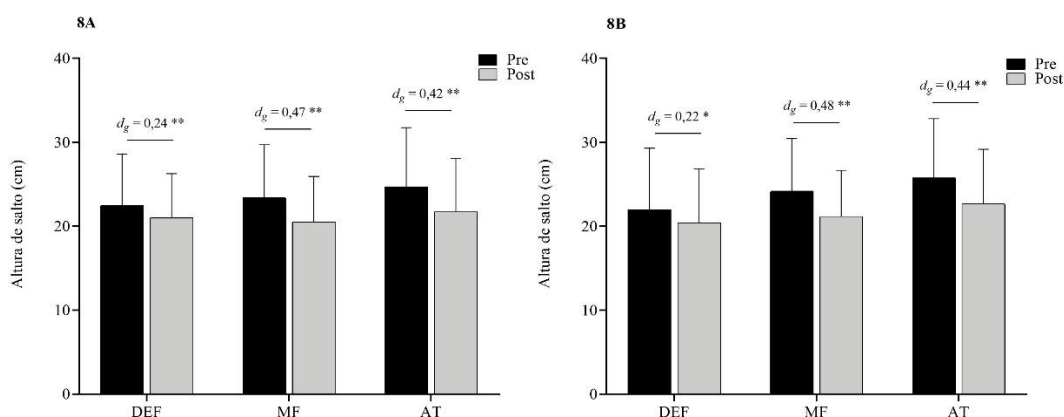


Figura 8. Rendimiento de la altura de salto vertical tras el partido de fútbol en el salto sin contra movimiento (8A) y el salto con contra movimiento (8B) según la posición de juego. DEF: defensas, MF: centrocampistas, AT: atacantes, d_g : tamaño del efecto. ** ($p < 0,01$), * ($p < 0,05$) diferencia significativa entre antes y después del partido.

4.1.4. Variación del rendimiento en el salto vertical según clasificación y posición de juego

La Tabla 1 muestra la disminución del rendimiento de salto vertical y la comparación por pares después del partido con relación a las clases deportivas y las posiciones de juego. Con respecto a las clases deportivas, se encontraron diferencias significativas para el deterioro del rendimiento en SJ ($p < 0,05$). Observando las comparaciones por pares, los jugadores con el criterio mínimo de deficiencia (FT3) obtuvieron mayores déficits durante el SJ en comparación a los jugadores pertenecientes a las clases deportivas FT1 y FT2. Después de los partidos, también se encontraron diferencias significativas para el deterioro del rendimiento en SJ, donde los defensas experimentaron el rendimiento más bajo en comparación con los centrocampistas y los atacantes.

Tabla 1. Variación del rendimiento en el salto vertical (Δ cm, evaluaciones pre vs. post partido) según clases deportivas y posiciones de juego.

	FT1	FT2	FT3	d_g comparación por pares (LCI-UCL)		
				FT1 vs FT2	FT1 vs FT3	FT2 vs FT3
Δ SJ (cm)	$-1,8 \pm 0,8$ (-9,4%)	$-2,5 \pm 1,4$ (-10,9%)	$-4,2 \pm 1,8$ (-14,7%)	0,51 (-0,45-1,57)	1,56** (0,42-2,70)	1,00** (0,02-1,99)
Δ CMJ (cm)	$-2,3 \pm 2,3$ (-12,1%)	$-2,8 \pm 1,9$ (-11,4%)	$-3,1 \pm 1,6$ (-11,0%)	0,25 (-0,55-1,06)	0,39 (-0,61-1,39)	0,16 (-0,56-0,88)
	DEF	MF	AT	DEF vs MF	DEF vs AT	MF vs AT
Δ SJ (cm)	$-1,4 \pm 1,0$ (-6,1%)	$-2,9 \pm 1,7$ (-12,4%)	$-3,0 \pm 1,3$ (-12,1%)	0,94* (0,15-1,72)	1,28* (0,41-2,14)	0,06 (-0,52-0,64)
Δ CMJ (cm)	$-1,6 \pm 2,0$ (-6,8%)	$-3,0 \pm 2,0$ (-12,3%)	$-3,1 \pm 1,4$ (-12,3%)	0,68 (-0,08-1,45)	0,91 (0,08-1,74)	0,06 (-0,53-0,64)

Δ : cambio de déficit, SJ: salto sin contra movimiento, CMJ: salto con contra movimiento, FT: clases deportivas de fútbol con parálisis cerebral, DEF: defensas, MF: centrocampistas, AT: atacantes, LCI: intervalo inferior de confianza, UCL: intervalo superior de confianza; d_g : tamaño del efecto, diferencias significativas entre clases de FT o posiciones de juego. ** $p < 0,01$, * $p < 0,05$.

4.1.5. Asociación entre la variación de salto vertical, fatiga percibida y carga de partido

Al examinar las asociaciones entre el rendimiento de variación de salto vertical con RPE y RPE-ML, se obtuvieron correlaciones altas e inversas ($p < 0,01$) entre Δ SJ y RPE ($r = -0,59$) y RPE-ML ($r = -0,58$). Se obtuvieron resultados similares entre Δ CMJ y RPE ($r = -0,75$; $p < 0,01$) y RPE-ML ($r = -0,74$; $p < 0,01$).

4.2. Estudio 2

4.2.1. Diferencias en el salto vertical de acuerdo con el nivel competitivo

Teniendo en cuenta el nivel competitivo de los jugadores, los parafutbolistas de nivel internacional tuvieron un mejor rendimiento de salto en comparación con los de nivel nacional ($p < 0,01$), tanto para el SJ [Figura 9A: (Internacional: $p < 0,01$; $d_g = 1,83$)] y CMJ [Figura 9B: (Internacional: $p < 0,01$; $d_g = 2,08$)]. Sin embargo, para el IE no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los futbolistas de nivel internacional y nacional ($p > 0,05$; $d_g = -0,14$).

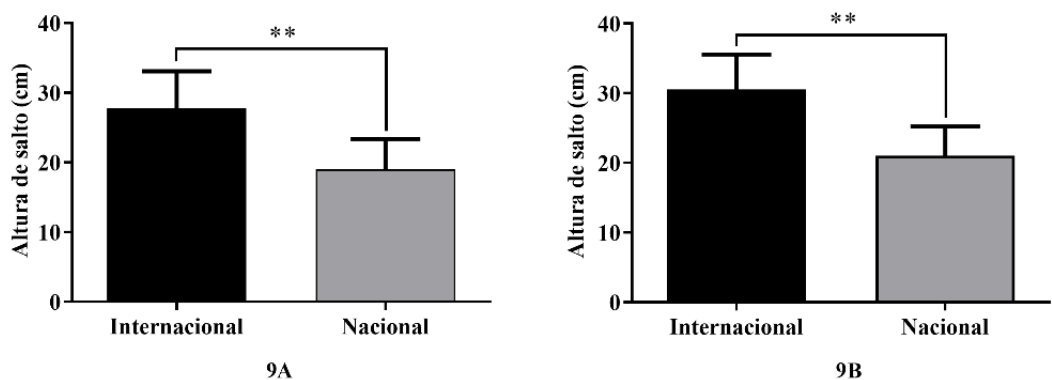


Figura 9. Rendimiento en la altura de salto vertical en el salto sin contra movimiento (9A) y el salto con contra movimiento (9B) entre niveles competitivos. ** $p < 0,01$.

4.2.2. Diferencias en el salto vertical de acuerdo con la clase deportiva

Con respecto al factor clase deportiva, se encontraron diferencias para las dos medidas de salto vertical: SJ ($p < 0,05$; $\eta_p^2 = 0,193$) y CMJ ($p < 0,05$; $\eta_p^2 = 0,175$). No se encontraron diferencias estadísticamente significativas para el IE ($p > 0,05$). En la Tabla 2, se presentan las puntuaciones individuales y las comparaciones por pares para las tres variables dependientes de este estudio. Los jugadores de la clase FT3 tuvieron un mejor rendimiento de salto en SJ y CMJ en comparación con los jugadores de la clase FT1 ($p < 0,05$).

Tabla 2. Rendimiento del salto vertical en salto sin contra movimiento y salto con contra movimiento según clases deportivas.

	Clases deportivas						Comparación por pares		
	Totalidad de la muestra	FT1 (n = 8)	FT2 (n = 25)	FT3 (n = 8)	p	η_p^2	FT1 vs FT2	FT1 vs FT3	FT2 vs FT3
SJ (cm)	22,9 ± 6,5	19,2 ± 6,0	23,1 ± 6,4	25,8 ± 6,3	< 0,05	0,193	-0,62	-1,01*	-0,42
CMJ (cm)	25,2 ± 6,6	21,7 ± 6,5	25,5 ± 6,3	27,7 ± 7,0	< 0,05	0,175	-0,60	-0,84*	-0,34
IE (%)	11,6 ± 12,5	15,6 ± 21,0	11,6 ± 10,4	7,6 ± 7,0	> 0,05	0,042	0,30	0,48	0,41

SJ: salto sin contra movimiento, CMJ: salto con contra movimiento, IE: índice elástico, FT: clases deportivas de fútbol con parálisis cerebral. * $p < 0,05$.

4.2.3. Diferencias en el salto vertical de acuerdo con el nivel competitivo y la clase deportiva

El modelo ANOVA no reveló ninguna diferencia estadísticamente significativa en los efectos de interacción del factor clase y el nivel competitivo de los jugadores ($p > 0,05$). La Figura 10 muestra los resultados de las comparaciones por pares entre los niveles internacional y nacional, considerando las clases deportivas como subgrupos individuales. En la prueba SJ se encontraron diferencias significativas para la clase FT2 (Figura 10A: $p < 0,01$; $d_g = 2,28$). Se encontraron tamaños del efecto grandes, pero sin diferencias significativas, para la comparación de FT1 ($p > 0,05$; $d_g = 1,09$) y FT3 ($p > 0,05$; $d_g = 1,42$) (Figura 10A). Con respecto al CMJ, se encontraron diferencias estadísticamente significativas para la comparación entre todas las clases deportivas con su respectivo nivel competitivo, donde el grupo internacional alcanzó una mayor altura de salto que el grupo nacional: FT1 ($p < 0,05$; $d_g = 1,92$), FT2 ($p < 0,01$; $d_g = 2,09$) y FT3 ($p < 0,05$; $d_g = 1,99$) (Figura 10B). No se encontraron diferencias estadísticamente significativas para el IE en la comparación de las clases deportivas según el nivel competitivo de los jugadores ($p > 0,05$).

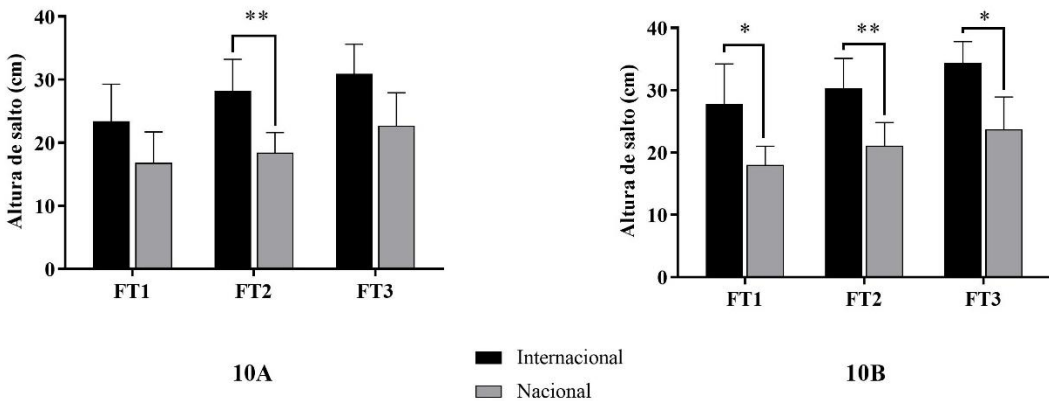


Figura 10. Rendimiento en la altura de salto vertical en el salto sin contra movimiento (10A) y el salto con contra movimiento (10B) entre clases deportivas y niveles competitivos. ** $p < 0,01$, * $p < 0,05$.

4.3. Estudio 3

4.3.1. Comparación entre el grupo de participantes con parálisis cerebral y el grupo control

La Tabla 3 presenta las diferencias en los parámetros del CMJ entre los para-futbolistas con PC y el CG, incluyendo el tamaño del efecto y el coeficiente de variación. La prueba t mostró que el rendimiento del JH en el grupo de para-futbolistas reportó valores significativamente más bajos que el CG ($p < 0,01$; $d = -1,28$). Además, el PPO ($p < 0,01$; $d = -0,84$) y el CIMP ($p < 0,01$; $d = -0,86$) también fueron significativamente más bajos en el grupo de futbolistas con PC en comparación con el CG.

4.3.2. Comparación entre perfiles de participantes con parálisis cerebral

La Tabla 4 muestra las variables de rendimiento del CMJ según los perfiles de deficiencia de los para-futbolistas. Se reportan diferencias significativas entre los perfiles funcionales en las variables de JH, PPO y CIMP ($p < 0,01$). Sin embargo, no hubo diferencias significativas en el resto de las variables ($p > 0,05$; $d = 0,00$ a $-0,38$). Con respecto a las diferencias entre grupos en los valores de las características de la curva fuerza-tiempo, el CG mostró valores más altos para las variables JH, PPO y CIMP, con tamaños del efecto de moderados a grandes ($p < 0,034$; $d = -0,77$ a $-2,61$) en comparación con los perfiles de deficiencia BS, AA y US.

La Figura 11 muestra las curvas de fuerza-tiempo para el salto CMJ, considerando los diferentes perfiles de deficiencia de los jugadores con PC y el CG. En JH, las comparaciones revelaron que el grupo BS obtuvo valores más bajos que los perfiles US y MI durante la prueba CMJ ($p < 0,05$; $d = -1,12$ a $-1,32$). Además, se encontró una diferencia significativa para la comparación entre el grupo MI y el CG ($p < 0,05$; $d = -0,82$). Con respecto a la PPO, los jugadores del grupo BS reportaron los valores más bajos, mostrando un tamaño del efecto de moderado a grande para la comparación entre BS con respecto a AA ($p > 0,05$; $d = -0,75$), US ($p > 0,05$; $d = -0,81$) y MI ($p > 0,05$; $d = -1,01$). Para la PFE, los grupos MI y CG presentaron una mayor magnitud de valores en comparación con los jugadores con afectación de ambas extremidades inferiores ($p > 0,05$; $d = -0,56$ a $-0,77$). No se obtuvieron diferencias significativas en la comparación por pares para EIMP y PFC ($p > 0,05$). Sin embargo, se encontró un tamaño del efecto moderado entre BS y MI ($p > 0,05$), BS y CG ($p > 0,05$), AA y MI ($p > 0,05$), y AA y CG ($p > 0,05$) en el EIMP. Con respecto al CIMP, los para-futbolistas del grupo MI obtuvieron los mayores valores en comparación con los grupos BS ($p < 0,05$; $d = -1,08$) y AA ($p > 0,05$; $d = -0,76$). No se registraron diferencias significativas en las comparaciones entre grupos en mRFD (p

> 0,05; $d = 0,04$ a $0,19$). Durante las fuerzas de frenado, AA y US mostraron los mayores coeficientes de variación en las variables PFE y EIMP. Además, los parafutbolistas con deficiencias de coordinación y espasticidad unilateral presentaron un mayor coeficiente de variación en la duración de la fase excéntrica durante el CMJ.

Tabla 3. Variables de rendimiento en salto con contra movimiento en el grupo de jugadores con parálisis cerebral y el grupo control.

Variables CMJ	Totalidad Muestra		Grupo PC		Grupo Control		<i>p</i>	<i>d</i>
	M ± DE	CV (%)	M ± DE	CV (%)	M ± DE	CV (%)		
JH (cm)	27,4 ± 6,40	23,4	25,8 ± 5,9	22,9	33,1 ± 4,90	14,8	< 0,01**	-1,28
JD (s)	0,99 ± 0,33	33,3	1,00 ± 0,36	36,0	0,96 ± 0,16	16,7	0,51	0,12
TTmRFD (s)	0,68 ± 0,35	51,5	0,69 ± 0,38	55,1	0,64 ± 0,21	32,8	0,40	0,14
mRFD (N/s)	8475 ± 4018	47,4	8445 ± 4161	49,3	8587 ± 3501	40,8	0,86	-0,04
PPO (W/kg)	23,35 ± 5,10	21,8	22,48 ± 4,90	21,8	26,54 ± 4,61	17,4	< 0,01**	-0,84
E/C	0,24 ± 0,08	33,3	0,24 ± 0,08	33,3	0,24 ± 0,06	25,0	0,87	0,00
Fase Excéntrica								
DP (s)	0,68 ± 0,22	32,4	0,68 ± 0,23	33,8	0,68 ± 0,14	20,6	0,86	0,00
ED (s)	0,43 ± 0,13	30,2	0,42 ± 0,13	31,0	0,45 ± 0,13	28,9	0,34	-0,23
TTPEF (s)	0,26 ± 0,09	34,6	0,26 ± 0,10	38,5	0,25 ± 0,09	36,0	0,92	0,10
PFE (N/kg)	3,60 ± 1,90	52,8	3,58 ± 2,01	56,1	3,68 ± 1,44	39,1	0,81	0,05
EIMP (N·s·kg ⁻¹)	0,76 ± 0,31	40,8	0,74 ± 0,32	43,4	0,83 ± 0,26	30,8	0,13	-0,29
Fase Concéntrica								
CD (s)	0,56 ± 0,32	57,1	0,58 ± 0,35	60,3	0,51 ± 0,13	25,5	0,28	0,22
TTCF (s)	0,82 ± 0,34	41,5	0,82 ± 0,37	45,1	0,79 ± 0,16	20,3	0,68	0,09
PFC (N/kg)	13,09 ± 2,75	21,0	13,03 ± 2,93	22,5	13,28 ± 1,96	14,8	0,66	-0,09
CIMP (N·s·kg ⁻¹)	3,06 ± 0,49	15,9	2,98 ± 0,49	16,3	3,38 ± 0,34	10,1	< 0,01**	-0,86

M: promedio, DE: desviación estándar, CV: coeficiente de variación, *d*: tamaño del efecto, JH: altura de salto, JD: duración total del salto, TTmRFD: tiempo hasta la tasa máxima de desarrollo de fuerza, mRFD: tasa máxima de desarrollo de fuerza, PPO: pico de potencia de salida, E/C: tasa de impulso excéntrico y concéntrico, DP: fase de desaceleración, ED: duración de la fase excéntrica, TTPEF: tiempo hasta el pico de la fuerza excéntrica, PFE: pico de fuerza excéntrica, EIMP: impulso mecánico durante la fase excéntrica, CD: duración de la fase concéntrica, TTCF: tiempo hasta el pico de fuerza concéntrica, PFC: pico de fuerza concéntrica, CIMP: impulso mecánico durante la fase concéntrica. Diferencias significativas en variables del salto contra movimiento entre grupo de jugadores.

** *p* < 0.01.

Tabla 4. Variables de rendimiento en salto con contra movimiento en el grupo de jugadores con parálisis cerebral considerando perfil de deficiencia.

CMJ Variables	Espasticidad Bilateral n = 10		Atetosis/Ataxia n = 16		Espasticidad Unilateral n = 77		Minima Deficiencia n = 18	
	M ± DE	CV (%)	M ± DE	CV (%)	M ± DE	CV (%)	M ± DE	CV (%)
JH (cm)	20,20 ± 4,70	23,4**	24,6 ± 6,10	24,6**	26,2 ± 5,4	20,5**†	28,5 ± 6,7	23,6**††
JD (s)	0,98 ± 0,13	13,6	0,93 ± 0,29	31,4	1,04 ± 0,42	40,2	0,93 ± 0,17	17,8
TTmRFD (s)	0,71 ± 0,15	20,9	0,63 ± 0,27	42,5	0,71 ± 0,45	62,5	0,66 ± 0,23	35,0
mRFD (N/s)	8085 ± 3605	44,6	7954 ± 2690	33,8	8546 ± 4504	52,7	8648 ± 4226	48,9
PPO (W/kg)	18,75 ± 4,63	24,7**	22,33 ± 4,63	20,7*	22,78 ± 4,95	21,7**	23,43 ± 4,46	19,0
E/C	0,25 ± 0,05	20,6	0,23 ± 0,06	25,6	0,24 ± 0,09	39,3	0,26 ± 0,06	23,1
Fase Excéntrica								
DP (s)	0,70 ± 0,09	13,0	0,67 ± 0,23	34,3	0,69 ± 0,26	37,9	0,66 ± 0,13	20,4
ED (s)	0,45 ± 0,06	14,2	0,46 ± 0,16	35,8	0,41 ± 0,14	34,8	0,42 ± 0,09	20,3
TTPEF (s)	0,28 ± 0,07	25,9	0,28 ± 0,14	48,7	0,25 ± 0,10	40,3	0,25 ± 0,10	38,3
PFE (N/kg)	2,90 ± 1,02	35,2	3,27 ± 1,77	54,3	3,63 ± 2,22	61,1	4,05 ± 1,63	40,4
EIMP (N·s·kg ⁻¹)	0,69 ± 0,22	31,6	0,66 ± 0,23	34,8	0,74 ± 0,35	47,5	0,84 ± 0,29	34,4
Fase Concéntrica								
CD (s)	0,53 ± 0,12	22,8	0,47 ± 0,18	38,8	0,62 ± 0,42	67,7	0,51 ± 0,12	23,6
TTCF (s)	0,80 ± 0,13	16,3	0,78 ± 0,30	38,9	0,85 ± 0,43	50,9	0,73 ± 0,19	26,2
PFC (N/kg)	12,33 ± 2,69	21,8	13,40 ± 3,08	23,0	13,04 ± 3,01	23,1	13,06 ± 2,77	21,2
CIMP (N·s·kg ⁻¹)	2,67 ± 0,40	14,9**	2,83 ± 0,42	14,9**	3,00 ± 0,48	16,1**	3,19 ± 0,50	15,7 [†]

CMJ: salto con contra movimiento, M: promedio, DE: desviación estándar, CV: coeficiente de variación, JH: altura de salto, JD: duración total del salto, TTmRFD: tiempo hasta la tasa máxima de desarrollo de fuerza, mRFD: tasa máxima de desarrollo de fuerza, PPO: pico de potencia de salida, E/C: tasa de impulso excéntrico y concéntrico, DP: fase de desaceleración, ED: duración de la fase excéntrica, TTPEF: tiempo hasta el pico de la fuerza excéntrica, PFE: pico de fuerza excéntrica, EIMP: impulso mecánico durante la fase excéntrica, CD: duración de la fase concéntrica, TTCF: tiempo hasta el pico de fuerza concéntrica, PFC: pico de fuerza concéntrica, CIMP: impulso mecánico durante la fase concéntrica. * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, diferencias significativas respecto al grupo control. † $p < 0,05$, †† $p < 0,01$, diferencias significativas respecto al grupo con espasticidad bilateral.

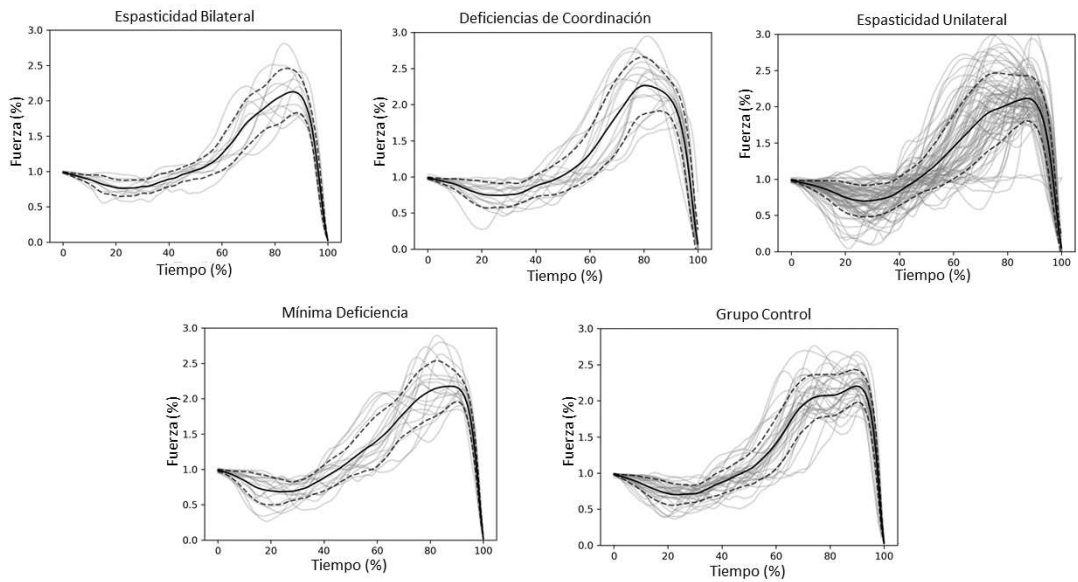


Figura 11. Curva fuerza-tiempo del salto con contra movimiento según los perfiles de deficiencia de los jugadores con parálisis cerebral y de los futbolistas sin deficiencia.

4.4. Estudio 4

4.4.1. Comparación resultados del nivel de espasticidad según grupo

Se presentaron diferencias significativas en la comparación de los niveles de espasticidad entre la pierna menos y más afectada para los grupos musculares de flexión de rodilla y flexión plantar del tobillo en el grupo BS ($p < 0,01$; $\eta_p^2 = 0,36$ a $0,38$) y US ($p < 0,01$; $\eta_p^2 = 0,19$ a $0,20$). Además, se registraron diferencias significativas al comparar la puntuación total combinada de espasticidad entre la pierna menos afectada y la más afectada en el grupo BS ($p < 0,05$; $\eta_p^2 = 0,36$) y US ($p < 0,01$; $\eta_p^2 = 0,18$). Considerando el grupo de para-futbolistas en su conjunto, se obtuvieron puntuaciones de espasticidad más altas para la flexión de rodilla ($p < 0,01$; $\eta_p^2 = 0,18$), la flexión plantar de tobillo ($p < 0,01$; $\eta_p^2 = 0,17$) y la puntuación total combinada ($p < 0,01$; $\eta_p^2 = 0,17$) de los grupos musculares implicados en el lado más afectado del cuerpo. La puntuación total combinada, resultante de la suma de las evaluaciones de los grupos musculares individuales, mostró que los para-futbolistas con BS mostraron una mayor puntuación total en flexión de rodilla ($p < 0,01$; $PS = 0,80$) flexión de tobillo ($p < 0,01$; $PS = 0,94$) y puntuación total ($p < 0,01$; $PS = 0,96$) en comparación con los jugadores del grupo US.

4.4.2. Comparación de los parámetros de salto según grupo

La Tabla 5 presenta la comparación de los parámetros de salto vertical según los grupos de participantes con PC y el CG. El análisis de comparación por pares mostró diferencias significativas en el JH entre BS versus US, BS versus CG, y US versus CG ($p < 0,01$; $d_g = -0,69$ a $-1,96$). Además, se mostró la misma tendencia en las variables PPO y CIMP entre BS frente a CG ($p < 0,01$; $d_g = -1,28$ a $-1,32$) y US frente a CG ($p < 0,01$; $d_g = -0,76$ a $-0,78$). Sólo el grupo BS presentó valores más altos en el mRFD en comparación con el CG ($p < 0,04$; $d_g = 0,84$). Además, no se encontraron diferencias significativas en la comparación entre BS y US para las variables PPO ($p > 0,05$; $d_g = -0,50$) y mRFD ($p > 0,05$; $d_g = 0,57$). No se presentaron diferencias significativas entre los grupos en las variables PFE, EIMP, PFC.

Tabla 5. Valores de las variables de estudio en promedio y desviación estándar para el salto con contra movimiento en todos los participantes de acuerdo con las características de cada grupo.

Variables	Comparación por pares (LCI–UCI)						
	BS (n = 14)	US (n = 39)	Total PC (n = 53)	CG (n = 33)	BS-US	BS-CG	US-CG
	M ± DE	M ± DE	M ± DE	M ± DE	d_g	d_g	d
JH (cm)	22,6 ± 6,1	26,6 ± 5,6	25,5 ± 5,9	33,1 ± 4,9	-0,69* (-1,31 to -0,06)	-1,96** (-2,70 to -1,22)	-1,23** (-1,72 to -0,71)
PPO (W/kg)	20,6 ± 4,3	22,9 ± 4,6	22,3 ± 4,6	26,5 ± 4,6	-0,50 (-1,12 to 0,12)	-1,28** (-1,96 to -0,61)	-0,78** (-1,25 to -0,29)
mRFD (N·kg ⁻¹ ·s ⁻¹)	152,4 ± 63,2	118,81 ± 56,1	127,7 ± 59,4	111,3 ± 40,6	0,57 (-0,05 to 1,19)	0,84* (0,19 to 1,49)	0,15 (-0,31 to 0,61)
PFE (N/kg)	3,5 ± 2,0	4,0 ± 2,3	3,9 ± 2,2	3,7 ± 1,4	-0,22 (-0,83 to 0,39)	-0,12 (-0,75 to 0,50)	0,15 (-0,31 to 0,62)
EIMP (N·s·kg ⁻¹)	0,74 ± 0,33	0,79 ± 0,35	0,77 ± 0,34	0,83 ± 0,26	-0,14 (-0,75 to 0,47)	-0,31 (-0,94 to 0,31)	-0,13 (-0,59 to 0,34)
PFC (N/kg)	13,5 ± 2,7	12,9 ± 2,9	13,0 ± 2,8	13,3 ± 2,0	0,21 (-0,40 to 0,82)	0,09 (-0,54 to 0,71)	-0,16 (-0,62 to 0,31)
CIMP (N·s·kg ⁻¹)	2,82 ± 0,56	3,06 ± 0,48	2,99 ± 0,51	3,38 ± 0,34	-0,47 (-1,09 to 0,15)	-1,32** (-2,00 to -0,64)	-0,76** (-1,23 to -0,27)

BS: espasticidad bilateral, US: espasticidad unilateral, CG: grupo control, PC: parálisis cerebral, M: promedio, DE: desviación estándar, JH: altura de salto, mRFD: tasa máxima de desarrollo de fuerza, PPO: pico de potencia de salida, PFE: pico de fuerza excéntrica, EIMP: impulso mecánico durante la fase excéntrica, PFC: pico de fuerza concéntrica, CIMP: impulso mecánico durante la fase concéntrica, d : tamaño del efecto, d_g : g índice tamaño del efecto, LCI: intervalo inferior de confianza, UCI: intervalo superior de confianza, diferencias significativas entre grupos: ** $p < 0,01$ y * $p < 0,05$.

4.4.3. Relación entre los parámetros de salto y el nivel de espasticidad

En cuanto a la asociación entre las variables de salto y la evaluación de la espasticidad en el grupo conjunto de futbolistas con PC ($n = 53$), la Figura 12 muestra una asociación significativa entre la JH con la puntuación total de espasticidad en el lado menos afectado (12A), la puntuación total de la articulación del tobillo (12B) y el puntaje total combinado (12C) ($Rho = -0,27$ a $-0,28$; $p < 0,05$).

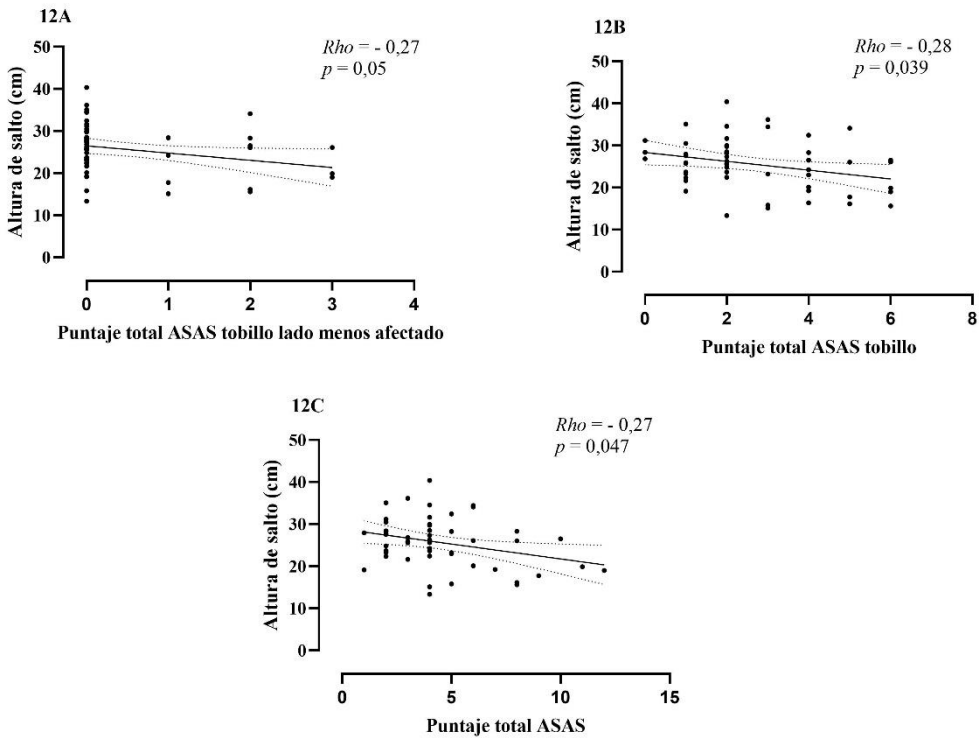


Figura 12. Asociación entre la altura de salto y la puntuación total de la escala australiana de evaluación de la espasticidad (ASAS) del lado menos afectado (12A), con el puntaje total ASAS en el grupo muscular asociado a flexión plantar del tobillo (12B) y con el puntaje total de espasticidad (12C) con intervalos de confianza del 95% para todos los participantes del grupo con parálisis cerebral.

Adicionalmente, se encontraron correlaciones entre el mRFD con la puntuación total combinada de la extremidad más afectada (13A), con la puntuación del tobillo más afectado (13B), con la puntuación total combinada del tobillo (13C), y con la puntuación total de espasticidad (13D) ($Rho = 0,28$ a $0,33$, $p < 0,05$). No se registró ninguna asociación significativa en el resto de las variables, según las puntuaciones de espasticidad y los diferentes parámetros de salto vertical ($p > 0,05$).

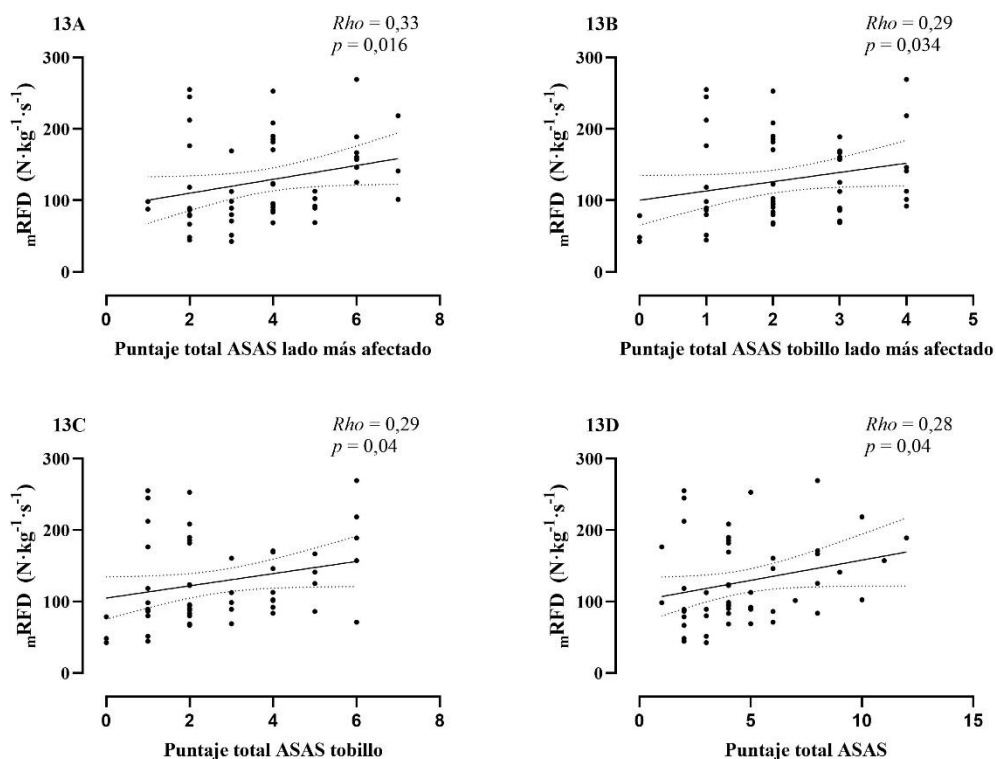


Figura 13. Asociación entre la tasa máxima de desarrollo de fuerza (mRFD) y la puntuación total de la escala australiana de evaluación de la espasticidad (ASAS) del lado más afectado (13A), con el puntaje total ASAS en el grupo muscular asociado a flexión plantar del tobillo del lado más afectado (13B), con el puntaje total de espasticidad en el tobillo (13C) y con el puntaje total ASAS (13D) con intervalos de confianza del 95% para todos los participantes del grupo con parálisis cerebral.

CAPÍTULO 5

Resumen de las Discusiones



Fuente: IFCPF (autorizada)

5. Resumen de las Discusiones

Las discusiones de los principales resultados se abordarán en base a los cuatro estudios que componen esta tesis doctoral.

5.1. Estudio 1

Los principales resultados fueron: 1) no se obtuvieron diferencias para RPE-ML y RPE entre las clases deportivas y la posición de juego; 2) los para-futbolistas presentaron disminuciones significativas en el rendimiento en SJ y CMJ en todas las clases deportivas y posiciones de juego tras un partido competitivo de fútbol PC, lo que evidencia un rendimiento neuromuscular alterado que afecta a la capacidad de salto; 3) durante el SJ, los jugadores de la clase FT3 presentaron un mayor deterioro en el salto en comparación a jugadores FT1 y FT2 tras el partido; por otro lado, los MF y AT presentaron un mayor deterioro en el salto que los DEF; y 4) se encontraron asociaciones significativas entre las disminuciones en el test de salto vertical y el RPE y RPE-ML.

Los presentes resultados no mostraron diferencias significativas entre clases deportivas en el RPE-ML y el RPE. En este sentido, Henríquez et al. (2021) no encontraron diferencias entre futbolistas con PC de diferentes clases deportivas tanto en el RPE y la frecuencia cardiaca tras la realización de dos partidos de fútbol reducido y un partido de simulación. Contrariamente a los resultados obtenidos, estudios anteriores observaron diferencias en la carga externa de las clases deportivas de los jugadores durante partidos internacionales, mostrando la influencia de los perfiles de deficiencia en los parámetros de respuesta física (Reina et al., 2020; Yanci et al., 2018). Estos resultados muestran que, posiblemente debido a las diferencias funcionales, las clases deportivas de jugadores con más afectación, a pesar de tener una respuesta física menor que los perfiles más funcionales, tienen un esfuerzo percibido similar.

Con respecto a las posiciones de juego, no se encontraron diferencias en las variables de carga percibida en el partido de competición. Estos resultados son coherentes con los hallazgos en estudios anteriores durante partidos con futbolistas profesionales sin discapacidad (Castillo y Raya-González, 2018; Conde et al., 2018). No obstante, en el análisis deben tenerse en cuenta las particularidades específicas del para-deporte que nos ocupa, en el que las posiciones de juego no están totalmente delimitadas, no existe la regla del fuera de juego, hay un menor número de jugadores (7 por equipo) y se juega en un campo de menor tamaño en

comparación al fútbol regular, factores que podrían influir en las estrategias tácticas y en la carga de esfuerzo percibida durante los partidos (Yanci et al., 2018, 2019).

Aunque el presente estudio no encuentra diferencias en el RPE y el ML según las clases deportivas y las posiciones en el juego, el uso de estos métodos podría ser útil en un entorno práctico para realizar una monitorización individual después del partido, teniendo en cuenta las características específicas del fútbol PC. Tras un partido competitivo de fútbol PC, los resultados globales indicaron una disminución del rendimiento del salto vertical en ambas pruebas realizadas. De forma similar a estos resultados, también se demostró una disminución del rendimiento del salto vertical tras partidos de fútbol con futbolistas sin discapacidad (Brownstein et al., 2017; de Hoyo et al., 2016; Mohr et al., 2010; Robineau et al., 2012) y en un grupo de para-futbolistas amputados (Simim et al., 2017). Las exigencias competitivas de los partidos de fútbol PC requieren actividades de alta intensidad que implican acciones de corta duración por parte de los jugadores, que presentan deficiencias específicas relacionadas con sus afecciones neurológicas (Yanci et al., 2018, 2019). Estas altas demandas neuromusculares y la necesidad de mantener un ritmo de trabajo durante el tiempo de competición en una actividad intermitente podrían ser una de las causas del desarrollo de la fatiga neuromuscular (Reilly et al., 2008).

Con respecto a la comparación por pares, los jugadores FT3 presentaron una reducción más marcada en el rendimiento SJ después de los partidos que sus homólogos FT2 y FT1. Los jugadores con el criterio de mínimo de deficiencia (FT3) se describen como los que mejor rinden en actividades de muy alta intensidad y muestran un mejor rendimiento motor en comparación con las otras clases deportivas (Reina et al., 2018, 2020). Teniendo en cuenta que sólo un jugador FT3 por equipo puede jugar al mismo tiempo y que éste es el perfil con mayor funcionalidad (Peña-González et al., 2023), estos jugadores pueden tener mayores requerimientos físicos durante el partido, factor que produciría más daño muscular y fatiga, afectando a su capacidad de producción de fuerza post-partido (de Hoyo et al., 2016). Sin embargo, en cuanto al CMJ, no se obtuvieron diferencias significativas entre las clases deportivas. Reina et al. (2018) encontraron que los saltos horizontales presentaban más diferencias entre las clases deportivas en comparación al salto vertical, basándose en las demandas específicas de cada salto (i.e., mayores demandas de coordinación y equilibrio). Las diferencias no significativas entre clases deportivas en el CMJ podrían reflejar una respuesta individual específica de la discapacidad a las demandas del partido, donde la generación de fuerza concéntrica se vio más afectada y reflejada durante el rendimiento en SJ (Oliver et al., 2008; Rodacki et al., 2002). Además, según Van

Hooren y Zolotarjova (2017), los individuos con una función de coordinación alterada o una capacidad inadecuada en los tiempos de activación muscular podrían tener un peor rendimiento en el SJ; sin embargo, podrían realizar un CMJ relativamente bien debido a la capacidad para reutilizar la energía elástica durante el contra movimiento. Por lo tanto, es plausible sugerir que, para el SJ, la disminución de altura fue más marcada según las diferentes clases, aunque el impacto de la fatiga expresado en el rendimiento del CMJ tuvo una influencia similar en todos los perfiles de fútbol PC.

Para el SJ, al comparar las posiciones de juego, se registró un deterioro significativo menor en los defensas a diferencia de los centrocampistas y atacantes. A este respecto, Mohr et al. (2003) demostraron que futbolistas sin discapacidad con un rol de centrocampistas y atacantes realizaban más actividades de alta intensidad que los defensores, y experimentaban más fatiga hacia el final de los partidos, independientemente de la posición de juego. Del mismo modo, estudios anteriores han demostrado que, durante partidos profesionales, los defensas centrales recorren una distancia menor a diferentes intensidades en comparación con otras posiciones de juego (Bradley et al., 2009; Di Salvo et al., 2007). Lamentablemente, en el caso de los jugadores con PC, hasta donde saben los autores, ningún estudio ha analizado si la carga del partido es diferente para los jugadores en función de la posición de juego. Es necesario interpretar con cautela los hallazgos de este estudio debido al diferente rendimiento funcional basado en el perfil de discapacidad en el caso de los para-futbolistas con PC y teniendo en cuenta las particularidades técnico-tácticas de este deporte, que pueden diferir del fútbol regular.

La relación hallada entre el deterioro del salto y los parámetros de carga percibida indica que los jugadores con menor esfuerzo percibido durante el partido presentaron menores reducciones en la altura del salto vertical. Rampinini et al. (2011) constataron relaciones significativas entre el RPE reportado por jugadores e indicadores de fatiga periférica relacionados con una capacidad contráctil muscular reducida. Al parecer, aquellos jugadores con valores de RPE o RPE-ML más elevados presentarían una mayor fatiga neuromuscular, representada por un deterioro del salto vertical tras un partido de competición. Por tanto, desde el punto de vista del entrenamiento, podría ser relevante para los entrenadores implementar protocolos de entrenamiento orientados a la obtención de una condición física superior para promover una reducción del esfuerzo percibido del partido, sin una reducción de los requerimientos físicos y, en consecuencia, producir una menor fatiga neuromuscular (Barte et al., 2017; Los Arcos et al., 2014).

5.2. Estudio 2

En general, los jugadores con un nivel de desempeño internacional exhibieron un mayor rendimiento de salto en comparación a los jugadores de nivel nacional, y estas diferencias son consistentes en las tres clases deportivas (i.e., FT1, FT2 y FT3). Por lo tanto, la evaluación del salto vertical puede ofrecer una visión de la capacidad anaeróbica para diferenciar a jugadores de diferentes niveles competitivos en sus respectivas clases deportivas (Reina et al., 2018; Yanci et al., 2016). Los resultados concuerdan con los reportados por diferentes investigadores con futbolistas sin discapacidades de la liga profesional islandesa (Arnason et al., 2004), futbolistas juveniles españoles (Ruiz-Ariza et al., 2015), la selección nacional iraquí sub-23 (Rumpf y Rodríguez, 2018), futbolistas italianos sub-15 (Trecroci et al., 2018) o equipos de fútbol profesional de élite griegos (Kalapotharakos et al., 2006), quienes sugieren que el rendimiento en el salto vertical es dependiente del nivel competitivo. No obstante, también existen evidencias contrarias que sugieren que no existen diferencias entre la altura de salto y el nivel competitivo de futbolistas sin discapacidades que demostraron un rendimiento homogéneo en esta variable (Ayarra et al., 2018; Castagna y Castellini, 2013; Cometti et al., 2001; Haugen et al., 2013; Mujika et al., 2009; Rampinini et al., 2007). En este sentido, Castagna y Castellini (2013) describieron las dificultades para explicar las diferencias entre niveles competitivos debido a que distintos factores, como el estado de entrenamiento o factores genéticos, provocarían variaciones en los resultados del salto vertical.

Más concretamente, el grupo de nivel internacional de este estudio obtuvo valores de altura de salto superiores a los obtenidos por Yanci et al. (2014, 2016), quienes estudiaron el SJ y el CMJ en para-futbolistas internacionales españoles con PC. Por el contrario, los resultados del presente grupo de nivel internacional fueron inferiores en comparación con las puntuaciones obtenidas por Reina et al. (2020) en el CMJ durante un torneo de nivel mundial. Razones generales y específicas del deporte explicarían estas diferencias. Por un lado, habría que tener en cuenta algunos factores contextuales relacionados con la discapacidad de los jugadores (e.g., acceso a la atención sanitaria, oportunidades de entrenamiento, recursos económicos), que podrían limitar el desarrollo del máximo rendimiento físico y fisiológico (Driscoll et al., 2013; Rumpf y Rodríguez, 2018). Adicionalmente, la pertenencia a un equipo nacional que conlleva experiencias competitivas internacionales provocaría un mejor desarrollo del rendimiento deportivo específico (Peña-González, Sarabia, et al., 2021). En esta línea, Wisløff et al. (2004) encontraron una fuerte asociación entre la fuerza máxima de miembros inferiores, la capacidad de sprint y el rendimiento de salto vertical en futbolistas de élite sin

discapacidad, evidenciando las relaciones entre parámetros que tienen una contribución crítica en el rendimiento deportivo específico. Además, estudios previos también mostraron una relación entre la altura del salto vertical con el tiempo de sprint (López-Segovia et al., 2011) y la velocidad máxima de chute (Rodríguez-Lorenzo et al., 2016) realizada por jugadores de fútbol sin discapacidades, reforzando la idea de que estas pruebas podrían ser apropiadas para evaluar componentes neuromusculares implicados en realizar habilidades motoras requeridas en el fútbol y destacarse como un aspecto a considerar en la selección de talentos.

Las diferencias entre los para-futbolistas de nivel internacional frente a los de nivel nacional fueron consistentes en las tres clases deportivas, aunque se encontraron diferencias significativas desiguales entre grupos, tanto para las pruebas SJ como CMJ. En particular, los para-futbolistas de la clase FT3 alcanzaron un rendimiento superior a los jugadores FT1. Por el contrario, no hubo diferencias significativas entre jugadores FT2 y FT3, ni entre jugadores FT1 y FT2. A pesar de las tendencias generales encontradas en este estudio, donde jugadores FT3 presentaron mayores valores que FT2, que a su vez fueron mejores que FT1, la falta de diferencias estadísticamente significativas en algunas de las comparaciones por pares podría explicarse por la sobrerrepresentación de jugadores con perfil de espasticidad unilateral, el grupo más común en este para-deporte de equipo (Reina et al., 2020). En esta línea, Runciman et al. (2016) informaron que seis para atletas con espasticidad unilateral, evaluados con un protocolo de fatiga mediante pruebas de salto vertical considerando sus extremidades afectadas y no afectadas, utilizaron mecanismos de compensación para contrarrestar los déficits relacionados con las asimetrías en el nivel de fuerza muscular; es decir, una mayor contribución para el rendimiento de salto por parte de la pierna no afectada. Por lo tanto, es plausible proponer que las mediciones de SJ y CMJ podrían ser más apropiadas para analizar la capacidad neuromuscular y el seguimiento del entrenamiento de los para-futbolistas con PC que para los procedimientos de clasificación (Reina et al., 2018), ya que los para-atletas afectados por espasticidad, discinesia o ataxia presentan una limitación que afecta específicamente a la capacidad de salto, considerando la respectiva condición neurológica o perfil funcional.

Además, con respecto a las clases deportivas, se encontraron diferencias significativas según el nivel competitivo en CMJ entre jugadores FT1, FT2 y FT3, y en SJ solo para FT2. La alteración en la producción de fuerza y el déficit funcional es una consecuencia característica de la estructura muscular espástica alterada (Mathewson y Lieber, 2015), que en el caso de la ejecución del salto podría acentuar las diferencias entre el SJ y el CMJ expresadas en el cálculo del IE (Bobbert y Casius,

2005). Sin embargo, son necesarias más investigaciones para explorar las características neuromusculares al realizar un salto vertical por futbolistas con PC, debido a la falta de diferencias significativas entre los dos factores entre grupos con respecto al IE. Desde una perspectiva práctica, los entrenadores podrían considerar la evaluación del rendimiento del salto vertical para identificar a los futbolistas con PC con mayores niveles de capacidad neuromuscular como un parámetro de potencia muscular en consideración con las clases deportivas del jugador. Además, la capacidad de salto vertical es sólo un parámetro para considerar en la identificación de talentos, donde múltiples factores son determinantes para el rendimiento futbolístico, incluyendo las habilidades técnicas y tácticas, factores antropométricos y psicológicos, limitaciones ambientales, entre otros parámetros (Sarmiento et al., 2018).

5.3. Estudio 3

Este estudio mostró que la producción de potencia en las variables concéntricas asociadas a las capacidades de fuerza y velocidad de los miembros inferiores discriminan entre futbolistas con PC y futbolistas sin deficiencias (i.e., las variables JH, PPO y CIMP). En cuanto a las diferencias entre los perfiles de afectación, las alturas alcanzadas durante el salto, los valores de potencia máxima y el impulso neto fueron significativamente inferiores en aquellos para futbolistas con ambas piernas afectadas.

Las diferencias en el rendimiento evaluado a través de la JH entre futbolistas con PC y el CG podrían explicarse por el hecho de que esta variable se ve afectada principalmente por el impulso vertical neto durante la fase concéntrica, permitiendo un desplazamiento de la masa corporal a mayor velocidad (Kirby et al., 2011; McMahan et al., 2017). Los resultados de este estudio concuerdan con el estudio de Yanci et al. (2016) con un grupo de para-futbolistas españoles que presentaron una potencia pico inferior en comparación con jugadores amateurs y de élite sin deficiencias. Además, Fleeton et al. (2022) informaron de una relación significativa entre la altura alcanzada y el impulso relativo concéntrico en atletas con PC, apoyando la relevancia de esta variable para el rendimiento general en el CMJ. Así, las diferencias de rendimiento entre los subgrupos de para-futbolistas podrían atribuirse a las características físicas y fisiológicas presentadas en la población con PC que repercuten en la realización de actividades funcionales (Hussain et al., 2014; Rose y McGill, 2005; Stackhouse et al., 2005), así como un menor tamaño muscular (O'Brien et al., 2021). Los valores actuales de RFD y las variables relacionadas con la fase excéntrica no mostraron diferencias significativas,

lo que sugiere que este parámetro no discriminó entre el grupo PC y el CG. Los resultados indican que los futbolistas sin discapacidad alcanzaron una mayor JH, principalmente produciendo un mayor impulso concéntrico, independientemente de la variable RFD.

En cuanto a las variables cinéticas de la prueba CMJ entre los perfiles de jugadores, los resultados sugieren que PPO, PFE, EIMP y CIMP pueden representar factores clave que diferencian a los grupos y que influyen notablemente en el rendimiento, principalmente cuando se compara MI con CG. Además, el rendimiento en altura de salto mostró diferencias entre los perfiles de los jugadores, lo cual es similar a lo reportado en un estudio previo con futbolistas con PC y diferentes perfiles de deficiencia (Reina et al., 2018). Coincidiendo con estos resultados, Antunes et al. (2017) reportaron que para-atletas con PC y perfiles de BS y AA presentaron los menores valores de rendimiento de JH durante los saltos verticales. Aquellos jugadores con un perfil de mayor compromiso motor, como BS, mostraron la puntuación más baja en el rendimiento de JH en comparación a los grupos más funcionales (i.e., US y MI), probablemente debido a diferencias en la producción de potencia muscular y el impulso concéntrico vertical. Los jugadores con BS o diplejía espástica presentan características clínicas asociadas a trastornos motores más pronunciados en ambos miembros inferiores (Graham et al., 2016), limitaciones en el rango de movimiento de la dorsiflexión del tobillo con pérdida variable de la longitud de los isquiotibiales (Kilgour et al., 2005), presencia de espasticidad como el trastorno motor dominante más frecuente (Rethlefsen et al., 2010), y deterioro de la fuerza muscular atribuible a déficits en la activación voluntaria asociados a limitaciones en los parámetros motores gruesos (Jonsson et al., 2019; Ross y Engsborg, 2002). Estos factores probablemente podrían afectar a la menor producción de potencia durante el salto, que depende de la velocidad y limita la capacidad contráctil voluntaria de producción de fuerza muscular explosiva (Earp et al., 2011; González-Badillo y Marques, 2010).

En este estudio, los participantes con deficiencias de AA (ataxia o atetosis) presentaron una tendencia de diferencia con tamaño del efecto moderado en cuanto a las variables de JH (frente a BS y MI), PPO (frente a BS y CG), impulso excéntrico (frente a MI y CG) e impulso concéntrico (frente a MI). Los jugadores con AA se caracterizan por presentar dificultades del control muscular voluntario, alterado por la ataxia o las contracciones involuntarias debido a la atetosis, comprometiendo la secuenciación muscular ordenada, problemas en la realización de movimientos con fuerza, ritmo y precisión, que impactan en las habilidades específicas del fútbol (Reina, Iturricastillo, et al., 2021). Posiblemente, estas deficiencias en la coordinación influyen en el movimiento descendente requerido

durante la fase de salto excéntrico, donde los cambios mecánicos en la técnica contribuyen al rendimiento del CMJ. La prueba CMJ requiere de la capacidad de transferir eficazmente el ciclo de estiramiento-acortamiento, incrementando los parámetros de fuerza-velocidad excéntrica y traduciendo el impulso a fuerza concéntrica, que implican complejas interacciones de multi articulaciones, músculo-tendinosas y factores neuromusculares que contribuyen al rendimiento (Cormie et al., 2011; Thomas et al., 2015). Las contracciones involuntarias sostenidas o intermitentes, los temblores y la disimetría, entre otros trastornos hipercinéticos del movimiento que se presentan comúnmente en futbolistas con perfiles de PC, pueden influir también en el momento de transferencia entre las fases del salto y en la contribución de la producción del impulso (Sanger et al., 2010).

Al comparar los grupos de jugadores con los participantes que presentaban un perfil de hemiparesia espástica, sólo se encontraron diferencias significativas y considerables tamaños del efecto con el grupo BS y CG en las variables JH, PPO y la magnitud del impulso vertical concéntrico durante el salto. Hussain et al. (2014) analizaron los factores neuromusculares que contribuyen a la debilidad muscular en contracciones isométricas de 11 deportistas activos con hemiparesia espástica, demostrando que la extremidad parética presentaba una activación neural alterada en conjunto con diferencias en el área anatómica transversal del gastrocnemio. La contribución esencial de los factores neuromusculares y de las capacidades del ciclo estiramiento-acortamiento como determinantes del rendimiento del salto vertical es bien conocida, y cabría esperar que estas características también influyen en los parámetros de rendimiento del salto vertical. Sin embargo, en el caso de los paratletas con PC, aun teniendo deteriorados los componentes de estos determinantes, un mayor bagaje de entrenamiento podría proporcionar mayores adaptaciones, mejorando así la capacidad física (McMahon et al., 2018; Runciman et al., 2016).

Los jugadores con MI mostraron diferencias de magnitud y tamaño del efecto de moderados a grandes en comparación con BS y AA en variables relacionadas con JH, producción de potencia y parámetros de fuerza/velocidad durante ambas fases del salto vertical. Los resultados de salto podrían estar relacionados debido a las características de este grupo, donde se incluyen manifestaciones leves de jugadores con espasticidad bilateral, deficiencias coordinativas y espasticidad unilateral, caracterizadas por la presencia de los criterios mínimos de deficiencia y una alta funcionalidad (Peña-González, Roldan, et al., 2021). El grupo MI sólo presentó diferencias significativas en la altura alcanzada durante el salto vertical; sin embargo, en el resto de las variables, sólo se

encontró un tamaño del efecto moderado en el parámetro relacionado con la potencia. Este grupo presenta característicamente un impacto mínimo de las consecuencias neurológicas producidas por la PC en la limitación de la actividad, por lo que podría parecer que los valores obtenidos se aproximaban a los obtenidos por los jugadores sin deficiencia, sugiriendo posibles adaptaciones debidas al entrenamiento de alto nivel (Runciman et al., 2016).

5.4. *Estudio 4*

Los resultados de este estudio reportan diferencias en las puntuaciones de espasticidad entre piernas, donde el grupo BS mostró puntuaciones totales más altas que el grupo US para la puntuación total combinada. Los resultados también sugieren que los grupos con PC presentan un rendimiento inferior al de los futbolistas sin discapacidad en la JH alcanzada durante el CMJ, y en variables relacionadas con la potencia y el impulso concéntrico. Al comparar entre los jugadores con PC, aquellos con deficiencias unilaterales presentaron un mejor rendimiento en la variable JH, con tamaños del efecto moderados que sugieren una puntuación más alta en potencia máxima comparado al grupo BS. Sin embargo, los jugadores con deficiencias en ambas extremidades inferiores presentaron una tendencia de mayores valores en mRFD que aquellos con US. Además, se encontró una correlación significativa y moderada entre JH con la puntuación total de espasticidad, la puntuación total en la articulación del tobillo y la puntuación total en la articulación del tobillo de la extremidad menos afectada. Asimismo, se encontró una correlación significativa para la variable mRFD entre la puntuación total de espasticidad del lado más afectado, la puntuación total en la articulación del tobillo del lado más afectado y la puntuación total combinada.

Los datos sugieren que jugadores con BS presentan diferencias en el grado de espasticidad entre ambas piernas, contrastando que el nivel de espasticidad no afecta a ambos hemisferios por igual. Probablemente esta diferencia en la puntuación de espasticidad es el resultado de las complejas interacciones y mecanismos relacionados con la lesión de la neurona motora superior (Bar-On et al., 2015). Además, los resultados mostraron que el grupo BS presentó una puntuación total combinada más alta que el grupo US, probablemente coincidiendo con las diferencias de características topográficas debido a que en la diparesia espástica todas las extremidades están afectadas pero las inferiores lo están más (Graham et al., 2016). Considerando las diferencias entre las piernas y las puntuaciones totales de espasticidad para los grupos BS y US, cabría destacar, como recomendación práctica, la necesidad de evaluar ambos lados del cuerpo durante

el proceso de clasificación de para-atletas con afectación neural, ya que ambos lados del cuerpo desempeñarán un papel crucial en diferentes habilidades específicas del fútbol (i.e., chutar, cambios de dirección, cabeceo, regate, aceleración/desaceleración).

La capacidad de salto vertical en para-atletas con PC ha sido explorada previamente por varios estudios que reportaron un menor rendimiento en comparación con una población sin discapacidad; sin embargo, no se ha reportado la influencia que podría tener la espasticidad. Estos hallazgos están en consonancia con los obtenidos por Yanci et al. (2016), quienes mostraron que la potencia máxima en jugadores con PC era menor que en futbolistas sin discapacidad, probablemente reflejando el impacto de las alteraciones neurales y no neurales en la función muscular espástica (Hussain et al., 2014). Además, se encontró una mayor magnitud del impulso concéntrico en el grupo sin discapacidad, probablemente coincidiendo con la idea de que el impulso positivo y la producción de fuerza máxima fueron reconocidos como factores determinantes que predicen y se correlacionan con la variable JH (Miller et al., 2022; Sole et al., 2018).

McLellan et al. (2011) reportaron una relación significativa entre RFD y JH, sugiriendo la relevancia de producir fuerza rápidamente sobre el rendimiento. Paradójicamente, los jugadores del grupo BS presentaron una JH más baja, pero un mejor RFD que el grupo sin deficiencia elegible, junto con un tamaño del efecto moderado al comparar con el grupo US. Una posible explicación a las diferencias encontradas en este estudio podría ser que los grupos CG y US lograron un mayor impulso concéntrico y aceleración, facilitando un mayor desplazamiento vertical independientemente del RFD, donde las estrategias de salto son más eficientes que las de aquellos con deficiencias bilaterales (Ugrinowitsch et al., 2007). Estudios previos reportaron que individuos con diparesia espástica (i.e., BS), tienden a presentar una longitud reducida de los isquiotibiales, pérdida de extensión de la cadera, dorsiflexión restringida del tobillo y un trabajo mecánico alterado de las piernas, lo que genera un mayor coste metabólico durante las acciones de la marcha y un aumento de las asimetrías en las actividades de carrera (Böhm y Döderlein, 2012; Kilgour et al., 2005; Kurz et al., 2010). Es razonable sugerir que estas características estructurales y funcionales limitan la posibilidad de acelerar el centro de masas y utilizar eficientemente el RFD para saltar más alto, considerando además que esta variable es uno de los múltiples predictores del rendimiento en el salto vertical (Miller et al., 2022). Los para-futbolistas del grupo US tienden a presentar un perfil más funcional que los demostrados por BS durante la JH alcanzada, lo que puede deberse a adaptaciones con la pierna más funcional, reduciendo el déficit de rendimiento de la pierna más afectada, incluso,

demostrando un control postural similar en la postura bípeda en comparación con los grupos de jugadores sin discapacidad (Lopes y David, 2018; Runciman et al., 2016).

El grupo de musculatura isquiotibial biarticular presenta una contribución relevante en la realización de la flexión de rodilla y la extensión de cadera para la propulsión del movimiento de salto vertical, mostrando una mayor activación muscular en el movimiento excéntrico, favoreciendo la estabilidad de la rodilla y transfiriendo energía al salto (Padulo et al., 2013; Rodacki et al., 2002). Por otro lado, el gastrocnemio es otro músculo biarticular importante implicado en la flexión plantar y la flexión de la rodilla, presentando un tendón largo que almacena y redirige fuerzas en movimientos de estiramiento-acortamiento, donde el mantenimiento de la tensión es necesario para transferir energía con éxito (Earp et al., 2010). El rendimiento de JH depende directamente de la potencia mecánica producida por los miembros inferiores en el movimiento de despegue, generando una amplificación de la potencia de salida con la interacción entre los tejidos contráctiles y tendinosos (Farris et al., 2016; Hollville et al., 2020; Wade et al., 2019). Los individuos ambulantes con PC presentan déficits de fuerza notorios basados en un tamaño muscular deteriorado que resulta en una reducción para activar la musculatura distal de la pierna en movimientos como la flexión plantar y que afecta a la capacidad de salto. Además, se ha descrito que la rigidez de las piernas, necesaria para el uso de actividades de ciclo de estiramiento-acortamiento, está alterada en las extremidades afectadas por el deterioro espástico y podría ser un factor que también afecte al rendimiento del salto (Chappell et al., 2021).

Los resultados de este estudio tampoco mostraron una relación significativa entre las puntuaciones de espasticidad de los grupos musculares de los flexores de la rodilla y los flexores plantares con las variables cinéticas del salto. Sin embargo, se encontraron correlaciones significativas entre las puntuaciones de espasticidad con variable JH y mRFD. La espasticidad muscular en el gastrocnemio se ha relacionado con el desarrollo de contracturas y la reducción del rango de movimiento en la articulación del tobillo, pudiendo interferir con el mecanismo de propulsión para alcanzar el desplazamiento máximo del centro de masas durante los CMJ (Hägglund y Wagner, 2011). Además, las características de los perfiles espásticos configuran las propiedades músculo-tendinosas que resultan en deficiencias musculoesqueléticas secundarias, que podrían interferir con la eficiencia del uso del ciclo de estiramiento-acortamiento durante las actividades de salto (de Gooijer-van de Groep et al., 2013; Smith et al., 2011). Estos hallazgos apoyan la idea de que la relación entre los niveles de espasticidad medidos con procedimientos clínicos en futbolistas ambulantes con deficiencias neurológicas y

un alto nivel de funcionalidad presentan un impacto reducido en actividades motoras como los saltos verticales (Roldan et al., 2022), contrario a lo reportado en para-atletas con altas necesidades de apoyo (van der Linden et al., 2018, 2020). Curiosamente, se encontraron asociaciones positivas significativas entre el mRFD y la puntuación total en el lado más afectado, el lado más afectado del tobillo, la puntuación total en el tobillo y la puntuación total combinada. Estos resultados concuerdan con los obtenidos en el presente estudio en la comparación del mRFD entre atletas con PC y CG, en la que se observó que los participantes sin discapacidad tenían puntuaciones de mRFD más bajas que los BS. Una posible explicación a estas correlaciones está ligada a que los para-futbolistas con mayor espasticidad pueden verse más afectados por el rápido estiramiento muscular que se produce durante el descenso del CMJ, generando un incremento del tono muscular/actividad dependiente de la velocidad, afectando al control motor y produciendo un mayor mRFD, pero que no se traduce en una mayor altura de salto (Van Der Krogt et al., 2010).

CAPÍTULO 6

Conclusiones



Fuente: IFCPF (autorizada)

6. Conclusiones

6.1. Conclusiones generales

La tesis doctoral está compuesta por cuatro estudios de tipo descriptivo transversal que involucraron la participación de futbolistas con PC en los cuales: a) se buscó determinar la carga percibida de partido y la variación del salto vertical posterior a un partido competitivo, atendiendo a las clases deportivas y la posición de juego (*estudio 1*), b) comparar la capacidad de salto vertical entre diferentes niveles competitivos y clases deportivas (*estudio 2*), c) determinar las diferencias en parámetros cinéticos durante el CMJ en jugadores con diferentes perfiles funcionales (*estudio 3*) y, finalmente d) analizar la asociación del impacto de la espasticidad en parámetros cinéticos del salto vertical (*estudio 4*). Las principales conclusiones y aportaciones de los resultados de los diferentes estudios fueron las siguientes:

6.1.1. Estudio 1

- 1) No se obtuvieron diferencias para RPE y RPE-ML entre las clases deportivas y la posición de juego.
- 2) Los para-futbolistas presentaron disminuciones significativas en el rendimiento en el SJ y CMJ entre las clases deportivas y las posiciones de juego después de un partido competitivo de fútbol PC, lo que evidencia un rendimiento neuromuscular alterado que afecta a la capacidad de salto. Considerando la prueba SJ, los jugadores de la clase FT3 presentaron un mayor deterioro de salto que los jugadores de las clases FT1 y FT2 después del partido. Por otro lado, los MF y AT presentaron un mayor deterioro de salto en comparación a los DEF.
- 3) Se encontraron asociaciones significativas entre las disminuciones de los saltos verticales evaluados en este estudio y las variables de RPE y RPE-ML.

6.1.2. Estudio 2

- 4) Este estudio mostró diferencias en el rendimiento de la capacidad de salto vertical durante el SJ y CMJ realizados por para-futbolistas con PC de diferentes niveles competitivos y según sus respectivas clases deportivas.

6.1.3. Estudio 3

- 5) Las variables relacionadas con la producción de potencia durante la fase concéntrica del salto parecen relevantes para identificar las diferencias de rendimiento entre las distintas características de futbolistas con y sin deficiencia neurológica.
- 6) En relación con las variables cinéticas y las comparaciones por pares, sólo se encontraron diferencias significativas para la producción de potencia entre el grupo de espasticidad bilateral y el grupo control, entre deficiencias de coordinación y el grupo control, entre el grupo de espasticidad unilateral y el grupo control. Así también, para el impulso concéntrico entre el grupo espasticidad bilateral y mínima deficiencia, entre espasticidad bilateral y el grupo control, entre deficiencias de coordinación y el grupo control y entre el grupo de espasticidad unilateral y el grupo control.

6.1.4. Estudio 4

- 7) Se han constatado puntuaciones más altas de espasticidad en la extremidad más afectada, mientras que aquellos con afectación en ambas extremidades mostraron mayores valores de espasticidad en comparación con los jugadores del perfil unilateral.
- 8) Se han reportado tamaños del efecto moderados y diferencias significativas entre los jugadores con perfiles de espasticidad unilateral, espasticidad bilateral y el grupo control durante el análisis cinético del CMJ en cuanto a las variables de altura alcanzada, potencia, impulso positivo y tasa máxima de desarrollo de la fuerza.
- 9) Sólo se encontraron asociaciones significativas entre el rendimiento JH con la puntuación total de espasticidad en el tobillo del lado menos afectado, con la puntuación total de espasticidad a nivel de tobillo y la puntuación total combinada de espasticidad. Adicionalmente, se encontraron asociaciones para la variable mRFD con la puntuación total de espasticidad combinada y los puntajes a nivel de tobillo en el lado más afectado, así también con los niveles totales de espasticidad del tobillo y puntaje total combinado.

Las investigaciones reportadas en la presente tesis doctoral contribuyen al esclarecimiento de las características del salto vertical como una medida para identificar la fatiga neuromuscular, la discriminación entre niveles competitivos, la identificación de parámetros cinéticos relevantes y el impacto que puede tener la

espasticidad en esta acción motora. En ese sentido, los estudios 1 y 2 reportaron la utilidad del uso de pruebas de salto vertical para identificar diferencias que pueden existir respecto al impacto de la carga en partido de acuerdo con el perfil funcional junto con la posición de juego, como su posible uso para la identificación de talentos. Por otro lado, los estudios 3 y 4 destacan la identificación de parámetros cinéticos, donde factores vinculados a la potencia y la capacidad de impulso en la fase concéntrica son determinantes a la hora de diferenciar entre perfiles funcionales, siendo sólo la espasticidad total a nivel de tobillo una variable relacionada con la capacidad de salto vertical. Futuras investigaciones son necesarias para vislumbrar cuáles son los aspectos fisiológicos y mecánicos que inciden en el rendimiento del salto vertical, además de las estrategias utilizadas por futbolistas con PC para su eficiente realización. Además, las características de los perfiles espásticos configuran las propiedades músculo-tendinosas que resultan en deficiencias musculoesqueléticas secundarias que podrían interferir con la eficiencia del uso del ciclo de estiramiento-acortamiento durante las actividades de salto (de Gooijer-van de Groep et al., 2013; Smith et al., 2011). Varios estudios han informado que la espasticidad no es la característica principal que contribuye en la disfunción motora, donde otros factores como la debilidad muscular, la coordinación alterada y las contracturas limitan la participación no solo en actividades deportivas sino incluso en aspectos de la vida diaria (Chiu et al., 2010; Damiano et al., 2001; de Groot et al., 2012; Gillett et al., 2018; Hussain et al., 2014; Ross & Engsberg, 2002, 2007). Estos antecedentes refuerzan la necesidad de realizar futuras investigaciones para vislumbrar el impacto neto de la espasticidad como deficiencia elegible en tareas específicas de cada para-deporte.

6.2. Limitaciones y Prospectivas

A pesar de que los estudios incluidos en la presente tesis doctoral se han realizado con un alto rigor metodológico y ético, a continuación, se presentan algunas limitaciones que deben ser consideradas a la hora de interpretar los hallazgos encontrados. Esta sección se encuentra dividida en función de cada estudio presentado.

6.2.1. Estudio 1

Los resultados deben interpretarse con cautela debido al número de participantes en cada grupo, según las clases deportivas y las posiciones de juego. También es necesario tener en cuenta la influencia de las exigencias físicas, técnicas y tácticas específicas de los diferentes perfiles de clasificación, y la ausencia de la

evaluación de variables adicionales de fatiga neuromuscular (e.g., capacidad de sprint repetido, sprint, marcadores bioquímicos, fuerza voluntaria máxima o marcadores cinemáticos). Otra posible limitación del presente estudio es la no inclusión de otras variables de carga interna o externa que, junto con el uso de la herramienta subjetiva de percepción de esfuerzo y el salto vertical, podrían proporcionar una mejor comprensión del proceso de carga-fatiga en partidos de competición de fútbol PC. Futuros estudios también podrían considerar tamaños de muestra más grandes a nivel internacional para comparar el rendimiento deportivo según la posición de juego y/o las clases deportivas. La suma de otras variables que son relevantes para la fatiga y la recuperación muscular podrían permitir el diseño de programas de entrenamiento individualizados de cara a las temporadas competitivas en este para-deporte. Además, se necesita más investigación para explorar el uso de métodos que diferencien entre el esfuerzo percibido respiratorio y muscular, alternativas que podrían proporcionar un enfoque novedoso en fútbol PC para cuantificar la carga interna en para-futbolistas con PC. Adicionalmente, futuras investigaciones podrían examinar las diferencias en el RPE de partido entre futbolistas con PC y futbolistas sin discapacidad, hipotetizando que los datos pueden proporcionar ideas para entender la viabilidad del uso de herramientas para la percepción subjetiva de los esfuerzos en contextos para-deportivos específicos. Así también, la comparación de acuerdo con el sexo podría entregar valiosa información en base a las características específicas de la modalidad femenina (i.e., 5 jugadoras por equipo en un campo de 40 x 27 m).

6.2.2. *Estudio 2*

Este estudio presenta como limitación que sólo se midió la capacidad de salto vertical en SJ y CMJ para la identificación de constructos de nivel competitivo. Otras variables de rendimiento, como el consumo máximo de oxígeno, el tiempo de sprint, la agilidad, la capacidad de cambio de dirección, la fuerza máxima, la composición corporal o el análisis técnico y táctico, proporcionarían información adicional para comparar niveles competitivos en base a criterios estándar en futbolistas con PC con un abordaje más holístico. Sin embargo, es crucial considerar que la evaluación del salto vertical es solo un aspecto del enfoque multifactorial del rendimiento en el fútbol. Futuros estudios deberían considerar estas observaciones y la posibilidad de evaluar diferentes parámetros del salto vertical, entendiendo que esto podría impactar en el rendimiento de la altura alcanzada y facilitar la ejecución de una técnica óptima. Además, enfoques futuros podrían reclutar participantes femeninos y una muestra amplia de diferentes países con una potencia estadística adecuada para extrapolar los resultados encontrados. Una posibilidad adicional

podría ser explorar una batería de evaluación para la identificación de talentos, teniendo en cuenta la deficiencia o perfil funcional de los para-deportistas y las demandas específicas del para-deporte, lo cual es un factor complejo y diferenciador en comparación con el fútbol regular.

6.2.3. *Estudio 3*

Una de las principales limitaciones de este estudio fue que no se tuvieron en cuenta las posiciones de juego ni el análisis de subgrupos a través de variables de rendimiento en el CMJ (e.g., participantes con una alta habilidad para saltar en comparación con aquellos con baja habilidad). Además, el número limitado de participantes en algunos perfiles (BS y AA) y la sobrerrepresentación de participantes con US, que es una característica del fútbol PC, han podido reducir la potencia estadística. Además, futuros estudios deberían considerar la incorporación de un control del movimiento hacia abajo y un análisis de la fase temporal durante el CMJ, para identificar diferencias junto con los parámetros de fuerza-tiempo y así dilucidar qué factores son más determinantes para el rendimiento en futbolistas con PC. Este enfoque podría proporcionar una comprensión más profunda de los diferentes perfiles presentados en futbolistas con PC. Además, deben considerarse las relaciones entre las características de los componentes de la estructura y fisiología del músculo espástico y los movimientos relevantes del ciclo de estiramiento-acortamiento.

6.2.4. *Estudio 4*

Las limitaciones de este estudio incluyen la incorporación de un pequeño número de participantes en cada grupo, la realización de evaluaciones de espasticidad sólo en dos grupos musculares, y el uso de variables promedio de pico y/o fuerza-tiempo que podrían limitar la información sobre la naturaleza del movimiento en el CMJ. Los clasificadores y las partes interesadas en la clasificación basada en la evidencia deben tener en cuenta que la población de para-futbolistas con afectaciones elegibles de hipertensión/espasticidad son un grupo muy complejo y heterogéneo y que las asociaciones no implican "causa y efecto". Probablemente, la influencia específica de las demandas deportivas y otras afecciones intrínsecas de la condición de salud (e.g., distonía o perfiles mixtos) impacten en el rendimiento físico, enmascaren la espasticidad, o simplemente, estos otros factores sean más predominantes. Por lo tanto, teniendo en cuenta las asociaciones bajas y limitadas encontradas en este estudio y en la literatura previa, junto con lo reportado en la investigación clínica sobre el impacto de la espasticidad en poblaciones con PC en varias actividades motoras, parece plausible sugerir que

futuros estudios aborden la exploración de otros impedimentos relevantes que podrían tener un impacto en el rendimiento del fútbol, tales como el control motor selectivo o la producción de fuerza muscular. La posibilidad de una comprensión más profunda de la relación entre las deficiencias generadas por los síndromes de la neurona motora superior y las limitaciones de la actividad justifica la realización de una mayor cantidad de investigación en el futuro próximo. Además, otras investigaciones deberían explorar las variables cinéticas del rendimiento en el salto vertical, considerando las piernas con y sin afectación motora en análisis independientes para dilucidar las adaptaciones y compensaciones generadas en para-futbolistas con PC de predominancia espástica.

CAPÍTULO 7

Referencias



Fuente: elaboración propia

7. Referencias

- Arnason, A., Sigurdsson, S. B., Gudmundsson, A., Holme, I., Engebretsen, L., & Bahr, R. (2004). Physical fitness, injuries, and team performance in soccer. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(2), 278–285. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000113478.92945.CA>
- Ayarra, R., Nakamura, F. Y., Iturricastillo, A., Castillo, D., & Yanci, J. (2018). Differences in physical performance according to the competitive level in futsal players. *Journal of Human Kinetics*, 64(1), 275–285. <https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0201>
- Azcárate, U., Yanci, J., & Arcos, A. L. (2020). Differentiated perceived match load and its variability according to playing position in professional soccer players during an entire season. *Kinesiology*, 52(1), 103–108. <https://doi.org/10.26582/k.52.1.13>
- Bangsbo, J., Mohr, M., & Krstrup, P. (2006). Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *Nutrition and Football: The FIFA/FMARC Consensus on Sports Nutrition*, 0414(7), 665–674. <https://doi.org/10.1080/02640410500482529>
- Bar-On, L., Molenaers, G., Aertbeliën, E., Van Campenhout, A., Feys, H., Nuttin, B., & Desloovere, K. (2015). Spasticity and its contribution to hypertonia in cerebral palsy. *BioMed Research International*, 2015, 317047. <https://doi.org/10.1155/2015/317047>
- Barrett, R. S., & Lichtwark, G. A. (2010). Gross muscle morphology and structure in spastic cerebral palsy: A systematic review. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 52(9), 794–804. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2010.03686.x>
- Barrett, S., McLaren, S., Spears, I., Ward, P., & Weston, M. (2018). The influence of playing position and contextual factors on soccer players' match differential ratings of perceived exertion: A Preliminary investigation. *Sports*, 6(1), 13. <https://doi.org/10.3390/sports6010013>
- Barte, J. C. M., Nieuwenhuys, A., Geurts, S. A. E., & Kompier, M. A. J. (2017). Fatigue experiences in competitive soccer: development during matches and the impact of general performance capacity. *Fatigue: Biomedicine, Health and Behavior*, 5(4), 191–201. <https://doi.org/10.1080/21641846.2017.1377811>
- Bobbert, M. F., & Casius, L. J. R. (2005). Is the effect of a countermovement on jump height due to active state development? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(3), 440–446. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000155389.34538.97>

- Böhm, H., & Döderlein, L. (2012). Gait asymmetries in children with cerebral palsy: Do they deteriorate with running? *Gait and Posture*, *35*(2), 322–327. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2011.10.003>
- Bosco, C., & Komi, P. V. (1979). Mechanical characteristics and fiber composition of human leg extensor muscles. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, *41*(4), 275–284. <https://doi.org/10.1007/BF00429744>
- Boyd, C., Barnes, C., Eaves, S. J., Morse, C. I., Roach, N., & Williams, A. G. (2016). A time-motion analysis of Paralympic football for athletes with cerebral palsy. *International Journal of Sports Science and Coaching*, *11*(4), 552–558. <https://doi.org/10.1177/1747954116654786>
- Bradley, P. S., Sheldon, W., Wooster, B., Olsen, P., Boanas, P., & Krstrup, P. (2009). High-intensity running in English FA Premier League soccer matches. *Journal of Sports Sciences*, *27*(2), 159–168. <https://doi.org/10.1080/02640410802512775>
- Brownstein, C. G., Dent, J. P., Parker, P., Hicks, K. M., Howatson, G., Goodall, S., & Thomas, K. (2017). Etiology and recovery of neuromuscular fatigue following competitive soccer match-play. *Frontiers in Physiology*, *8*, 831. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00831>
- Cámara, J., Grande, I., Mejuto, G., Los Arcos, A., & Yanci, J. (2013). Jump landing characteristics in elite soccer players with cerebral palsy. *Biology of Sport*, *30*(2), 91–95. <https://doi.org/10.5604/20831862.1044223>
- Cans, C. (2000). Surveillance of cerebral palsy in Europe: A collaboration of cerebral palsy surveys and registers. *Developmental Medicine and Child Neurology*, *42*(12), 816–824. <https://doi.org/10.1017/S0012162200001511>
- Carling, C., Lacombe, M., McCall, A., Dupont, G., Le Gall, F., Simpson, B., & Buchheit, M. (2018). Monitoring of post-match fatigue in professional soccer: Welcome to the real world. *Sports Medicine*, *48*(12), 2695–2702. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0935-z>
- Castagna, C., & Castellini, E. (2013). Vertical jump performance in Italian male and female national team soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *27*(4), 1156–1161. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182610999>
- Castillo, D., & Raya-González, J. (2018). Internal load in elite young soccer players during a whole season according to playing positions. *International Journal of Physical Education, Fitness and Sports*, *7*(4), 36–41. <https://doi.org/10.26524/ijpefs1844>
- Chappell, A., Allison, G. T., Gibson, N., Williams, G., & Morris, S. (2021). A comparison of leg stiffness in running between typically developing children

- and children with cerebral palsy. *Clinical Biomechanics*, *84*, 105337. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2021.105337>
- Chiu, H. C., Ada, L., Butler, J., & Coulson, S. (2010). Relative contribution of motor impairments to limitations in activity and restrictions in participation in adults with hemiplegic cerebral palsy. *Clinical Rehabilitation*, *24*(5), 454–462. <https://doi.org/10.1177/0269215509353263>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. L. Erlbaum Associates.
- Cometti, G., Maffiuletti, N. A., Pousson, M., Chatard, J. C., & Maffulli, N. (2001). Isokinetic strength and anaerobic power of elite, sub-elite and amateur French soccer players. *International Journal of Sports Medicine*, *22*(1), 45–51. <https://doi.org/10.1055/s-2001-11331>
- Conde, J. H. S., Alves, D. L., Novack, L. F., Carneiro, C. F., Cruz, R., & Osiecki, R. (2018). Comparisons of recovery, external and internal load by playing position and match outcome in professional soccer. *Motriz. Revista de Educacao Fisica*, *24*(1), 1–5. <https://doi.org/10.1590/S1980-6574201800010003>
- Cormie, P., McBride, J. M., & McCaulley, G. O. (2009). Power-time, force-time, and velocity-time curve analysis of the countermovement jump: Impact of training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *23*(1), 177–186. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181889324>
- Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2011). Developing maximal neuromuscular power. *Sports Medicine*, *41*(1), 17–38. <https://doi.org/10.2165/11537690-000000000-00000>
- Damiano, D. L., Quinlivan, J., Owen, B. F., Shaffrey, M., & Abel, M. F. (2001). Spasticity versus strength in cerebral palsy: Relationships among involuntary resistance, voluntary torque, and motor function. *European Journal of Neurology*, *8*(s5), 40–49. <https://doi.org/10.1046/j.1468-1331.2001.00037.x>
- de Freitas, V. H., Nakamura, F. Y., Faria, F. R. de, Dantas, M. J. bezerra, Souza, N. C., Buratti, J. R., Freitas, A. de, Figueiredo, D. H., Golçalves, H. R., Junior, W. N., & Gorla, J. I. (2020). Internal training load and performance indices of cerebral palsy football players and effects of one week with and without training on heart rate variability. *Journal of Physical Education and Sport*, *20*(5), 3017–3022. <https://doi.org/10.7752/jpes.2020.s5410>
- de Gooijer-van de Groep, K. L., de Vlugt, E., de Groot, J. H., van der Heijden-Maessen, H. C., Wielheesen, D. H., van Wijlen-Hempel, R. (M) S., Arendzen, J., & Meskers, C. G. (2013). Differentiation between non-neural and neural contributors to ankle joint stiffness in cerebral palsy. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, *10*(1), 81. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-10-81>

- de Groot, S., Dallmeijer, A., Bessems, P., Lamberts, M., Woude, L., & Janssen, T. (2012). Comparison of muscle strength, sprint power and aerobic capacity in adults with and without cerebral palsy. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 44(11), 932–938. <https://doi.org/10.2340/16501977-1037>
- De Groot, S., Janssen, T. W. J., Evers, M., Van Der Luitj, P., Nienhuys, K. N. G., & Dallmeijer, A. J. (2012). Feasibility and reliability of measuring strength, sprint power, and aerobic capacity in athletes and non-athletes with cerebral palsy. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 54(7), 647–653. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2012.04261.x>
- de Hoyo, M., Cohen, D. D., Sañudo, B., Carrasco, L., Álvarez-Mesa, A., del Ojo, J. J., Domínguez-Cobo, S., Mañas, V., & Otero-Esquina, C. (2016). Influence of football match time–motion parameters on recovery time course of muscle damage and jump ability. *Journal of Sports Sciences*, 34(14), 1363–1370. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1150603>
- Dehghansai, N., Pinder, R. A., & Baker, J. (2021). “Looking for a golden needle in the haystack”: Perspectives on talent identification and development in Paralympic sport. *Frontiers in Sports and Active Living*, 3, 635977. <https://doi.org/10.3389/fspor.2021.635977>
- Di Salvo, V., Baron, R., Tschan, H., Calderon Montero, F. J., Bachl, N., & Pigozzi, F. (2007). Performance characteristics according to playing position in elite soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 28(3), 222–227. <https://doi.org/10.1055/s-2006-924294>
- Dobbs, C. W., Gill, N. D., Smart, D. J., & McGuigan, M. R. (2015). Relationship between vertical and horizontal jump variables and muscular performance in athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(3), 661–671. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000694>
- Driscoll, J., Forber-Pratt, A. J., & Scott, J. A. (2013). An emerging model for grassroots Paralympic sport development. *The International Journal of Sport and Society: Annual Review*, 3(1), 55–67. <https://doi.org/10.18848/2152-7857/cgp/v03i01/53894>
- Earp, J. E., Kraemer, W. J., Cormie, P., Volek, J. S., Maresh, C. M., Joseph, M., & Newton, R. U. (2011). Influence of muscle–tendon unit structure on rate of force development during the squat, countermovement, and drop jumps. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(2), 340–347. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182052d78>
- Earp, J. E., Kraemer, W. J., Newton, R. U., Comstock, B. A., Fragala, M. S., Dunn-Lewis, C., Solomon-Hill, G., Penwell, Z. R., Powell, M. D., Volek, J. S., Denegar, C. R., Häkkinen, K., & Maresh, C. M. (2010). Lower-body muscle structure and its role in jump performance during squat, countermovement, and depth drop jumps.

- Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(3), 722–729.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181d32c04>
- Enoka, R. M., & Duchateau, J. (2008). Muscle fatigue: What, why and how it influences muscle function. *Journal of Physiology*, 586(1), 11–23.
<https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.139477>
- Erceg-Hurn, D. M., & Mirosevich, V. M. (2008). Modern robust statistical methods: An easy way to maximize the accuracy and power of your research. *American Psychologist*, 63(7), 591–601. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.63.7.591>
- Farris, D. J., Lichtwark, G. A., Brown, N. A. T., & Cresswell, A. G. (2016). The role of human ankle plantar flexor muscle-tendon interaction and architecture in maximal vertical jumping examined in vivo. *Journal of Experimental Biology*, 219(4), 528–534. <https://doi.org/10.1242/jeb.126854>
- Fleeton, J. R. M., Sanders, R. H., & Fornusek, C. (2022). Impact of maximal strength training on countermovement jump phase characteristics in athletes with cerebral palsy. *Journal of Sports Sciences*, 40(19), 2118–2127. <https://doi.org/10.1080/02640414.2022.2137303>
- Gathercole, R. J., Sporer, B. C., Stellingwerff, T., & Sleivert, G. G. (2015). Comparison of the capacity of different jump and sprint field tests to detect neuromuscular fatigue. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(9), 2522–2531. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000912>
- Gathercole, R., Sporer, B., Stellingwerff, T., & Sleivert, G. (2015). Alternative countermovement-jump analysis to quantify acute neuromuscular fatigue. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(1), 84–92. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0413>
- Gillett, J. G., Lichtwark, G. A., Boyd, R. N., & Barber, L. A. (2018). Functional capacity in adults with cerebral palsy: Lower limb muscle strength matters. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 99(5), 900–906. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2018.01.020>
- González-Badillo, J. J., & Marques, M. C. (2010). Relationship between kinematic factors and countermovement jump height in trained track and field athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(12), 3443–3447. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181bac37d>
- Graham, H. K., Rosenbaum, P., Paneth, N., Dan, B., Lin, J.-P., Damiano, Di. L., Becher, J. G., Gaebler-Spira, D., Colver, A., Reddiough, D. S., Crompton, K. E., & Lieber, R. L. (2016). Cerebral palsy. *Nature Reviews Disease Primers*, 2, 15082. <https://doi.org/10.1038/nrdp.2015.82>
- Grissom, R. J. (1994). Probability of the superior outcome of one treatment over another. *Journal of Applied Psychology*, 79(2), 314–316. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.79.2.314>

- Hader, K., Rumpf, M. C., Hertzog, M., Kilduff, L. P., Girard, O., & Silva, J. R. (2019). Monitoring the athlete match response: Can external load variables predict post-match acute and residual fatigue in soccer? A systematic review with meta-analysis. *Sports Medicine Open*, 5(1), 48. <https://doi.org/10.1186/s40798-019-0219-7>
- Hägglund, G., & Wagner, P. (2011). Spasticity of the gastrosoleus muscle is related to the development of reduced passive dorsiflexion of the ankle in children with cerebral palsy: A registry analysis of 2,796 examinations in 355 children. *Acta Orthopaedica*, 82(6), 744–748. <https://doi.org/10.3109/17453674.2011.618917>
- Haugen, T. A., Tønnessen, E., & Seiler, S. (2013). Anaerobic performance testing of professional soccer players 1995-2010. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(2), 148–156. <https://doi.org/10.1123/ijsp.8.2.148>
- Hedges, L., & Olkin, I. (1985). *Statistical methods for meta-analysis*. Academic Press. <https://doi.org/10.1086/228501>
- Henríquez, M., Castillo, D., Yanci, J., Iturricastillo, A., & Reina, R. (2021). Physical responses by cerebral palsy footballers in matches played at sea level and moderate altitude. *Research in Sports Medicine*, 31(3), 296–308. <https://doi.org/10.1080/15438627.2021.1966011>
- Henríquez, M., de Campos, L.F.C., Muñoz-Hinrichsen, F., Cornejo, M.I., Yanci, J., Reina, R. (2022). Neuromuscular fatigue in cerebral palsy football players after a competitive match according to sport classification and playing position. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(10), 6070. <https://doi.org/10.3390/ijerph19106070>
- Henríquez, M., Herrera, F., Muñoz, F., Rocha, C. L., Fernández, M., Bueno, D., Huenullan, C. Z., Borin, J. P., & Campos, L. F. C. C. de. (2021). Caracterización y asociación del rendimiento físico en futbolistas chilenos con parálisis cerebral. *Retos*, 40, 126–134.
- Henríquez, M., Iturricastillo, A., González-olguín, A., Herrera, F., Riquelme, S., & Reina, R. (2021). Time – motion characteristics and physiological responses of para-footballers with cerebral palsy in two small-sided games and a simulated game. *Adapted Physical Activity Quarterly*, 38(2) 1–16. <https://doi.org/10.1123/apaq.2020-0077>
- Henríquez, M., Kokaly, M., Herrera, F., & Reina, R. (2020). The relationship among repeated sprint and change of direction abilities in football players with cerebral palsy. *Kinesiology*, 52(2), 208–216. <https://doi.org/10.26582/k.52.2.6>
- Henríquez, M., Peña-González, I., Albaladejo-García, C., Sadarangani, K. P., & Reina, R. (2023). Sex differences in change of direction deficit and asymmetries in

- footballers with cerebral palsy. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 00, 1-12. <https://doi.org/10.1111/sms.14383>
- Henríquez, M., Riquelme, S., Abarca, M., Morales, F., & Reina, R. (2020). Physical demands of para-footballers with cerebral palsy in a small-sided game. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 60(9), 1247–1253. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.20.10514-0>
- Henríquez, M., Reina, R., Castillo, D., Iturricastillo, A., & Yanci, J. (2023). Contextual factors and match-physical performance of international-level footballers with cerebral palsy. *Science and Medicine in Football*, 1–10. Advance online publication. <https://doi.org/10.1080/24733938.2023.2206384>
- Hollville, E., Rabita, G., Guilhem, G., Lecompte, J., & Nordez, A. (2020). Effects of surface properties on gastrocnemius medialis and vastus lateralis fascicle mechanics during maximal countermovement jumping. *Frontiers in Physiology*, 11, 917. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00917>
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(1), 3–12. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818cb278>
- Hussain, A. W., Onambele, G. L., Williams, A. G., & Morse, C. I. (2014). Muscle size, activation, and coactivation in adults with cerebral palsy. *Muscle and Nerve*, 49(1), 76–83. <https://doi.org/10.1002/mus.23866>
- IFCPF. (2018). *Classification rules and regulations*. In International Federation of CP Football (Issue January). <https://www.ifcpf.com/static/upload/raw/8ce6fab2-257c-43a7-a22d-db0e74f7b089/IFCPF+Classification+Rules+2018.pdf>
- Iturricastillo, A., Granados, C., Cámara, J., Reina, R., Castillo, D., Barrenetxea, I., Lozano, L., & Yanci, J. (2018). Differences in physiological responses during wheelchair basketball matches according to playing time and competition. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 89(4), 474–481. <https://doi.org/10.1080/02701367.2018.1511044>
- Jonsson, U., Eek, M. N., Sunnerhagen, K. S., & Himmelmann, K. (2019). Cerebral palsy prevalence, subtypes, and associated impairments: A population-based comparison study of *adults and children*. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 61(10), 1162–1167. <https://doi.org/10.1111/dmcn.14229>
- Kalapocharakos, V. I., Strimpakos, N., Vithoulka, I., Karvounidis, C., Diamantopoulos, K., & Kapreli, E. (2006). Physiological characteristics of elite professional soccer teams of different ranking. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 46(4), 515–519.
- Kilgour, G. M., McNair, P. J., & Stott, N. S. (2005). Range of motion in children with spastic diplegia, GMFCS I-II compared to age and gender matched controls.

- Physical and Occupational Therapy in Pediatrics*, 25(3), 61–79.
https://doi.org/10.1300/J006v25n03_05
- Kirby, T. J., McBride, J. M., Haines, T. L., & Dayne, A. M. (2011). Relative net vertical impulse determines jumping performance. *Journal of Applied Biomechanics*, 27(3), 207–214. <https://doi.org/10.1123/jab.27.3.207>
- Kloyiam, S., Breen, S., Jakeman, P., Conway, J., & Hutzler, Y. (2011). Soccer-specific endurance and running economy in soccer players with cerebral palsy. *Adapted Physical Activity Quarterly*, 28(4), 354–367. <https://doi.org/10.1123/apaq.28.4.354>
- Krustrup, P., Zebis, M., Jensen, J. M., & Mohr, M. (2010). Game-induced fatigue patterns in elite female soccer. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(2), 437–441. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c09b79>
- Kurz, M. J., Stuberger, W. A., & DeJong, S. L. (2010). Mechanical work performed by the legs of children with spastic diplegic cerebral palsy. *Gait and Posture*, 31(3), 347–350. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2009.12.004>
- Lopes, G., & David, A. C. de. (2018). Bipedal and unipedal stance in Brazilian football 7-a-side athletes with cerebral palsy. *Fisioterapia e Pesquisa*, 25(3), 303–308. <https://doi.org/10.1590/1809-2950/17022025032018>
- López-Segovia, M., Marques, M. C., Van Den Tillaar, R., & González-Badillo, J. J. (2011). Relationships between vertical jump and full squat power outputs with sprint times in U21 soccer players. *Journal of Human Kinetics*, 30(1), 135–144. <https://doi.org/10.2478/v10078-011-0081-2>
- Los Arcos, A., Yanci, J., Mendiguchia, J., & Gorostiaga, E. M. (2014). Rating of muscular and respiratory perceived exertion in professional soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(11), 3280–3288. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000000540>
- Love, S., Gibson, N., Smith, N., Bear, N., & Blair, E. (2016). Interobserver reliability of the Australian Spasticity Assessment Scale (ASAS). *Developmental Medicine and Child Neurology*, 58, 18–24. <https://doi.org/10.1111/dmcn.13000>
- Marqués-Jiménez, D., Calleja-González, J., Arratibel, I., Delextrat, A., & Terrados, N. (2017). Fatigue and Recovery in Soccer: Evidence and Challenges. *Open Sports Sciences Journal*, 10(1), 52–70. <https://doi.org/10.2174/1875399x01710010052>
- Mathewson, M. A., & Lieber, R. L. (2015). Pathophysiology of muscle contractures in cerebral palsy. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, 26(1), 57–67. <https://doi.org/10.1016/j.pmr.2014.09.005>
- Mathewson, M. A., Ward, S. R., Chambers, H. G., & Lieber, R. L. (2015). High resolution muscle measurements provide insights into equinus contractures in

- patients with cerebral palsy. *Journal of Orthopaedic Research*, 33(1), 33–39. <https://doi.org/10.1002/jor.22728>
- Maulder, P., & Cronin, J. (2005). Horizontal and vertical jump assessment: Reliability, symmetry, discriminative and predictive ability. *Physical Therapy in Sport*, 6(2), 74–82. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2005.01.001>
- McLellan, C. P., Lovell, D. I., & Gass, G. C. (2011). The Role of rate of force development on vertical jump performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(2), 379–385. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181be305c>
- McMahon, J. J., Rej, S. J. E., & Comfort, P. (2017). Sex differences in countermovement jump phase characteristics. *Sports*, 5(1), 1–11. <https://doi.org/10.3390/sports5010008>
- McMahon, J. J., Suchomel, T. J., Lake, J. P., & Comfort, P. (2018). Understanding the key phases of the countermovement jump force-time curve. *Strength and Conditioning Journal*, 40(4), 96–106. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000375>
- Miller, J. D., Fry, A. C., Ciccone, A. B., & Poggio, J. (2022). Analysis of rate of force development as a vertical jump height predictor. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 1–8. Advance online publication. <https://doi.org/10.1080/02701367.2022.2036315>
- Mohr, M., Krustup, P., & Bangsbo, J. (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *Journal of Sports Sciences*, 21(7), 519–528. <https://doi.org/10.1080/0264041031000071182>
- Mohr, M., Mujika, I., Santisteban, J., Randers, M. B., Bischoff, R., Solano, R., Hewitt, A., Zubillaga, A., Peltola, E., & Krustup, P. (2010). Examination of fatigue development in elite soccer in a hot environment: A multi-experimental approach. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 20, 125–132. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01217.x>
- Mujika, I., Santisteban, J., Impellizzeri, F. M., & Castagna, C. (2009). Fitness determinants of success in men's and women's football. *Journal of Sports Sciences*, 27(2), 107–114. <https://doi.org/10.1080/02640410802428071>
- Oliver, J., Armstrong, N., & Williams, C. (2008). Changes in jump performance and muscle activity following soccer-specific exercise. *Journal of Sports Sciences*, 26(2), 141–148. <https://doi.org/10.1080/02640410701352018>
- Padulo, J., Tiloca, A., Powell, D., Granatelli, G., Bianco, A., & Paoli, A. (2013). EMG amplitude of the biceps femoris during jumping compared to landing movements. *SpringerPlus*, 2(1), 520. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-520>

- Pagaduan, J., Schoenfeld, B. J., & Pojskić, H. (2019). Systematic review and meta-analysis on the effect of contrast training on vertical jump performance. *Strength and Conditioning Journal*, 41(3), 63–78. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000442>
- Palisano, R. J., Rosenbaum, P., Bartlett, D., & Livingston, M. H. (2008). Content validity of the expanded and revised Gross Motor Function Classification System. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 50(10), 744–750. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2008.03089.x>
- Para-Football. (2023). *About Para football*. <https://www.parafootball.com/about>
- Park, E. Y. (2018). Path analysis of strength, spasticity, gross motor function, and health-related quality of life in children with spastic cerebral palsy. *Health and Quality of Life Outcomes*, 16(1), 1–7. <https://doi.org/10.1186/s12955-018-0891-1>
- Peña-González, I., Maggiolo, J. F., Javaloyes, A., & Moya-Ramón, M. (2023). Analysis of scored goals in the cerebral palsy football World Cup. *Journal of Sports Sciences*, 40(22), 2509–2516. <https://doi.org/10.1080/02640414.2023.2167257>
- Peña-González, I., Roldan, A., Toledo, C., Urbán, T., & Reina, R. (2021). Change-of-direction ability of para-footballers with cerebral palsy under a new evidence-based and sport-specific classification system. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 16(2), 267–272. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2019-0656>
- Peña-González, I., Sarabia, J. M., Roldan, A., Manresa, A., & Moya-Ramón, M. (2021). Physical performance differences between Spanish selected and non-selected para-footballers with cerebral palsy for the national team. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 16(11), 1676–1683. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2020-0842>
- Peterson, M. D., Gordon, P. M., Hurvitz, E. A., & Burant, C. F. (2012). Secondary muscle pathology and metabolic dysregulation in adults with cerebral palsy. *AJP: Endocrinology and Metabolism*, 303(9), E1085–E1093. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00338.2012>
- Rampinini, E., Bishop, D., Marcora, S. M., Ferrari Bravo, D., Sassi, R., & Impellizzeri, F. M. (2007). Validity of simple field tests as indicators of match-related physical performance in top-level professional soccer players. *International Journal of Sports Medicine*, 28(3), 228–235. <https://doi.org/10.1055/s-2006-924340>
- Rampinini, E., Bosio, A., Ferraresi, I., Petruolo, A., Morelli, A., & Sassi, A. (2011). Match-related fatigue in soccer players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(11), 2161–2170. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31821e9c5c>

- Reilly, T., Drust, B., & Clarke, N. (2008). Muscle fatigue during football match-play. *Sports Medicine*, 38(5), 357–367. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838050-00001>
- Reina, R. (2014). Evidence-based classification in paralympic sport: Application to football -7-a-side. *European Journal of Human Movement*, 32, 161–185.
- Reina, R., Barbado, D., Hernández-Davó, H., & Roldan, A. (2021). Dynamic and static stability in para-athletes with cerebral palsy considering their impairment profile. *PM&R*, 14(3), 366–376. <https://doi.org/10.1002/pmrj.12579>
- Reina, R., Elvira, J., Valverde, M., Roldán, A., & Yanci, J. (2019). Kinematic and kinetic analyses of the vertical jump with and without header as performed by para-footballers with cerebral palsy. *Sports*, 7(9), 209. <https://doi.org/10.3390/sports7090209>
- Reina, R., Iturricastillo, A., Castillo, D., Roldan, A., Toledo, C., & Yanci, J. (2021). Is impaired coordination related to match physical load in footballers with cerebral palsy of different sport classes? *Journal of Sports Sciences*, 39(1), 140–149. <https://doi.org/10.1080/02640414.2021.1880740>
- Reina, R., Iturricastillo, A., Castillo, D., Urbán, T., & Yanci, J. (2020). Activity limitation and match load in para-footballers with cerebral palsy: An approach for evidence-based classification. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 30(3), 496–504. <https://doi.org/10.1111/sms.13583>
- Reina, R., Iturricastillo, A., Sabido, R., Campayo-Piernas, M., & Yanci, J. (2018). Vertical and horizontal jump capacity in international cerebral palsy football players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(5), 597–603. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0321>
- Reina, R., Sarabia, J. M., Caballero, C., & Yanci, J. (2017). How does the ball influence the performance of change of direction and sprint tests in para-footballers with brain impairments? Implications for evidence-based classification in CP-Football. *PloS One*, 12(11), e0187237. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187237>
- Reina, R., Sarabia, J. M., Yanci, J., García-Vaquero, M. P., & Campayo-Piernas, M. (2016). Change of direction ability performance in cerebral palsy football players according to functional profiles. *Frontiers in Physiology*, 6, 409. <https://doi.org/10.3389/fphys.2015.00409>
- Rethlefsen, S. A., Ryan, D. D., & Kay, R. M. (2010). Classification systems in cerebral palsy. *Orthopedic Clinics of North America*, 41(4), 457–467. <https://doi.org/10.1016/j.ocl.2010.06.005>
- Robineau, J., Jouaux, T., Lacroix, M., & Babault, N. (2012). Neuromuscular fatigue induced by a 90-minute soccer game modeling. *Journal of Strength and*

- Conditioning Research*, 26(2), 555–562.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318220dda0>
- Rodacki, A. L. F., Fowler, N. E., & Bennett, S. J. (2002). Vertical jump coordination: Fatigue effects. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(1), 105–116. <https://doi.org/10.1097/00005768-200201000-00017>
- Rodríguez-Lorenzo, L., Fernandez-del-Olmo, M., Sanchez-Molina, J. A., & Martín-Acero, R. (2016). Role of vertical jumps and anthropometric variables in maximal kicking ball velocities in elite soccer players. *Journal of Human Kinetics*, 53(1), 143–154. <https://doi.org/10.1515/hukin-2016-0018>
- Roldan, A., Henríquez, M., Iturricastillo, A., Castillo, D., Yanci, J., & Reina, R. (2022). To what degree does limb spasticity affect motor performance in para-footballers with cerebral palsy? *Frontiers in Physiology*, 12, 807853. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.807853>
- Rose, J., & McGill, K. C. (2005). Neuromuscular activation and motor-unit firing characteristics in cerebral palsy. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 47(5), 329–336. <https://doi.org/10.1017/S0012162205000629>
- Rosenbaum, P., Paneth, N., Leviton, A., Goldstein, M., & Bax, M. (2007). A report: The definition and classification of cerebral palsy April 2006. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 109, 8–14. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2007.tb12610.x>
- Ross, S. A., & Engsberg, J. R. (2002). Relation between spasticity and strength in individuals with spastic diplegic cerebral palsy. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 44(3), 148–157. <https://doi.org/10.1017/s0012162201001852>
- Ross, S. A., & Engsberg, J. R. (2007). Relationships between spasticity, strength, gait, and the GMFM-66 in persons with spastic diplegia cerebral palsy. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 88(9), 1114–1120. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2007.06.011>
- Ruiz-Ariza, A., García-Pinillos, F., Molina-Molina, A., & Latorre-Román, P. (2015). Influence of competition on vertical jump, kicking speed, sprint and agility of young football players. *South African Journal for Research in Sport, Physical Education and Recreation*, 37(2), 109–118.
- Rumpf, M. C., & Rodríguez, G. (2018). Neuromuscular differences of selected and non-selected Iraqi National Soccer players. *Journal of Human Sport and Exercise*, 13(3), 651–658. <https://doi.org/10.14198/jhse.2018.133.15>
- Runciman, P., Tucker, R., Ferreira, S., Albertus-Kajee, Y., & Derman, W. (2016). Effects of induced volitional fatigue on sprint and jump performance in Paralympic athletes with cerebral palsy. *American Journal of Physical Medicine and*

- Sanger, T. D., Chen, D., Fehlings, D. L., Hallett, M., Lang, A. E., Mink, J. W., Singer, H. S., Alter, K., Ben-Pazi, H., Butler, E. E., Chen, R., Collins, A., Dayanidhi, S., Forssberg, H., Fowler, E., Gilbert, D. L., Gorman, S. L., Gormley, M. E., Jinnah, H. A., ... Valero-Cuevas, F. (2010). Definition and classification of hyperkinetic movements in childhood. *Movement Disorders*, 25(11), 1538–1549. <https://doi.org/10.1002/mds.23088>
- Sankar, C., & Mundkur, N. (2005). Cerebral palsy-definition, classification, etiology and early diagnosis. *Indian Journal of Pediatrics*, 72(10), 865–868. <https://doi.org/10.1007/BF02731117>
- Sarmiento, H., Anguera, M. T., Pereira, A., & Araújo, D. (2018). Talent identification and development in male football: A systematic review. *Sports Medicine*, 48(4), 907–931. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0851-7>
- Simim, M. A., Bradley, P. S., Da Silva, B. V., Mendes, E. L., De Mello, M. T., Marocolo, M., & Da Mota, G. R. (2017). The quantification of game-induced muscle fatigue in amputee soccer players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 57(6), 766–772. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.16.06299-X>
- Smith, L. R., Lee, K. S., Ward, S. R., Chambers, H. G., & Lieber, R. L. (2011). Hamstring contractures in children with spastic cerebral palsy result from a stiffer extracellular matrix and increased in vivo sarcomere length. *Journal of Physiology*, 589(10), 2625–2639. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2010.203364>
- Sole, C. J., Mizuguchi, S., Sato, K., Moir, G. L., & Stone, M. H. (2018). Phase characteristics of the countermovement jump force-time curve: A comparison of athletes by jumping ability. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(4), 1155–1165. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001945>
- Stølen, T., Chamari, K., Castagna, C., & Wisløff, U. (2005). Physiology of soccer: An update. *Sports Medicine*, 35(6), 501–536. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535060-00004>
- Thomas, C., Jones, P. A., Rothwell, J., Chiang, C. Y., & Comfort, P. (2015). An investigation into the relationship between maximum isometric strength and vertical jump performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(8), 2176–2185. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000866>
- Tisha, A. L., Armstrong, A. A., Wagoner Johnson, A., & López-Ortiz, C. (2019). Skeletal muscle adaptations and passive muscle stiffness in cerebral palsy: A literature review and conceptual model. *Journal of Applied Biomechanics*, 35(1), 68–79. <https://doi.org/10.1123/jab.2018-0049>

- Trecroci, A., Milanović, Z., Frontini, M., Iaia, F. M., & Alberti, G. (2018). Physical performance comparison between under 15 elite and sub-elite soccer players. *Journal of Human Kinetics, 61*(1), 209–216. <https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0126>
- Stackhouse, S. K., Binder-Macleod, S. A., & Lee, S. C. (2005). Voluntary muscle activation, contractile properties, and fatigability in children with and without cerebral palsy. *Muscle and Nerve, 31*(5), 594–601. <https://doi.org/10.1002/mus.20302>
- Tweedy, S. M., Connick, M. J., & Beckman, E. M. (2018). Applying scientific principles to enhance paralympic classification now and in the future: A research primer for rehabilitation specialists. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America, 29*(2), 313–332. <https://doi.org/10.1016/j.pmr.2018.01.010>
- Tweedy, S. M., Mann, D., & Vanlandewijck, Y. C. (2016). Research needs for the development of evidence-based systems of classification for physical, vision, and intellectual impairments. In Vanlandewijck Y. C., Thompson W. (editors) *Training and coaching the Paralympic athlete* (pp. 122–149). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119045144.ch7>
- Tweedy, S. M., & Vanlandewijck, Y. C. (2011). International Paralympic Committee position stand-background and scientific principles of classification in Paralympic sport. *British Journal of Sports Medicine, 45*(4), 259–269. <https://doi.org/10.1136/bjism.2009.065060>
- Ugrinowitsch, C., Tricoli, V., Rodacki, A. L. F., Batista, M., & Ricard, M. D. (2007). Influence of training background on jumping height. *Journal of Strength and Conditioning Research, 21*(3), 848–852. <https://doi.org/10.1519/R-20162.1>
- Van Der Krogt, M. M., Doorenbosch, C. A. M., Becher, J. G., & Harlaar, J. (2010). Dynamic spasticity of plantar flexor muscles in cerebral palsy gait. *Journal of Rehabilitation Medicine, 42*(7), 656–663. <https://doi.org/10.2340/16501977-0579>
- van der Linden, M. L., Corrigan, O., Tennant, N., & Verheul, M. H. G. (2020). Cluster analysis of impairment measures to inform an evidence-based classification structure in RaceRunning, a new World Para Athletics event for athletes with hypertonia, ataxia or athetosis. *Journal of Sports Sciences, 39*(sup1), 159–166. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1860360>
- van der Linden, M. L., Jahed, S., Tennant, N., & Verheul, M. H. G. (2018). The influence of lower limb impairments on RaceRunning performance in athletes with hypertonia, ataxia or athetosis. *Gait and Posture, 61*, 362–367. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.02.004>
- Van Hooren, B., & Zolotarjova, J. (2017). The difference between countermovement and squat jump performances: A review of underlying mechanisms with

- practical applications. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(7), 2011–2020. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001913>
- Vanegas, E., Salazar, Y., Iguar, R., & Plaza, I. (2021). Force-sensitive mat for vertical jump measurement to assess lower limb strength: Validity and reliability study. *JMIR MHealth and UHealth*, 9(4), e27336. <https://doi.org/10.2196/27336>
- Verschuren, O., Smorenburg, A. R. P., Luiking, Y., Bell, K., Barber, L., & Peterson, M. D. (2018). Determinants of muscle preservation in individuals with cerebral palsy across the lifespan: a narrative review of the literature. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, 9(3), 453–464. <https://doi.org/10.1002/jcsm.12287>
- Verschuren, O., & Takken, T. (2010). Aerobic capacity in children and adolescents with cerebral palsy. *Research in Developmental Disabilities*, 31(6), 1352–1357. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2010.07.005>
- Wade, L., Lichtwark, G. A., & Farris, D. J. (2019). The influence of added mass on muscle activation and contractile mechanics during submaximal and maximal countermovement jumping in humans. *Journal of Experimental Biology*, 222(2), jeb194852. <https://doi.org/10.1242/jeb.194852>
- Watkins, C. M., Barillas, S. R., Wong, M. A., Archer, D. C., Dobbs, I. J., Lockie, R. G., Coburn, J. W., Tran, T. T., & Brown, L. E. (2017). Determination of vertical jump as a measure of neuromuscular readiness and fatigue. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(12), 3305–3310. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002231>
- Wisløff, U., Castagna, C., Helgerud, J., Jones, R., & Hoff, J. (2004). Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *British Journal of Sports Medicine*, 38(3), 285–288. <https://doi.org/10.1136/bjism.2002.002071>
- Woodard, C. M., James, M. K., & Messier, S. P. (1999). Computational methods used in the determination of loading rate: Experimental and clinical implications. *Journal of Applied Biomechanics*, 15(4), 404–417. <https://doi.org/10.1123/jab.15.4.404>
- Yanci, J., Castagna, C., Los Arcos, A., Santalla, A., Grande, I., Figueroa, J., & Camara, J. (2016). Muscle strength and anaerobic performance in football players with cerebral palsy. *Disability and Health Journal*, 9(2), 313–319. <https://doi.org/10.1016/j.dhjo.2015.11.003>
- Yanci, J., Castillo, D., Iturricastillo, A., Henríquez, M., Roldan, A., & Reina, R. (2022). Comparison of the physical response during official matches and small-sided games in international cerebral palsy footballers: Implications for evidence-based classification. *Adapted Physical Activity Quarterly*, 40(1), 4–18. <https://doi.org/10.1123/apaq.2021-0206>

Capítulo 7: Referencias

- Yanci, J., Castillo, D., Iturricastillo, A., & Reina, R. (2019). Evaluation of the official match external load in soccer players with cerebral palsy. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(3), 866–873. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002085>
- Yanci, J., Castillo, D., Iturricastillo, A., Urbán, T., & Reina, R. (2018). External match loads of footballers with cerebral palsy: A comparison among sport classes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(5), 590–596. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0042>
- Yanci, J., Los Arcos, A., Grande, I., Santalla, A., Figueroa, J., Gil, E., & Cámara, J. (2014). Jump capacity in cerebral palsy soccer players. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte*, 14(54), 199–211.

CAPÍTULO 8

Apéndices



Fuente: IFCPF (autorizada)



Article

Neuromuscular Fatigue in Cerebral Palsy Football Players after a Competitive Match According to Sport Classification and Playing Position

Matías Henríquez ^{1,*}, Luis Felipe Castelli de Campos ², Fernando Muñoz-Hinrichsen ³,
María Isabel Cornejo ¹, Javier Yanci ⁴ and Raul Reina ¹

¹ Sport Research Centre, Department of Sports Sciences, Miguel Hernández University, 03202 Elche, Spain; maria.cornejo@goumh.umh.es (M.I.C.); rreina@umh.es (R.R.)

² Department of Education Sciences, Faculty of Education and Humanities, University of Bio-Bío, Chillan 3780000, Chile; lcastelli@ubiobio.cl

³ Department of Kinesiology, Metropolitan University of Sciences Education, Santiago 7500000, Chile; fernando.munoz_h@umce.cl

⁴ Society, Sports and Physical Exercise Research Group (GIKAFIT), Physical Education and Sport Department, Faculty of Education and Sport, University of the Basque Country (UPV/EHU), 01007 Vitoria-Gasteiz, Spain; javier.yanci@ehu.es

* Correspondence: matias.henriquez@alu.umh.es; Tel.: +34-96-522-2437

Abstract: This study aimed to determine the rated perceived exertion (RPE) and match load (RPE-ML) to compare pre-post-match vertical jump (VJ) capacity according to cerebral palsy (CP) players' sport classes (i.e., FT1–FT3) and playing positions and to explore whether the neuromuscular performance variation is associated with the internal load of para-footballers with CP. Fifty-six male para-footballers performed two VJ tests before and immediately after a competitive CP football match, followed by measurements of the players' RPE and RPE-ML. There were no significant differences ($p > 0.05$) in the pairwise comparisons for RPE and RPE-ML according to sport classes and playing position. A significant reduction in the VJ performance was found for each player sport class and playing position in squat jump (SJ) ($p < 0.01$; $0.24 < d_g < 0.58$) and countermovement jump (CMJ) ($p < 0.05$; $0.22 < d_g < 0.45$). Regarding the pairwise comparisons, players with the minimal impairment criteria (FT3) obtained higher deficit scores during SJ than those belonging to the FT1 and FT2 ($p = 0.003$; $1.00 < d_g < 1.56$). Defenders experienced the lowest performance compared to midfielders and attackers in SJ performance ($p = 0.027$; $0.94 < d_g < 1.28$). Significant correlations were obtained between Δ SJ or Δ CMJ and RPE or RPE-ML ($r = -0.58$ to -0.75 ; $p < 0.001$). These findings provide novel information supporting the notion that fatigue induced after a competitive match causes notable impairments in VJ performance differentiated according to sport class and playing position in para-footballers with CP.

Keywords: para-football; physical capacity; brain injury; vertical jump; Paralympic



Citation: Henríquez, M.; de Campos, L.F.C.; Muñoz-Hinrichsen, F.; Cornejo, M.I.; Yanci, J.; Reina, R. Neuromuscular Fatigue in Cerebral Palsy Football Players after a Competitive Match According to Sport Classification and Playing Position. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2022**, *19*, 6070. <https://doi.org/10.3390/ijerph19106070>

Academic Editors: Paul B. Tchounwou and Romuald Lepers

Received: 18 March 2022

Accepted: 10 May 2022

Published: 17 May 2022

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Cerebral palsy (CP) football is a team para-sport that is played 7-a-side on a 70 m × 50 m pitch (goals 5 m × 2 m), where participants must present a permanent neurological impairment of hypertonia, ataxia, or athetosis [1]. These body function deficiencies are provoked by congenital CP or related underlying health conditions (e.g., acquired brain injury), affecting the performance of motor activities [2]. In addition, CP is described as the most common motor disability of childhood, and it is considered to encompass a group of conditions with variable severity, often accompanied by secondary disturbances in different body systems and functions such as balance, coordination, or muscle tone [2]. Currently, CP football classification comprises three sports classes according to the impact of the eligible impairments on general and football-specific skills performance [3]. Hence, para-footballers are

classified as FT1, FT2, or FT3 according to the severity of the activity limitation (i.e., from more to less severe impact), but also considering their functional profile [i.e., bilateral spasticity or diplegia, overall coordination impairment (i.e., athetosis or ataxia), and unilateral spasticity or hemiplegia]. The sport class allocation is assigned after physical, technical, and observational assessments prior to the competition [1]. Overall, people with CP present the following: compromise of the descending neural pathways that control body movement, recruitment of motor units, produce muscle tone alterations, co-contraction, and progressive secondary musculoskeletal complications over the lifetime [2]. Specifically, CP football players (CPFPs) present neuromuscular compromise affecting endurance capacity [4], muscular strength [5], change of direction ability [6], repeated sprint ability [7], acceleration and deceleration performance [8], jump capacity [9], and whole physical performance during training or competition instances [3,10]. Given that CP football requires multiple actions of very high intensity and high neuromuscular capacity [7,11], which must be maintained throughout the competitive actions, it may be relevant to know the muscle fatigue of para-footballers induced by matches. There are several methods to quantify fatigue in football [12,13]; despite this, one of the most used is vertical jump (VJ) variation (pre- to post-match performance difference) analysis as an indirect neuromuscular fatigue indicator induced from match play [14–17]. Previous studies suggest that changes in VJ performance following football matches are related to neuromuscular fatigue due to the specific demands and the requirements of the anaerobic capacity in the lower limbs [18–20]. In this sense, several studies that used VJ assessment, such as squat jump (SJ) and counter-movement jump (CMJ) to monitor simulated or real post-match fatigue, demonstrated declines in height jump performance, using these fast and easy procedures [15,17,18,21].

Although SJ and CMJ protocols have been used and validated with CPFPs [9,22], to the best of the authors' knowledge, no previous study has analyzed the use of these tests to describe the impact of match demands on neuromuscular fatigue in this para-sport. Moreover, considering the differences of the physical capacity of CPFPs according to their sport classes [11,23], it could be pertinent to know whether the fatigue presents a similar magnitude of impact in the different player functional profiles. On the other hand, even in regular football [24,25], fatigue could be conditioned according to the playing position and the response activity profile to match demands. With regard to this variable, no previous studies have analyzed how the players' playing position influences the neuromuscular fatigue of CPFPs. Knowing the monitorization of post-match fatigue by using quick and simple methods, such as jump assessment, in para-footballers with CP could be essential to managing the recovery-process strategies planning training load sessions and identifying possible individual impairment-profile differences in fatigue-related responses [12].

Therefore, this study aimed (1) to determine the perceived match load according to sport classes and playing position, (2) to compare neuromuscular match-induced fatigue (i.e., pre-post-match jumping capacity variation) according to players' sport classes and playing positions, and (3) to explore whether the neuromuscular performance variation is associated with the perceived fatigue and match load of CPFPs.

2. Materials and Methods

2.1. Participants

A convenience sample of 56 male CPFPs (25.0 ± 7.0 years, 68.7 ± 11.7 kg, 1.70 ± 0.07 m, 23.9 ± 4.1 kg·m⁻²) participated in this study. All the players competed in the Chilean CP football league, and 15 of them belong to the national team. The participants' sport classes are described according to the classification rulebook of the International Federation of Cerebral Palsy Football (IFCPF) [1] and their regular playing position (i.e., defender (DEF), midfielders (MF), and attacker (AT)) (Table 1). The inclusion criterion for the study was to complete more than 50 min of the entire match playing time (i.e., official match time 60 min). Goalkeepers were excluded from this study due to the specialization of their position. All the players were given detailed verbal instructions and were fully familiarized with the procedures before testing. The study's characteristics were detailed in an oral explanation

to the participants, and their written informed consent was obtained in concordance with the declaration of Helsinki (2013). The Human Ethics Committee of the Santo Tomas University (reference no. 63.20) approved all the procedures of this study.

Table 1. Cerebral palsy football player’s characterization according to sports classification and playing position.

	FT1	FT2	FT3
Number of players	7 (12.5%)	40 (71.4%)	9 (16.1%)
Impairment			
Bilateral Spasticity	2 (3.6%)	–	–
Coordination Impairments	4 (7.1%)	–	1 (1.8%)
Unilateral Spasticity	1 (1.8%)	40 (71.4%)	8 (14.2%)
Playing Position			
Defender	2 (3.6%)	7 (12.5%)	–
Midfielder	1 (1.8%)	23 (41.1%)	4 (7.1%)
Attacker	4 (7.1%)	10 (17.8%)	5 (8.9%)

FT1–FT3: cerebral palsy football sport class.

2.2. Procedures

All the participants belonged to CP football club teams, which competed in a local tournament held in Chile. Six competitive matches were played on different days on the same field of normal size and in concordance with the official requirements of the IFCPF [26]. The matches consisted of 14 players (2 goalkeepers and 12 outfield players) and were played in a regular competition environment. All matches were performed outdoors on a synthetic grass pitch, with an ambient temperature between 20 and 23 °C and a relative humidity of $54.2 \pm 5.2\%$. The perceived load exertion was assessed in the players following each competitive match. In order to determine neuromuscular fatigue as conducted in previous studies with football players [14,15], the participants performed two VJ tests 30 min before starting the match during the team warm-up and immediately after the competitive CP football matches.

2.2.1. Match Intensity and Load

The rated perceived exertion (RPE) has increasingly been used to measure internal load and to determine the perceived effort in non-impaired football players [13,24,25,27] and previously utilized in players with CP [10,28]. This method has been described as being valid for quantifying efforts during training and football matches [29–31] and has been proposed for use in the context of football and other team sports [32,33]. For example, Foster et al. [34–36] proposed the RPE to assess the “hardness” of the entire training session and to evaluate internal load in endurance and team-sport athletes. In addition, the RPE provides information in a simple, practical, and low-cost way [37]. Especially in high-level performance contexts, where the use of technology is constrained due to the discomfort when players are at peak performance in competition, the RPE can be an excellent non-invasive method applied once the match is over [36], minimizing the intrusion in the collection of information. Due to the validity of this method and its facility, versatility, and low cost, the RPE was used in this study to quantify the internal load of the players during the matches. All the participants responded with regard to their perception on a 0-to-10-point scale [36], following 30 min of the official match to ensure that the perceived effort was referred to the whole session [31]. The players responded separately, without the presence of other players, to the RPE scale, which was administered by the same two persons (i.e., author researchers) [15,24]. Additionally, the internal match load was calculated by using the proposed method by Foster et al. [36] and Impellizzeri et al. [31], as follows: [perceived match load (RPE-ML) = RPE value \times match time (min)], expressed in arbitrary units (AU). The match time was considered, excluding warm-up and rest periods [38]. This match load quantification method was also used in a previous study with CPFPs [28].

2.2.2. Neuromuscular Capacity

The neuromuscular capacity was analyzed by assessing VJ performance [14,17], where SJ and CMJ were considered. The VJ test was performed by using a jump platform (2.5, DMJUMP, Santiago, Chile) on a stable surface and using the same protocol described previously in CPFPs who used the CMJ [9] and the SJ [22]. These tests were selected for a fast and straightforward application assessment, as has been performed in other studies analyzing the influence of match demands on physical parameters [14,17,18,21]. In the SJ, participants were instructed to perform two maximum VJs from an initial position with a knee flexion angle of 90° maintained for 2 s, before jumping without any rebound or countermovement [39]. During the starting to final jump position, the hands stayed on hips, and in the takeoff phase, the participants remained with their legs fully extended. In the landing phase, participants touched down with both feet together in an upright position. With regard to the CMJ, the participants started in a standing position, with fixed hands-on hips and knees fully extended, sustaining this position during the jump execution without using arm swing [22]. From this position, all participants performed a fast flexion-extension downward movement until the knee angle reached 90°, followed by performing a maximum VJ effort with legs fully extended and plantar flexion during the takeoff phase and landing on the starting place. For both tests, the jumps were made in two attempts, with rest intervals of one min between trials, registering the highest height obtained (cm). Those athletes who presented spastic hemiplegia and difficulty maintaining their hands on their hips were allowed to keep their hands at the sides of their body [22].

2.3. Data Analysis

All results were calculated as mean \pm standard deviation (SD). Kolmogorov–Smirnov and Levene’s tests were applied to verify the distribution and homogeneity of data. A mixed $2 \times 3 \times 3$ repeated-measures analysis of variance (ANOVA) was conducted, considering the match (pre-match vs. post-match measurements) as a within-group factor and the CP football sport classes (i.e., FT1, FT2, and FT3) and the playing positions (i.e., DEF, MF, and AT) as the between-group factors. A Tukey’s post hoc analysis was used to examine the pairwise differences among sport classes and playing positions. Student’s paired *t*-test was applied to determine the differences between pre- and post-VJ height performance in each subgroup of players according to their sport class and playing position. The delta value for height jumps’ variation (Δ cm) in SJ and CMJ was calculated by using the following formula: $\Delta = (\text{post-match jump height}) - (\text{pre-match jump height})$. Two effect-size indexes were used to assess the practical within- and between-group differences. On the one hand, partial eta-square (η_p^2) values were calculated as a measure of effect size for mean differences with the following interpretation: above 0.26, between 0.26 and 0.02, and lower than 0.02 were considered as large, medium, and small, respectively [40]. On the other hand, to calculate the effect size of post hoc within-group differences, Hedges’ *g* index was used [41]. This index is based on Cohen’s *d* index [42], but it provides an effect-size estimation, reducing the bias caused by small samples (i.e., subgroups with $n < 20$). Interpretations of Hedge’s *g* that were above 0.80, between 0.50 and 0.79, between 0.25 and 0.49, and lower than 0.25 were considered large, moderate, small, and trivial, respectively [41]. The pre-post performance differences were also calculated to explore pairwise differences according to sport classes and playing positions with their respective upper and lower confidence intervals. The relationship between VJ variation and perceived match load variables was calculated by using linear Spearman’s correlation (*r*). The correlation coefficients were qualitatively interpreted as follows: <0.09 , trivial; 0.10–0.29, small; 0.30–0.49, moderate; 0.50–0.69, large; 0.70–0.89, very large; and >0.90 nearly perfect [43]. Data analyses were performed by using the statistical package GraphPad Prism (GraphPad Software, version 8 for Windows, San Diego, CA, USA) and the Statistical Package for Social Sciences (SPSS Inc., version 26.0 for Windows, Chicago, IL, USA). Statistical significance was set at $p < 0.05$.

3. Results

In general, the overall sample results showed a mean RPE-ML of 370 ± 89 AU and RPE of 6.3 ± 1.5 . The mean played time of the participants was 58.9 ± 2.1 min. The RPE and RPE-ML responses of the participants among sport classes and playing positions are presented in Figure 1. With regards to the sport classes, the obtained scores were 376 ± 77 AU and 6.4 ± 1.3 for FT1, 365 ± 89 AU and 6.2 ± 1.5 for FT2, and 387 ± 104 AU and 6.4 ± 1.7 for the FT3. In terms of the playing positions, the observed values were 328 ± 93 AU and 5.5 ± 1.6 for the defenders, 370 ± 88.2 AU and 6.3 ± 1.5 for the midfielders, and 390 ± 86 AU and 6.6 ± 1.4 for the attackers. No significant differences were found for the overall and pairwise comparisons for the RPE and RPE-ML variables according to the two between-group factors of this study (i.e., sport classes and playing position).

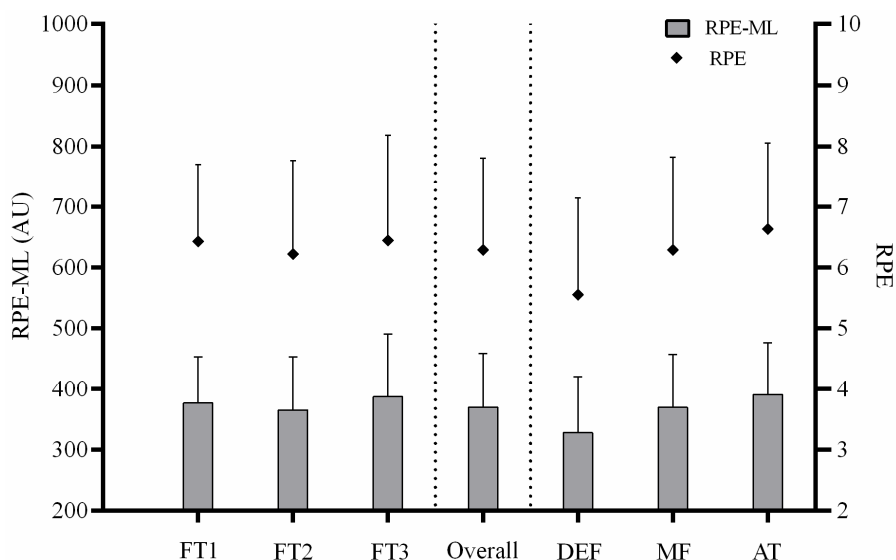


Figure 1. Perceived match load (RPE-ML) and perceived exertion (RPE) of participants among sport classification and playing position. FT1–FT3, cerebral palsy football sport classes; DEF, defender; MF, midfielder; AT, attacker.

For the overall sample, the VJ height was reduced following the football match, both in the SJ [23.7 ± 6.5 cm to 21.0 ± 5.7 cm, $\Delta = -2.71 \pm 1.55$ cm: $F(1,48) = 93.46$; $p < 0.001$; $\eta_p^2 = 0.88$, large] and CMJ [24.4 ± 6.7 cm to 21.6 cm ± 5.9 cm, $\Delta = -2.81 \pm 1.87$ cm: $F(1,48) = 44.17$; $p < 0.001$; $\eta_p^2 = 0.48$, large] measurements. No significant differences in the pretest or in the post-test were found in VJ performance between players' sport classes ($p = 0.064$ – 0.216) and playing position ($p = 0.381$ – 0.765) in each period of pre- and post-match measurements. Interaction effects between the within-group and between-group factors were found only for the pre–post measurement of the SJ and the sport classes [$F(2,48) = 4.50$; $p = 0.016$; $\eta_p^2 = 0.16$, medium]. Figure 2A,B shows the para-footballers' VJ performance according to their sport classes, while Figure 3A,B illustrates them in terms of considering their playing positions. With respect to the player's sport class, the paired *t*-test indicated a significant difference in VJ performance between pre–post-match measurements in all the classes for SJ (Figure 2A) in FT1 ($t(6) = 6.20$; $p = 0.001$, $d_g = 0.30$, small), FT2 ($t(39) = 11.37$; $p < 0.001$, $d_g = 0.42$, small), FT3 ($t(8) = 7.05$; $p < 0.001$, $d_g = 0.58$, moderate), and CMJ (Figure 2B) in FT1 ($t(6) = 2.69$; $p = 0.036$, $d_g = 0.31$, small), FT2 ($t(39) = 9.51$; $p < 0.001$, $d_g = 0.45$, small), and FT3 ($t(8) = 5.82$; $p < 0.001$, $d_g = 0.45$, small).

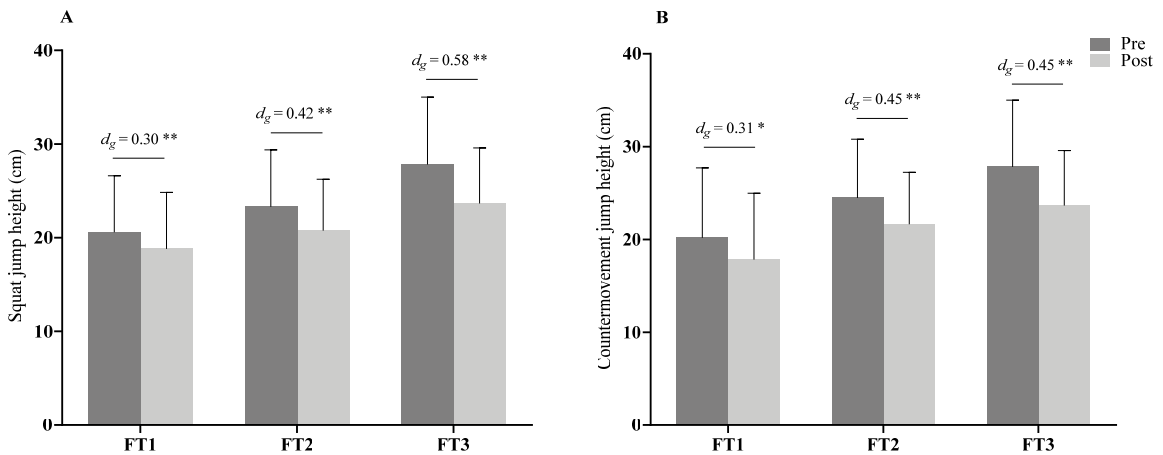


Figure 2. Vertical-jump height performance following football match on squat jump (A), and counter-movement jump (B) among sport classes. FT1–FT3, cerebral palsy football sport classes, d_g = effect size; ** ($p < 0.01$) and * ($p < 0.05$) are significant difference between pre- and post-match.

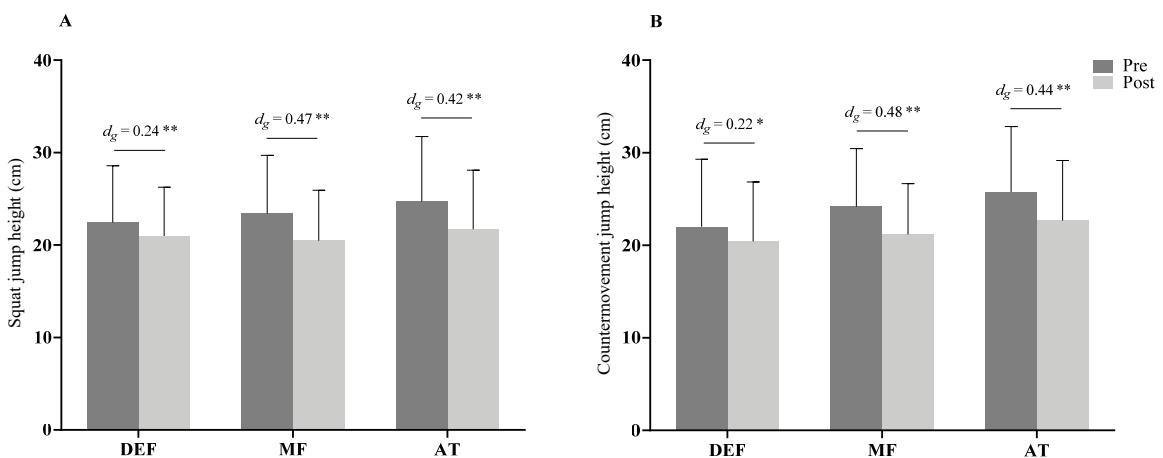


Figure 3. Vertical jump height performance following football match on squat jump (A) and counter-movement jump (B) among playing position. DEF, defender; MF, midfielder; AT, attacker, d_g = effect size; ** ($p < 0.01$) and * ($p < 0.05$) are significant difference between pre- and post-match.

With regards to playing position, after the matches significant differences were found for the SJ (Figure 3A) performance for DEF ($t(8) = 4.36$; $p = 0.002$, $d_g = 0.24$, trivial), MF ($t(27) = 9.27$; $p < 0.001$, $d_g = 0.47$, small), and AT ($t(18) = 9.75$; $p < 0.001$, $d_g = 0.42$, small). These differences were also found for CMJ (Figure 3B) in the playing positions of DEF ($t(8) = 2.42$; $p = 0.042$, $d_g = 0.22$, trivial), MF ($t(27) = 7.93$; $p < 0.001$, $d_g = 0.48$, small), and AT ($t(18) = 9.50$; $p < 0.001$, $d_g = 0.44$, small).

Table 2 shows the VJ performance decrement and pairwise comparison after the match in relation to CP football sport classes and playing positions. With regard to sport classes, significant differences were found for the SJ performance deterioration. Observing the pairwise comparisons, players with the minimal impairment criteria (FT3) obtained higher deficit scores during SJ capacity than those belonging to the FT1 and FT2 sport classes. Table 2 also reports the VJ deficits according to the playing positions. After the matches, significant differences were also found for the SJ performance deterioration, where defenders experienced the lowest performance compared to midfielders and attackers.

Table 2. Vertical jump performance variation (Δ cm, pre-match vs. post-match assessments) according to sport classes and playing position.

	FT1	FT2	FT3	d_g Pairwise Comparisons (LCI–UCI)			<i>p</i>
				FT1 vs. FT2	FT1 vs. FT3	FT2 vs. FT3	
Δ SJ (cm)	-1.8 ± 0.8 (−9.4%)	-2.5 ± 1.4 (−10.9%)	-4.2 ± 1.8 (−14.7%)	0.51 (−0.45–1.57)	1.56 ** (0.42–2.70)	1.00 ** (0.02–1.99)	0.003
Δ CMJ (cm)	-2.3 ± 2.3 (−12.1%)	-2.8 ± 1.9 (−11.4%)	-3.1 ± 1.6 (−11.0%)	0.25 (−0.55–1.06)	0.39 (−0.61–1.39)	0.16 (−0.56–0.88)	0.733
	DEF	MF	AT	DEF vs. MF	DEF vs. AT	MF vs. AT	<i>p</i>
Δ SJ (cm)	-1.4 ± 1.0 (−6.1%)	-2.9 ± 1.7 (−12.4%)	-3.0 ± 1.3 (−12.1%)	0.94 * (0.15–1.72)	1.28 * (0.41–2.14)	0.06 (−0.52–0.64)	0.027
Δ CMJ (cm)	-1.6 ± 2.0 (−6.8%)	-3.0 ± 2.0 (−12.3%)	-3.1 ± 1.4 (−12.3%)	0.68 (−0.08–1.45)	0.91 (0.08–1.74)	0.06 (−0.53–0.64)	0.099

Δ , deficit change; SJ, squat jump; CMJ, countermovement jump; FT1–FT3, cerebral palsy football sport classes; DEF, defender; MF, midfielder; AT, attacker; LCI, lower interval of confidence; UCI, upper interval of confidence. Repeated-measures ANOVA significant differences between FT classes or playing positions: ** $p < 0.01$ and * $p < 0.05$.

Looking at the associations between the Δ VJ performance with RPE and RPE-ML, we see that large inverse correlations ($p < 0.001$) were obtained between Δ SJ and RPE ($r = -0.59$) and RPE-ML ($r = -0.58$). Similar results were obtained between Δ CMJ and RPE ($r = -0.75$, $p < 0.001$) and RPE-ML ($r = -0.74$, $p < 0.001$).

4. Discussion

The purpose of this study was to compare the RPE and RPE-ML in football matches reported by CPFPs of different sport classes and playing positions to determine the impact of a competitive CP football match on the VJ performance variation as a neuromuscular fatigue indicator, also taking into account the players' sport classes and their playing positions, and to describe the association between VJ height variation and the RPE-ML or RPE. The major findings were as follows: (1) no differences were obtained for RPE-ML and RPE between sport classes and playing position; (2) CPFPs have significant decrements in SJ and CMJ performance across sport classes and playing positions after a competitive CP football match, evidencing an altered neuromuscular performance that affects jumping capacity; (3) during the SJ, FT3 had a higher jumping deterioration than FT1 and FT2 following the match, and MF and AT had a higher jumping deterioration than DEF; and (4) significant associations were found between VJ test decrements and RPE or RPE-ML.

The present results showed no significant differences between sport classes in the RPE-ML and RPE. In this regard, Henríquez et al. [10] found no differences between the sport classes in the RPE and the heart rate of CPFPs following the performance of two small-sided games and a simulation match, reinforcing the possibility that the mentioned factors may explain the absence of differences in the internal load across functional profiles. Contrary to the obtained results, previous studies observed differences in the external load of players' sport classes during international matches, showing the influence of the impairment profiles on physical response parameters [3,11]. Possibly, due to the functional differences between classes and despite the lower external load of FT1 and FT2 (more affected classes) than FT3, the internal load or the perceived exertion could be similar following a match. These results show that the player sport classes with more impairment, despite having a lower physical response than the more functional profiles, have a similar perceived perception effort [10]. Therefore, it would be interesting to quantify in CPFPs not only the external match response but also the internal or perceived load, because this could provide complementary match load information. For future studies, to confirm whether the internal load is similar, it would be necessary to quantify this by using methods such as heart rate monitoring in competitive conditions [16]. With regard to the playing positions, no differences were found in the perceived load variables in the competitive

match. These findings are consistent with what has been found in previous studies during matches with nondisabled professional football players [44,45]. However, other studies reported differences according to the perceived load exertion and playing position during competitive matches [24,25,46]. Nevertheless, the para-sport specific particularities must be considered in the analysis, where the playing positions are not entirely delimited, there is no offside rule, there is a presence of a lower number of players (7-a side), and there is a smaller field size than regular football, factors which could influence tactical strategies and the perceived exertion load during matches [11,47]. Even though the present study did not find differences in the RPE and ML according to sports classes and player positions, the use of these methods could be helpful in a practical setting to perform a post-match individual monitorization considering the specific CP football characteristics.

After a competitive match of CP football, the overall sample results indicated a decrease in VJ performance (SJ and CMJ). Similar to these results, a decrease in the VJ performance was also demonstrated after football matches with nondisabled footballers [12,14,16,17] and in a group of amputee para-footballers [48]. The competitive demands of CP football matches require high-intensity activities involving short-term actions by players who present specific impairments related to neurological conditions [11,47]. These high neuromuscular demands and the necessity of maintaining a work rate over the competitive match time in an intermittent activity could be one cause of the development of neuromuscular fatigue [49]. In addition, given that CP athletes have reported lower levels of muscle strength [5], asymmetrical adaptations for jumping tasks [50], and pacing strategies to compensate fatigue components during motor activities [51], these factors may contribute to greater VJ decrements after football-match activities.

With regard to each sport class result, a significant reduction in the VJ height was found across the functional profiles, showing neuromuscular-induced fatigue following the competitive match on SJ and CMJ measurements. Furthermore, regarding the pairwise comparison, FT3 players presented a higher marked reduction in SJ performance after the matches than their FT2 and FT1 counterparts. Players with the minimal impairment criteria (FT3) are described as performing best in very high-intensity activities and exhibit the best motor performance compared to other sport classes [3,9]. Considering that only one FT3 player per team can play at the same time and that this is the profile with the greater functionality [26], these players may have higher physical requirements during the game, a factor which would produce more muscle damage and fatigue, affecting their capacity of force production post-match [14]. However, regarding CMJ, no significant differences were obtained between sport classes. The CMJ is a widely used method for the assessment of fatigue; however, the neuromuscular aspects related to the fatigue can also manifest as an alternative movement strategy, variations of kinetic variables, and, in this case, possibly the influence of the functional profile [52]. Accordingly, Reina et al. [9] found that horizontal jumps (i.e., standing broad jump, four bounds for distance, and triple hop for distance) presented more differences between sport classes than VJ, based on each jump's specific demands (i.e., higher demands of coordination and balance). The non-significant differences between sport classes in CMJ could reflect an individual impairment-specific response to the match demands, where concentric force-generation was more affected and reflected during SJ performance [21,53]. Furthermore, according to Van Hooren and Zolotarjova [54], individuals with an impaired coordination function or inadequate capacity to correctly time muscle activation could have worse performance in SJ; however, they could perform a CMJ relatively well due to the capacity to uptake muscle slack and the buildup of stimulation during the countermovement. Thus, it is plausible to suggest that, for SJ, the height decrements were more marked according to the different classes, though the impact of fatigue expressed in CMJ performance had a similar influence across CP football profiles.

When examining the playing positions, a significant decrease was shown for SJ and CMJ among all position groups after the competitive match. For SJ, in comparing playing positions, a lower significant deterioration was reported in defenders than midfielders and

attackers. In this regard, Mohr et al. [55] showed that non-disabled footballers with a role as midfielders and attackers performed more high-intensity activities (i.e., the distance at a high intensity) than defenders, and they experienced fatigue toward the end of matches, as well as temporarily during the game, independent of playing position. Similarly, previous studies reported that, during professional matches, central defenders performed a lower distance covered at different intensities compared to other playing positions [56,57]. Indeed, multiple factors could affect the work rate and produce fatigue during the match, such as the tactical role [58], level of play [59], and physical fitness [49]. Unfortunately, in the case of CPFPs, as far as the authors are aware, no studies have analyzed whether the match load is different for players depending on the playing position. Caution is necessary to interpret the findings of this study due to the different functional performance based on the disability profile in the case of para-athletes with CP and considering the CP football's technical/tactical particularities, which can differ from regular football. The significant performance loss found in VJ after a competitive match should concern coaches for addressing adequate recovery periods during congested calendars or after intense games, especially for those who showed more jump height decrements, such as FT3 players and those with MF or AT playing roles.

The relationship found in the present study between VJ deterioration and perceived load parameters indicates that players with lower perceived exertion during the match presented lower reductions in VJ height. Rampinini et al. [60] reported significant relationships between player match RPE and peripheral fatigue indicators related to a reduced muscle contractile capacity. Contrary to these findings, Benítez-Jiménez et al. [58] showed no significant relationship between the change in CMJ height and the average RPE following consecutive friendly matches in young football players. It seems that those CPFPs with higher RPE or RPE-ML values would present greater neuromuscular fatigue represented by a VJ deterioration following a competitive match. Therefore, from a training point of view, it could be relevant for coaches to implement training protocols oriented to obtaining a superior physical fitness to promote a reduction in the match perceived exertion, without a reduction in physical requirements, and consequently produce less neuromuscular fatigue [13,46]. These findings provide novel information regarding relationships between perceived load and neuromuscular fatigue produced in CPFPs after competitive matches, approaches which could improve the physical assessment of this group of para-footballers.

Although this research has been carried out with high scientific standards and methodological rigor, the main limitation is that objective methods have not been used to quantify match load. Taking into account the possible limitations that the RPE-ML may have, it would be interesting if, in future studies, the quantification of the match load could be complemented with objective load quantification methods.

5. Conclusions

The VJ testing could provide data for coaches' training sessions, the implementation of recovery strategies, and the assessment of neuromuscular fatigue of para-footballers with CP. The SJ and CMJ were demonstrated to be useful in assessing neuromuscular fatigue in CP footballers; however, the SJ should be considered in terms of the characteristics of each player's sports classes and playing positions. These results should be interpreted with caution due to the number of participants in each group, according to sport classes and playing positions. It is also necessary to consider the influence of physical, technical, and tactical demands specific to different classification profiles, and the absence of the assessment for additional neuromuscular fatigue variables (e.g., repeated sprint ability, sprint, biochemical markers, maximal voluntary strength, or kinematic markers). The present data provide novel information suggesting that VJ tests could be a useful indirect measure of neuromuscular fatigue expressed in height jump loss after a football match, highlighting that CP football can be a modality with high neuromuscular demands. The SJ performance pointed out some differences regarding fatigue manifestation, considering players' sport classes and playing positions, especially for less impaired players (i.e., FT3)

and those assuming tactical roles in midfield and forward positions. A practical application of using VJ tests is that technical staff could indirectly estimate neuromuscular and fatigue status, providing necessary information to adjust individual recovery strategies according to CP footballers' requirements [14]. A possible limitation of the present study is that it did not include other internal or external load variables, as this, in conjunction with the use of subjective perception tool and VJ, could provide a better comprehension of the load-fatigue process in competitive matches of CP football. Further studies could also consider larger international-level sample sizes to compare sports performance according to playing position and/or sport classes, in combination with the addition of multiple variables that are relevant to neuromuscular fatigue and the time-course recovery that can allow the design of individualized training programs approaching the competitive season. Moreover, more research is needed to explore the use of methods differentiating between respiratory and muscular perceived effort, alternatives that could provide an individual approach to quantify the internal load in para-footballers with CP [38]. In agreement, future research would examine differences in the match RPE between CP football players and non-impaired footballers, hypothesizing that data may provide insights to understand the feasibility of the use of tools for the subjective perception of the efforts in the specific para-sport contexts [51].

Author Contributions: Conceptualization, L.F.C.d.C., F.M.-H. and M.H.; methodology, L.F.C.d.C.; software, L.F.C.d.C.; validation, L.F.C.d.C., M.I.C., R.R. and M.H.; formal analysis, L.F.C.d.C. and R.R.; investigation, L.F.C.d.C., M.I.C., R.R. and M.H.; resources L.F.C.d.C., F.M.-H. and J.Y.; data curation L.F.C.d.C.; writing—original draft preparation, M.H., M.I.C. and L.F.C.d.C.; writing—review and editing, M.H., M.I.C. and R.R., J.Y.; visualization, L.F.C.d.C., F.M.-H. and R.R.; supervision, L.F.C.d.C., M.H. and R.R.; project administration, L.F.C.d.C., F.M.-H. and R.R.; funding acquisition, L.F.C.d.C., F.M.-H., R.R. and J.Y. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: The authors gratefully acknowledge the support of Spanish Government subproject entitled "Integration ways between qualitative and quantitative data, multiple case development, and synthesis review as the main axis for an innovative future in physical activity and sports research" (PGC2018-098742-B-C31) (2019–2021) (Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, Programa Estatal de Generación de Conocimiento y Fortalecimiento Científico y Tecnológico del Sistema I+D+i), that is part of a coordinated project entitled "New approach of research in physical activity and sport from a mixed methods perspective" (NARPAS_MM) (SPGC201800X098742CV0).

Institutional Review Board Statement: The study was conducted according to the guidelines of the Declaration of Helsinki and approved by the Institutional Review Board of the Santo Tomas University (reference protocol code 63.20).

Informed Consent Statement: Informed consent was obtained from all subjects involved in the study.

Data Availability Statement: All relevant data are within the paper.

Acknowledgments: We would like to thank the Chilean Cerebral Palsy Football Federation, Rene Vergara Fuentes, and Sebastian Cumsille for their collaboration in collecting data for this study.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. International Federation of Cerebral Palsy Football (IFCPF). Classification Rules and Regulations. Available online: <https://www.ifcpf.com/about-classification> (accessed on 20 September 2020).
2. Graham, H.K.; Rosenbaum, P.; Paneth, N.; Dan, B.; Lin, J.-P.; Damiano, D.L.; Becher, J.G.; Gaebler-Spira, D.; Colver, A.; Reddiough, D.S.; et al. Cerebral Palsy. *Nat. Rev. Dis. Prim.* **2016**, *2*, 15082. [CrossRef]
3. Reina, R.; Iturricastillo, A.; Castillo, D.; Urbán, T.; Yanci, J. Activity Limitation and Match Load in Para-Footballers with Cerebral Palsy: An Approach for Evidence-Based Classification. *Scand. J. Med. Sci. Sports* **2020**, *30*, 496–504. [CrossRef]
4. Kloyiam, S.; Breen, S.; Jakeman, P.; Conway, J.; Hutzler, Y. Soccer-Specific Endurance and Running Economy in Soccer Players with Cerebral Palsy. *Adapt. Phys. Activ. Q.* **2011**, *28*, 354–367. [CrossRef] [PubMed]
5. De Groot, S.; Dallmeijer, A.; Bessems, P.; Lamberts, M.; Woude, L.; Janssen, T. Comparison of Muscle Strength, Sprint Power and Aerobic Capacity in Adults with and without Cerebral Palsy. *J. Rehabil. Med.* **2012**, *44*, 932–938. [CrossRef]

6. Reina, R.; Sarabia, J.M.; Yanci, J.; García-Vaquero, M.P.; Campayo-Piernas, M. Change of Direction Ability Performance in Cerebral Palsy Football Players According to Functional Profiles. *Front. Physiol.* **2016**, *6*, 409. [CrossRef] [PubMed]
7. Henríquez, M.; Kokaly, M.; Herrera, F.; Reina, R. The Relationship among Repeated Sprint and Change of Direction Abilities in Football Players with Cerebral Palsy. *Kinesiology* **2020**, *52*, 208–216. [CrossRef]
8. Reina, R.; Sarabia, J.M.; Caballero, C.; Yanci, J. How Does the Ball Influence the Performance of Change of Direction and Sprint Tests in Para-Footballers with Brain Impairments? Implications for Evidence-Based Classification in CP-Football. *PLoS ONE* **2017**, *12*, e0187237. [CrossRef]
9. Reina, R.; Iturricastillo, A.; Sabido, R.; Campayo-Piernas, M.; Yanci, J. Vertical and Horizontal Jump Capacity in International Cerebral Palsy Football Players. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2018**, *13*, 597–603. [CrossRef]
10. Henríquez, M.; Iturricastillo, A.; González-olguín, A.; Herrera, F.; Riquelme, S.; Reina, R. Time–Motion Characteristics and Physiological Responses of Para-Footballers with Cerebral Palsy in Two Small-Sided Games and a Simulated Game. *Adapt. Phys. Act. Q.* **2021**, *38*, 232–247. [CrossRef]
11. Yanci, J.; Castillo, D.; Iturricastillo, A.; Urbán, T.; Reina, R. External Match Loads of Footballers with Cerebral Palsy: A Comparison among Sport Classes. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2018**, *13*, 590–596. [CrossRef]
12. Brownstein, C.G.; Dent, J.P.; Parker, P.; Hicks, K.M.; Howatson, G.; Goodall, S.; Thomas, K. Etiology and Recovery of Neuromuscular Fatigue Following Competitive Soccer Match-Play. *Front. Physiol.* **2017**, *8*, 831. [CrossRef] [PubMed]
13. Los Arcos, A.; Yanci, J.; Mendiguchia, J.; Gorostiaga, E.M. Rating of Muscular and Respiratory Perceived Exertion in Professional Soccer Players. *J. Strength Cond. Res.* **2014**, *28*, 3280–3288. [CrossRef] [PubMed]
14. De Hoyo, M.; Cohen, D.D.; Sañudo, B.; Carrasco, L.; Álvarez-Mesa, A.; del Ojo, J.J.; Domínguez-Cobo, S.; Mañas, V.; Otero-Esquina, C. Influence of Football Match Time–Motion Parameters on Recovery Time Course of Muscle Damage and Jump Ability. *J. Sports Sci.* **2016**, *34*, 1363–1370. [CrossRef] [PubMed]
15. Krstrup, P.; Zebis, M.; Jensen, J.M.; Mohr, M. Game-Induced Fatigue Patterns in Elite Female Soccer. *J. Strength Cond. Res.* **2010**, *24*, 437–441. [CrossRef] [PubMed]
16. Mohr, M.; Mujika, I.; Santisteban, J.; Randers, M.B.; Bischoff, R.; Solano, R.; Hewitt, A.; Zubillaga, A.; Peltola, E.; Krstrup, P. Examination of Fatigue Development in Elite Soccer in a Hot Environment: A Multi-Experimental Approach. *Scand. J. Med. Sci. Sports* **2010**, *20*, 125–132. [CrossRef] [PubMed]
17. Robineau, J.; Jouaux, T.; Lacroix, M.; Babault, N. Neuromuscular Fatigue Induced by a 90-Minute Soccer Game Modeling. *J. Strength Cond. Res.* **2012**, *26*, 555–562. [CrossRef]
18. Carling, C.; Lacombe, M.; McCall, A.; Dupont, G.; Le Gall, F.; Simpson, B.; Buchheit, M. Monitoring of Post-Match Fatigue in Professional Soccer: Welcome to the Real World. *Sports Med.* **2018**, *48*, 2695–2702. [CrossRef]
19. Hader, K.; Rumpf, M.C.; Hertzog, M.; Kilduff, L.P.; Girard, O.; Silva, J.R. Monitoring the Athlete Match Response: Can External Load Variables Predict Post-Match Acute and Residual Fatigue in Soccer? A Systematic Review with Meta-Analysis. *Sports Med.-Open* **2019**, *5*, 48. [CrossRef]
20. Watkins, C.M.; Barillas, S.R.; Wong, M.A.; Archer, D.C.; Dobbs, I.J.; Lockie, R.G.; Coburn, J.W.; Tran, T.T.; Brown, L.E. Determination of Vertical Jump as a Measure of Neuromuscular Readiness and Fatigue. *J. Strength Cond. Res.* **2017**, *31*, 3305–3310. [CrossRef]
21. Oliver, J.; Armstrong, N.; Williams, C. Changes in Jump Performance and Muscle Activity Following Soccer-Specific Exercise. *J. Sports Sci.* **2008**, *26*, 141–148. [CrossRef]
22. Yanci, J.; Castagna, C.; Los Arcos, A.; Santalla, A.; Grande, I.; Figueroa, J.; Camara, J. Muscle Strength and Anaerobic Performance in Football Players with Cerebral Palsy. *Disabil. Health J.* **2016**, *9*, 313–319. [CrossRef] [PubMed]
23. Reina, R.; Iturricastillo, A.; Castillo, D.; Roldan, A.; Toledo, C.; Yanci, J. Is Impaired Coordination Related to Match Physical Load in Footballers with Cerebral Palsy of Different Sport Classes? *J. Sports Sci.* **2021**, *39* (Suppl. 1), 140–149. [CrossRef] [PubMed]
24. Azcárate, U.; Yanci, J.; Arcos, A.L. Differentiated Perceived Match Load and Its Variability According to Playing Position in Professional Soccer Players during an Entire Season. *Kinesiology* **2020**, *52*, 103–108. [CrossRef]
25. Barrett, S.; McLaren, S.; Spears, I.; Ward, P.; Weston, M. The Influence of Playing Position and Contextual Factors on Soccer Players' Match Differential Ratings of Perceived Exertion: A Preliminary Investigation. *Sports* **2018**, *6*, 13. [CrossRef]
26. International Federation of Cerebral Palsy Football (IFCPF). Modifications to the Laws of the Game. Available online: <https://www.ifcpf.com/static/upload/raw/b669a53f-79f1-492a-8c8a-8608d06f2030/IFCPF++Modifications+to+the+Laws+of+the+Game++2018.pdf> (accessed on 18 March 2020).
27. Campos-Vazquez, M.; Toscano-Bendala, F.; Mora-Ferrera, J.; Suarez-Arrones, L. Relationship between Internal Load Indicators and Changes on Intermittent Performance after the Preseason in Professional Soccer Players. *J. Strength Cond. Res.* **2017**, *31*, 1477–1485. [CrossRef]
28. De Freitas, V.H.; Nakamura, F.Y.; de Faria, F.R.; Dantas, M.J.; Souza, N.C.; Buratti, J.R.; de Freitas, A.; Figueiredo, D.H.; Golçalves, H.R.; Junior, W.N.; et al. Internal Training Load and Performance Indices of Cerebral Palsy Football Players and Effects of One Week with and without Training on Heart Rate Variability. *J. Phys. Educ. Sport* **2020**, *20*, 3017–3022. [CrossRef]
29. Alexiou, H.; Coutts, A.J. A Comparison of Methods Used for Quantifying Internal Training Load in Women Soccer Players. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2018**, *3*, 320–330. [CrossRef]
30. Casamichana, D.; Castellano, J.; Calleja-Gonzalez, J.; San Román, J.; Castagna, C. Relationship Between Indicators of Training Load in Soccer Players. *J. Strength Cond. Res.* **2013**, *27*, 369–374. [CrossRef]

31. Impellizzeri, F.M.; Rampinini, E.; Coutts, A.J.; Sassi, A.; Marcora, S.M. Use of RPE-Based Training Load in Soccer. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2004**, *36*, 1042–1047. [[CrossRef](#)]
32. Scott, T.J.; Black, C.R.; Quinn, J.; Coutts, A.J. Validity and Reliability of the Session-RPE Method for Quantifying Training in Australian Football. *J. Strength Cond. Res.* **2013**, *27*, 270–276. [[CrossRef](#)]
33. Coyne, J.O.C.; Coutts, A.J.; Newton, R.U.; Haff, G.G. The Current State of Subjective Training Load Monitoring: Follow-Up and Future Directions. *Sports Med. Open* **2022**, *8*, 53. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
34. Foster, C.; Hector, L.L.; Welsh, R.; Schrager, M.; Green, M.A.; Snyder, A.C. Effects of Specific Versus Cross Training on Running Performance. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* **1995**, *70*, 367–372. [[CrossRef](#)]
35. Foster, C.; Daines, E.; Hector, L.; Snyder, A.C.; Welsh, R. Athletic Performance in Relation to Training Load. *Wis. Med. J.* **1996**, *95*, 370–374. [[PubMed](#)]
36. Foster, C.; Florhaug, J.A.; Franklin, J.; Gottschall, L.; Hrovatin, L.A.; Parker, S.; Doleshal, P.; Dodge, C. A New Approach to Monitoring Exercise Training. *J. Strength Cond. Res.* **2001**, *15*, 109–115. [[PubMed](#)]
37. Borg, G. Psychophysical Bases of Perceived Exertion. *Med. Sci. Sports Exerc.* **1982**, *14*, 377–381. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
38. Arcos, A.L.; Méndez-Villanueva, A.; Yanci, J.; Martínez-Santos, R. Respiratory and Muscular Perceived Exertion during Official Games in Professional Soccer Players. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2016**, *11*, 301–304. [[CrossRef](#)]
39. Loturco, I.; D’Angelo, R.A.; Fernandes, V.; Gil, S.; Kopal, R.; Abad, C.C.C.; Kitamura, K.; Nakamura, F.Y. Relationship Between Sprint Ability and Loaded/Unloaded Jump Tests in Elite Sprinters. *J. Strength Cond. Res.* **2015**, *29*, 758–764. [[CrossRef](#)]
40. Pierce, C.A.; Block, R.A.; Aguinis, H. Cautionary Note on Reporting Eta-Squared Values from Multifactor ANOVA Designs. *Educ. Psychol. Meas.* **2004**, *64*, 916–924. [[CrossRef](#)]
41. Hedges, L.; Olkin, I. *Statistical Methods for Meta-Analysis*; Academic Press: San Diego, CA, USA, 1985.
42. Cohen, J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*; Routledge Academic: New York, NY, USA, 1988.
43. Hopkins, W.G.; Marshall, S.W.; Batterham, A.M.; Hanin, J. Progressive Statistics for Studies in Sports Medicine and Exercise Science. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2009**, *41*, 3–12. [[CrossRef](#)]
44. Castillo, D.; Raya-González, J. Internal Load in Elite Young Soccer Players during a Whole Season According to Playing Positions. *Int. J. Phys. Educ. Fit. Sports* **2018**, *7*, 36–41. [[CrossRef](#)]
45. Conde, J.H.S.; Alves, D.L.; Novack, L.F.; Carneiro, C.F.; Cruz, R.; Osiecki, R. Comparisons of Recovery, External and Internal Load by Playing Position and Match Outcome in Professional Soccer. *Motriz. Rev. Educ. Fis.* **2018**, *24*, 1–5. [[CrossRef](#)]
46. Barte, J.C.M.; Nieuwenhuys, A.; Geurts, S.A.E.; Kompier, M.A.J. Fatigue Experiences in Competitive Soccer: Development during Matches and the Impact of General Performance Capacity. *Fatigue Biomed. Health Behav.* **2017**, *5*, 191–201. [[CrossRef](#)]
47. Yanci, J.; Castillo, D.; Iturricastillo, A.; Reina, R. Evaluation of the Official Match External Load in Soccer Players with Cerebral Palsy. *J. Strength Cond. Res.* **2019**, *33*, 866–873. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
48. Simim, M.A.; Bradley, P.S.; Da Silva, B.V.; Mendes, E.L.; De Mello, M.T.; Marocolo, M.; Da Mota, G.R. The Quantification of Game-Induced Muscle Fatigue in Amputee Soccer Players. *J. Sports Med. Phys. Fit.* **2017**, *57*, 766–772. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
49. Reilly, T.; Drust, B.; Clarke, N. Muscle Fatigue during Football Match-Play. *Sports Med.* **2008**, *38*, 357–367. [[CrossRef](#)]
50. Runciman, P.; Tucker, R.; Ferreira, S.; Albertus-Kajee, Y.; Derman, W. Effects of Induced Volitional Fatigue on Sprint and Jump Performance in Paralympic Athletes with Cerebral Palsy. *Am. J. Phys. Med. Rehabil.* **2016**, *95*, 277–290. [[CrossRef](#)]
51. Runciman, P.; Tucker, R.; Ferreira, S.; Albertus-Kajee, Y.; Derman, W. Paralympic Athletes with Cerebral Palsy Display Altered Pacing Strategies in Distance-Deceived Shuttle Running Trials. *Scand. J. Med. Sci. Sports* **2016**, *26*, 1239–1248. [[CrossRef](#)]
52. Gathercole, R.; Sporer, B.; Stellingwerff, T.; Sleivert, G. Alternative Countermovement-Jump Analysis to Quantify Acute Neuromuscular Fatigue. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2015**, *10*, 84–92. [[CrossRef](#)]
53. Rodacki, A.L.F.; Fowler, N.E.; Bennett, S.J. Vertical Jump Coordination: Fatigue Effects. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2002**, *34*, 105–116. [[CrossRef](#)]
54. Van Hooren, B.; Zolotarjova, J. The Difference between Countermovement and Squat Jump Performances: A Review of Underlying Mechanisms with Practical Applications. *J. Strength Cond. Res.* **2017**, *31*, 2011–2020. [[CrossRef](#)]
55. Mohr, M.; Krustup, P.; Bangsbo, J. Match Performance of High-Standard Soccer Players with Special Reference to Development of Fatigue. *J. Sports Sci.* **2003**, *21*, 519–528. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
56. Bradley, P.S.; Sheldon, W.; Wooster, B.; Olsen, P.; Boanas, P.; Krustup, P. High-Intensity Running in English FA Premier League Soccer Matches. *J. Sports Sci.* **2009**, *27*, 159–168. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
57. Di Salvo, V.; Baron, R.; Tschan, H.; Montero, F.J.C.; Bachl, N.; Pigozzi, F. Performance Characteristics According to Playing Position in Elite Soccer. *Int. J. Sports Med.* **2007**, *28*, 222–227. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
58. Benítez-Jiménez, A.; Falces-Prieto, M.; García-Ramos, A. Jump Performance after Different Friendly Matches Played on Consecutive Days. *Rev. Int. Med. Ciencias Act. Fis. Deport.* **2020**, *20*, 185–196. [[CrossRef](#)]
59. Rampinini, E.; Impellizzeri, F.M.; Castagna, C.; Coutts, A.J.; Wisløff, U. Technical Performance during Soccer Matches of the Italian Serie A League: Effect of Fatigue and Competitive Level. *J. Sci. Med. Sport* **2009**, *12*, 227–233. [[CrossRef](#)]
60. Rampinini, E.; Bosio, A.; Ferraresi, I.; Petruolo, A.; Morelli, A.; Sassi, A. Match-Related Fatigue in Soccer Players. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2011**, *43*, 2161–2170. [[CrossRef](#)]



Article

Comparison of the vertical jump performance of footballers with cerebral palsy at different competitive levels

Matías Henríquez^{1,2*}, Kevin Campos-Campos³, Raúl Smith⁴, Sebastián Aliste⁵, Sonny Riquelme⁶, and Raul Reina¹

Received: 21st October 2021; 19th November 2022: date; Published: 11th April 2023

Abstract: Vertical jump (VJ) capacity is a common assessment for monitoring athletes' neuromuscular function and has been proposed as a differentiating indicator between competitive levels of football players. This study aimed to compare the VJ capacity of Chilean footballers with cerebral palsy (CP) with international and national levels of proficiency, also according to their sport classes (i.e., FT1–FT3). A total sample of 41 male footballers with CP were divided into international-level ($n = 18$) and national-level ($n = 23$) groups. All the participants performed two maximal squat jumps (SJs) and countermovement jumps (CMJs), where the best height obtained was registered. The VJ performance was significantly different between competitive levels, and players at international level had better scores ($p < .001$) than the national level in SJ ($d_g = 1.83$, large) and CMJ ($d_g = 2.08$, large). Considering the sport classes, significant differences were found in SJ ($p = .024$) and CMJ ($p = .035$), in which FT3 players performed higher jumping heights than FT1 players ($d_g = -.84$ to -1.01 , large). These results provide a deeper understanding of the differences in the motor impairment-specific performance of para-footballers with CP, where coaches and strength-conditioning professionals should consider VJ assessment for monitoring training and as a component for talent detection in this para-sport.

Keywords: para-sport; brain impairments; motor impairment; para-football

Introduction

Football is described as a complex discipline involving physical fitness factors that are considered relevant for the realisation of intermittent activities during technical and tactical requirements of the game (Stølen et al., 2005). In this regard, vertical jump (VJ) capacity has a relevant role as a frequent assessment parameter due to the relationship with lower-limb power-generating function and its implication during motor actions performed in vertical and horizontal planes of movement (Dobbs et al., 2015; Mujika et al., 2009; Rampinini et al., 2007). Moreover, VJ is also considered critically important for monitoring training effects (Pagaduan et al., 2019), a suitable method to measure the neuromuscular status (i.e., stretch-shortening cycle; Maulder & Cronin, 2005), and has been supported by certain studies as a differentiating indicator between football players' competitive levels (Arnason et al., 2004; Ruiz-Ariza et al., 2015).

Cerebral palsy (CP) football is a variant of the regular discipline practised by players with neurological conditions related to motor impairments of spasticity, athetosis/dystonia, or ataxia (IFCPF, 2018). This para-sport presents some modifications in technical rules (e.g.,

the no-offside rule), game field dimensions (i.e., 70 x 50 m, goals of 3 x 2 m), and a structured classification system that provides competitive opportunities for para-footballers with CP (Reina, 2014). Currently, the CP football classification allows the categorisation of different functional profiles, allocating para-footballers to three-sport classes (FT1, FT2, and FT3) according to the impact of the eligible impairment on the activity limitation of specific physical and football skills performance (Peña-González et al., 2020; Reina et al., 2020a). Moreover, these three sport classes have a range according to the level of impairment severity, where 1 = severe involvement, 2 = moderate involvement, and 3 = mild involvement are organized by the functional profile of the players. Functional profiles include A = bilateral spasticity, B = athetosis/dystonia or ataxia, and C = unilateral spasticity (Henríquez et al., 2021).

According to previous studies, para-footballers with CP present differentiated responses in terms of the specific demands of the sport, mainly influenced by the impact of the impairment and its severity on physical conditioning parameters (Reina et al., 2020a; Yanci et al., 2018). In this regard, there have been several studies that described a lower anaerobic capacity (Yanci et al., 2016), the existence of lower-limb asymmetries (Alarcón et al., 2021; Reina et al., 2019; Reina et al., 2020b), impaired muscle coactivation (Hussain et al., 2014), and lower force production (Moreau et al., 2012), which could contribute to a reduced VJ output in comparison to non-impaired football players. Clutterbuck and colleagues (2021) suggested that the use of sport-specific gross motor assessments such as running and VJ field testing are suitable procedures to assess higher-level sport ability in children with CP. In that sense, VJ assessment could potentially become a parameter that provides valuable information for talent identification programs, which in the case of para-athletes is mainly influenced by the impairment nature and the classification factor (Dehghansai et al., 2021). Studies performed in football players with CP have shown the utility of the VJ assessment using squat jumps (SJs) and countermovement jumps (CMJs) in the estimation of anaerobic fitness (Yanci et al., 2016) and the distinction between sport classes and with controls (Reina et al., 2018). Additionally, some authors examined kinetic and kinematic characteristics of the VJ performance, such as jump height displacement (Yanci et al., 2014), vertical ground reaction forces (Cámara et al., 2013), peak power output (Yanci et al., 2016) and postural control (Reina et al., 2019) variables, describing the activity limitation of individuals with CP when jumping.

However, the above-mentioned studies were only conducted with high-level international para-footballers, so there is limited information about the differences in performance when comparing players with different levels of sport proficiency. Additionally, the comparison of VJ performance between players at different competitive levels remains unknown, and there is a knowledge gap regarding the potential usage of VJ for talent identification or discrimination between competitive level constructs (Castagna & Castellini, 2013). Therefore, this study aimed to compare the VJ performance of footballers with CP at different competition-levels (i.e., international-level vs national-local) and to describe the VJ proficiency of both levels of footballers with CP according to their sport classes.

Materials and Methods

Participants

A convenience sample of male para-footballers from different national CP football tournaments was recruited to participate in the study. The inclusion criteria were to be classified as Gross Motor Function Classification System Level I (Palisano et al., 2008), belonged to Chilean CP football teams and present a sport class according to the International Federation of Cerebral Palsy Football (IFCPF) classification guidelines. The players were divided into two groups based on their competitive experience level, that is,

international level and national level. The international-level group consisted of para-footballers who had competed in international matches representing a national team (i.e., Americas region and world-level tournaments), whereas the national-level group comprised only players without any international competitive experience. All the players had at least one year of experience at their specific competitive level at the time of measurements. Players' club teams usually performed 1–4 sessions per week and played in local competitive fixtures distributed in four tournaments during the year. Before participation in this investigation, each participant was advised about the experimental procedures involved and signed a written informed consent form. The protocol and experimental procedures approval was obtained from the human ethics committee of Santo Tomas University (Code n° 63.20) following the Helsinki declaration guidelines.

All the para-footballers participated during the 2019–2020 competitive season of the national Chilean CP football tournament, where players performed VJ assessment procedures before competitive matches. The participants were adequately familiarised with testing procedures, and the measurements were performed after a standardised 15 min warm-up, including light jogging, changes of direction, skipping exercises, two acceleration drills, and self-administered submaximal attempts of SJ and CMJ practice (Mujika et al., 2009). To determine the VJ height performance as done in previous studies in footballers with CP (Reina et al., 2018; Yanci et al., 2014), the players performed two maximal SJs and CMJs using a jump platform (2.5, DMJUMP, Santiago, Chile) placed on a stable surface.

Vertical jump assessments

For the realisation of the SJs, the players were instructed to jump as high as possible from an initial static position with an approximate 90° knee flexion angle maintained for 2 seconds before the attempts, without any rebound or countermovement during the jump (Loturco et al., 2015). In the CMJs, the participants start from an erect position performing a rapid flexion-extension downward movement until the knees reach an angle of 90°. Then, they immediately jumped vertically for maximum height (Markovic et al., 2004). For all the attempts, verbal instructions and encouragement was provided for better performance (Coswig et al., 2019). Each player performed two maximal SJs and CMJs with 1 min rest between trials and 5 min of recovery between each jumping test. For statistical analysis, the best height, in centimetres, obtained was registered. For both jumps, hands remained at the hips during the entire movement; however, those athletes who presented spastic hemiplegia and difficulty maintaining their hands to their hips were allowed to keep their hands on the side of their body (Yanci et al., 2016). Additionally, the elastic index (EI) was obtained to analyze the effect of the stretch-shortening cycle calculated by the following formula used in previous studies:

$$EI = [(CMJ - SJ) \cdot 100] / SJ$$

where the EI is expressed in % (Bosco & Komi, 1979; Yanci et al., 2014; Yanci et al., 2016).

Statistical analyses

The results are presented as means (*M*) and standard deviation (*SD*). Assumptions of normal distribution and homogeneity of variance were verified using Kolmogorov–Smirnov and Levene's test, respectively. A 2x3 design multifactorial analysis of variance (ANOVA) was used to compare VJ height performance and the EI considering the competitive level (international vs national) and sport classes (FT1, FT2, and FT3), also explored the interaction between both between-group factors. Tukey's post hoc test was performed to determine pairwise comparisons between the levels of the players' sport classes. Partial eta-

square (η^2) values were obtained from the ANOVA analyses as a measure of effect size for mean differences with the following interpretation, above .26, between .26 and .02, and lower than .02 were considered as large, medium, and small, respectively (Pierce et al., 2004). To calculate the effect size for pair comparisons, Hedges' g index was used (Hedges & Olkin, 1985). This index is based on Cohen's d index (Cohen, 1988), but it provides an effect size estimation reducing the bias caused by small samples ($n < 20$). Interpretation of Hedges' g above .80, between .50 and .79, between .25 and .49, and lower than .25 and were considered large, moderate, small, and trivial, respectively. The statistical analyses were performed using the SPSS version 26 and the statistical package GraphPad Prism (version 8.2; GraphPad Software, San Diego, CA, USA). The significance level was set at $p < .05$.

Results

A sample of forty-one male para-footballers (age: $M = 24.7$, $SD = 8.0$ yrs; height: $M = 169.8$, $SD = .1$ cm; body mass: $M = 69.5$, $SD = 11.4$ kg; body mass index [BMI]: $M = 24.1$, $SD = 3.7$ kg·m⁻²) took part in the study. The participants were divided in groups according to their level of proficiency: i.e., international-level ($n = 18$; age: $M = 26.4$, $SD = 6.4$ yrs; height: $M = 171.1$, $SD = .1$ cm; body mass: $M = 70.7$, $SD = 10.4$ kg; BMI: $M = 24.2$, $SD = 3.4$ kg·m⁻²) and national-level ($n = 23$; age: $M = 23.5$, $SD = 9.0$ yrs; height: $M = 168.8$, $SD = .1$ cm; body mass: $M = 68.5$, $SD = 12.3$ kg; BMI: $M = 24.0$, $SD = 3.9$ kg·m⁻²) groups (Table 1).

Table 1. Football players' with cerebral palsy characterisation according to sport classes and competitive level.

Competitive level	International (n = 18)			National (n = 23)			
	Sport Class	FT1	FT2	FT3	FT1	FT2	FT3
Bilateral spasticity		1	0	0	2	1	0
Ataxia / Athetosis		1	0	1	2	0	0
Unilateral spasticity		1	12	2	1	12	5
Overall sample		3	12	3	5	13	5

FT: Cerebral palsy football sport classes.

Considering players' competitive level, the international-level para-footballers of this study had a statistically significant better jumping performance compared to national-level ones ($p < .001$; η^2 , SJ = .41, large and CMJ = .51, large), both for the SJ [Figure 1A: (International: $M = 27.8$, $SD = 5.3$ cm vs National: $M = 19.0$, $SD = 4.4$ cm; $d_g = 1.83$, large)] and CMJ [Figure 1B: (International: $M = 30.5$, $SD = 5.0$ cm vs National: $M = 21.0$, $SD = 4.2$ cm; $d_g = 2.08$, large)] jumping tests. However, for EI, no statistically significant differences ($p = .645$) were found between the international and national levels athletes (International: $M = 10.6$, $SD = 7.6\%$ vs National: $M = 12.4$, $SD = 15.5\%$; $d_g = -.14$, trivial).

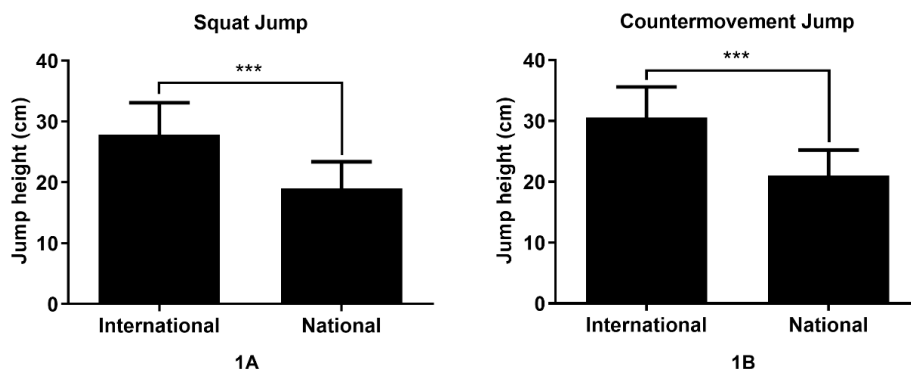


Figure 1. Vertical jump height performance on the squat jump and countermovement jumps between competitive levels (1A and 1B). *** $p < .001$.

With regard to the sport classes factor, statistically significant differences were found for the two VJ measures: SJ [$F(2,35) = 4.17; p = .024; \eta p^2 = .193$, medium)] and CMJ [$F(2,35) = 3.70; p = .035; \eta p^2 = .175$, medium)] tests. No statistically significant differences were found for EI ($p = .474$). In Table 2, there are the single scores and pairwise comparisons for the three dependent variables of this study. FT3 had better jumping performance in SJ and CMJ than FT2 players (small effect size), and FT2 jumped higher compared to FT1 (moderate effect sizes), but only statistically significant differences were observed between FT3 and FT1 players (large effect sizes). No statistically significant differences were found for the EI (small effect sizes).

Table 2. Vertical jump performance according to sport classes.

	Sport classes								Pairwise comparisons				
	Overall Sample		FT1 (n = 8)		FT2 (n = 25)		FT3 (n = 8)		p	ηp^2	FT1 vs FT2	FT1 vs FT3	FT2 vs FT3
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD					
SJ (cm)	22.9	6.5	19.2	6	23.1	6.4	25.8	6.3	.024	.193	-.62	-1.01*	-.42
CMJ (cm)	25.2	6.6	21.7	6.5	25.5	6.3	27.7	7.0	.035	.175	-.60	-.84*	-.34
EI (%)	11.6	12.5	15.6	21	11.6	10.4	7.6	7.0	.47	.042	.30	.48	.41

M: mean, SD: standard deviation, SJ: squat jump, CMJ: countermovement jump, EI: elastic index, FT: cerebral palsy football sport classes; * $p < .05$.

The ANOVA model did not reveal any statistically significant difference in the interaction effects of sport classes between-group factor and the players' competitive level ($p > .05$). Figure 2 shows the results of pairwise comparisons between international vs national levels considering sport classes as individual subgroups. In the SJ test, statistically significant differences were found for the FT2 sport class [Figure 2A: (International: $M = 28.2, SD = 5.0$ cm vs National: $M = 18.4, SD = 3.2$ cm; $p < .001; d_g = 2.28$, large)]. Large effect sizes, without significant differences, were found for the comparison of FT1 (International: $M = 23.4, SD = 5.9$ cm vs National: $M = 16.8, SD = 4.9$ cm; $p = .137; d_g = 1.09$, large) and FT3 (International: $M = 30.9, SD = 4.7$ cm vs National: $M = 22.7, SD = 5.2$ cm; $p = .068; d_g = 1.42$, large) sport classes (Figure 2A).

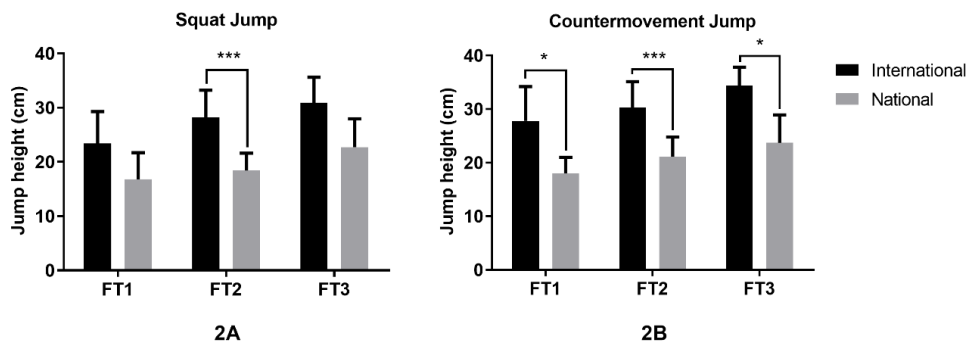


Figure 2. Vertical jump height performance on the squat jump, and countermovement jump, among player sport classes and competitive levels (2A and 2B). FT: cerebral palsy football sport classes. *** $p < .001$, * $p < .05$.

With regard to CMJ, statistically significant differences were found for the comparison between all sport classes at their respective competitive level, where the international group reached a higher jumping height than the national group: FT1 (International: $M = 27.8, SD = 6.4$ cm vs National: $M = 18.0, SD = 3.0$ cm; $p = .024; d_g = 1.92$, large), FT2 (International: $M = 30.3, SD = 4.8$ cm vs National: $M = 21.1, SD = 3.7$ cm; $p < .001; d_g = 2.09$, large), and FT3 (International: $M = 34.4, SD = 3.4$ cm vs National: $M = 23.7, SD = 5.2$ cm; $p = .021; d_g$

= 1.99, large), respectively (Figure 2B). No statistically significant differences were reported for EI in the comparison of the sport classes according to the players' competitive level in FT1 (International: $M = 19.6$, $SD = 10.5$ % vs National: $M = 13.2$, $SD = 26.4$ %; $p = .705$; $d_g = .25$, small), FT2 (International: $M = 8.0$, $SD = 5.3$ % vs National: $M = 14.9$, $SD = 12.9$ %; $p = .098$; $d_g = -.67$, moderate), and FT3 (International: $M = 12.0$, $SD = 7.6$ % vs National: $M = 5.0$, $SD = 5.8$ %; $p = .191$; $d_g = .94$, large).

Discussion

This study aimed to describe and compare VJ performance according to the competitive levels standard criteria and sport classes of para-footballers with CP. Overall, players with international level exhibited higher jumping performance than those belonging to a national level, and these differences are consistent across the three CP football sport classes of FT1, FT2, and FT3. Therefore, VJ assessment may offer insight into the anaerobic capability to differentiate players of different competitive levels in each player's sport classes (Reina et al., 2018; Yanci et al., 2016).

This study evidenced significant differences and large effect sizes in the VJ performance of the international versus the national level groups, providing novel evidence about the usage of VJ assessment as a discriminative parameter between footballers with CP at different competitive levels. Our results are in accordance with those reported by different researchers with footballers without impairments from the Icelandic professional league (Arnason et al., 2004), youth Spanish football players (Ruiz-Ariza et al., 2015), the under-23 Iraqi national team (Rumpf & Rodríguez, 2018), under-15 Italian football players (Trecroci et al., 2018), and Greek elite professional football teams (Kalapotharakos et al., 2006), who whom demonstrated that VJ performance is competitive level-dependent. Nevertheless, there is also contrary evidence suggesting no differences between jumping height and competitive level of football players without impairments who demonstrated a homogeneous performance in this variable (Ayarra et al., 2018; Castagna & Castellini, 2013; Cometti et al., 2001; Haugen et al., 2013; Mujika et al., 2009; Rampinini et al., 2007). In this regard, Castagna and Castellini (2013) described the difficulties in explaining the differences between competitive levels because of the different factors, such as training status or genetic factors, would provoke variations in the VJ outcomes.

More specifically, the international level group from this study obtained higher VJ height values than those obtained by Yanci et al. (2014; 2016), who studied the SJ ($M = 20.0$, $SD = 4.3$ cm – $M = 20.45$, $SD = 4.45$ cm) and CMJ ($M = 23.9$, $SD = 5.4$ cm – $M = 24.33$, $SD = 5.37$ cm) in Spanish international para-footballers with CP. In contrast, the results of our international level group were lower compared to the scores obtained by Reina et al. (2020a) in CMJ ($M = .44$, $SD = .06$ m) during a world-level tournament with international CP para-footballers from the Americas, Europe and Australasia regions. General and sport-specific reasons would explain these differences. On the one hand, some contextual factors related to players' disability should be taken into consideration (e.g., access to healthcare, training opportunities, economic resources), constraining the development of their maximum physical and physiological performance (Driscoll et al., 2013; Rumpf & Rodríguez, 2018). On the other hand, belonging to a national team that leads to international competitive experiences provokes a better development of sport-specific performance (Peña-González et al., 2021). In this vein, Wisløff et al. and colleagues (2004) found a strong association between maximal strength of lower limbs, sprint capacity and VJ performance in elite footballers without impairments, evidencing the relationships between parameters that have a critical contribution to sport-specific performance. Hence, the usage of VJ assessment is considered a core physical fitness aspect for determining players' selection (Dodd & Newans, 2018). Moreover, previous studies also showed a relationship between VJ height with the sprint

time (López-Segovia et al., 2011) and the maximum kicking speed (Rodríguez-Lorenzo et al., 2016) performed by football players without impairments, reinforcing the idea that VJ tests might be appropriate for assessing neuromuscular components involved when performing motor skills required in football.

The differences between international- vs national-level para-footballers were consistent across the three CP football sport classes, yet unequal between-group significant differences were found for both SJ and CMJ tests. In particular, para-footballers with the class of FT3, hence have a higher functional profile reached a superior VJ performance to FT1 players, the latter being a profile characterised by a greater impact of the physical impairment motor activities (IFCPF, 2018). In contrast, there were no statistically significant differences between FT2 and FT3 or between FT1 and FT2. These overall findings coincide with previous studies in which players with the minimum impairment criteria, such as mild impairment, for CP football exhibit significant differences compared to the other sport classes, where impairment is moderate, during VJ assessment (Reina et al., 2018; 2020a). Hence, this study provides new evidence about jumping performance in footballers with CP belonging to the new sport classes implemented worldwide by IFCPF in 2018. Despite the general trends found in this study, where FT3 was better than FT2, which in turn was better than FT1, the lack of statistically significant differences in some of the pairwise comparisons could be explained by the overrepresentation of players with unilateral spasticity profile, the most common group in this team para-sport (Reina et al., 2020b). This lack of statistically significant differences could be related to the VJ test's difficulties for discrimination between sport classes. In other words, according to Reina and colleagues (2018), horizontal jump tests could be more appropriate for classification purposes because they require relevant coordination and neuromuscular components to observe the activity limitation of CP para-footballers. In light of this, Runciman and colleagues (2016) reported that six para-athletes with unilateral spasticity, evaluated using VJ tests considering their affected and non-affected limbs after a fatigue protocol, used compensation mechanisms to counteract the deficits related to the asymmetries in muscle strength level: i.e., a higher contribution for jumping performance by the non-impaired leg. Thus, it is plausible to propose that SJ and CMJ measures could be more appropriate for analysing para-footballers' with CP neuromuscular capability and training monitoring than for classification procedures (Reina et al., 2018), since para-athletes affected by spasticity, athetosis, or ataxia present an impairment-specific constraint of the jumping ability associated with their neurological condition.

Also, with regard to the sport classes, statistically significant differences according to the competitive level were found in CMJ between FT1, FT2, and FT3 players, and in SJ only for FT2. These results coincide with Yanci et al. (2016) outcomes, suggesting that international-level para-footballers with CP could take advantage during a jump with countermovement over the SJ initiated from a static position, possibly due to the player's neuromuscular characteristics and the activity requirements of this motor task. The impaired force production and the functional deficit is partly a characteristic consequence of the altered spastic muscle structure (Mathewson & Lieber, 2015), which in the case of the jumping performance could accentuate the differences between the SJ and the CMJ expressed in the calculation of the EI (Bobbert & Casius, 2005). However, further research is necessary to explore neuromuscular features when performing VJ by footballers with CP due to the lack of significant differences found among our two between-group factors regarding the EI. From a practical perspective, coaches could consider the assessment of the VJ performance to identify footballers with CP with higher levels of neuromuscular capability as a parameter of muscle leg power in consideration of the player's sport classes. Furthermore, VJ capacity is only one parameter to consider for talent identification in

conjunction with multiple factors that are more determinants for football performance, including technical and tactical skills, anthropometric and psychological factors, environmental constraints, among other parameters (Sarmiento et al., 2018).

This study has some limitations that should be addressed. Although the sample of participants is representative of the Chilean para-sport context, the number was limited in each sport class, reducing the statistical power of the analysis. Another limitation is that only the VJ capacity was measured. Other performance variables, such as maximum oxygen uptake, sprint time, agility, maximal strength, body composition, and the technical and tactical analysis would provide additional information to compare in terms of competitive levels standard criteria in footballers with CP. However, it is crucial to consider that VJ assessment is only one aspect of the multifactorial approach to football performance (Dodd & Newans, 2018; Reilly et al., 2000). Further studies should consider these observations and the possibility of assessing different VJ assessment protocols that could impact height performance and facilitate the technique execution. Moreover, future approaches could recruit female participants and a wide sample from different countries. An additional possibility is to explore a battery assessment for talent identification, considering the impairment variable and the para-sport's specific demands, which is a differential complex factor compared to regular football.

Conclusions

This study demonstrates differences in the VJ capacity performance during SJs and CMJs in para-footballers with CP from different competitive levels and according to players' sport classes. Furthermore, this suggests that footballers with CP selected to compete at the international tournament level exhibit better VJ capacity than those participating nationally. These findings provide a deeper understanding of the differences in the motor performance impairment specific to para-footballers with CP, where coaches and strength-conditioning professionals should consider VJ assessment for training monitoring and as a component for talent detection in this para-sport.

Perspectives

According to the author's knowledge, there is limited information about comparing the physical performance of para-footballers of different competitive levels. From a practical point of view, it seems that VJ assessment could be a relevant physical fitness factor that should be considered through the talent identification process. However, skills, technical, tactical, and sociological aspects that impact sports career development are factors that cannot be overlooked (Dodd & Newans, 2018). Additionally, VJ testing protocols potentially could be used throughout a competitive season to monitor players' performance of different levels, and to assess training effects for optimizing individual's performance. Still, it should be noted that it is necessary to contemplate the players' impairment-specific characteristics that have a relevant impact on physical performance (Reina et al., 2020a).

Author affiliations:

¹ Sports Research Centre, Miguel Hernández University, Elche, Spain; matias.henriquez@goumh.umh.es

¹ Sports Research Centre, Miguel Hernández University, Elche, Spain; rreina@umh.es

² Escuela de Kinesiología, Facultad de Odontología y Ciencias de la Rehabilitación, Universidad San Sebastián, Providencia, Chile; matias.henriquez@uss.cl

³ Grupo de Investigación en Deporte Adaptado y Paralímpico GIDEPAUSS, Concepción, Chile; kevincamposcampos@gmail.com

⁴ Facultad de Medicina Clínica Alemana, Universidad del Desarrollo, Santiago, Chile; rsmithp@udd.cl

⁵ Escuela de Ciencias del Deporte y Actividad Física, Facultad de Salud, Universidad Santo Tomás, Santiago, Chile; saliste@santotomas.cl

⁶ Department of Adapted Physical Activity, National Rehabilitation Centre Pedro Aguirre Cerda, Santiago, Chile; sonny.riquelme@inrapac.cl

* Correspondence: matias.henriquez@goumh.umh.es; Tel.: +34-663-211-259

Author Contributions: Conceptualization, M.H., S.R. and K.C.C.; Methodology, R.S. and S.A.; Formal Analysis, M.H., S.A. and R.R.; Writing-Original Draft Preparation, M.H., S.R. and K.C.C.; Writing-Review & Editing, M.H., R.S. and R.R.

Funding: This research received no external funding.

Data availability: The raw data supporting the conclusions of this article will be made available by the authors, without undue reservation.

Acknowledgments: The authors appreciate the support of Rene Vergara Fuentes and Sebastian Cumsille.

Conflicts of Interest: The authors reported no potential conflict of interest.

References

- Alarcón, A., Henríquez, M., & Peñailillo, L. (2021). Effects of lower limb eccentric strength training on functional measurements in football players with cerebral palsy. *European Journal of Adapted Physical Activity*, 14(1), 1–13. <https://doi.org/10.5507/euj.2020.010>
- Arnason, A., Sigurdsson, S. B., Gudmundsson, A., Holme, I., Engebretsen, L., & Bahr, R. (2004). Physical fitness, injuries, and team performance in soccer. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(2), 278–285. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000113478.92945.CA>
- Ayarra, R., Nakamura, F. Y., Iturricastillo, A., Castillo, D., & Yanci, J. (2018). Differences in physical performance according to the competitive level in futsal players. *Journal of Human Kinetics*, 64(1), 275–285. <https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0201>
- Bobbert, M. F., & Casius, L. J. R. (2005). Is the effect of a countermovement on jump height due to active state development?. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(3), 440–446. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000155389.34538.97>
- Bosco, C., & Komi, P. V. (1979). Mechanical characteristics and fiber composition of human leg extensor muscles. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 41(4), 275–284. <https://doi.org/10.1007/BF00429744>
- Cámara, J., Grande, I., Mejuto, G., Los Arcos, A., & Yanci, J. (2013). Jump landing characteristics in elite soccer players with cerebral palsy. *Biology of Sport*, 30(2), 91–95. <https://doi.org/10.5604/20831862.1044223>
- Castagna, C., & Castellini, E. (2013). Vertical jump performance in Italian male and female national team soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(4), 1156–1161. <https://doi.org/10.1519/JSC.obo13e3182610999>
- Clutterbuck, G. L., Auld, M. L., & Johnston, L. M. (2021). Performance of school-aged children with cerebral palsy at GMFCS levels I and II on high-level, sports-focussed gross motor assessments. *Disability and Rehabilitation*, 43(8), 1101–1109. <https://doi.org/10.1080/09638288.2019.1650964>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. L. Erlbaum Associates.
- Cometti, G., Maffiuletti, N. A., Pousson, M., Chatard, J. C., & Maffulli, N. (2001). Isokinetic strength and anaerobic power of elite, subelite and amateur French soccer players. *International Journal of Sports Medicine*, 22(1), 45–51. <https://doi.org/10.1055/s-2001-11331>
- Coswig, V., Silva, A., Barbalho, M., de Faria, F. R., Nogueira, C. D., Borges, M., Buratti, J. R., Vieira, I. B., Román, F. J. L., & Gorla, J. I. (2019). Assessing the validity of the MyJUMP2 app for measuring different jumps in professional cerebral palsy football players: An experimental study. *JMIR MHealth and UHealth*, 7(1), 1–9. <https://doi.org/10.2196/11099>
- Dehghansai, N., Pinder, R. A., & Baker, J. (2021). “Looking for a golden needle in the haystack”: Perspectives on talent identification and development in Paralympic sport. *Frontiers in Sports and Active Living*, 3. <https://doi.org/10.3389/fspor.2021.635977>
- Dobbs, C. W., Gill, N. D., Smart, D. J., & McGuigan, M. R. (2015). Relationship between vertical and horizontal jump variables and muscular performance in athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(3), 661–671. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000694>

- Dodd, K. D., & Newans, T. J. (2018). Talent identification for soccer: Physiological aspects. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21(10), 1073–1078. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.01.009>
- Driscoll, J., Forber-Pratt, A. J., & Scott, J. A. (2013). An emerging model for grassroots Paralympic sport development. *The International Journal of Sport and Society: Annual Review*, 3(1), 55–67. <https://doi.org/10.18848/2152-7857/cgp/v03i01/53894>
- Haugen, T. A., Tønnessen, E., & Seiler, S. (2013). Anaerobic performance testing of professional soccer players 1995–2010. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(2), 148–156. <https://doi.org/10.1123/ijspp.8.2.148>
- Hedges, L., & Olkin, I. (1985). *Statistical methods for meta-analysis*. Academic Press. <https://doi.org/10.1086/228501>
- Henríquez, M., Castillo, D., Yanci, J., Iturricastillo, A., & Reina, R. (2021). Physical responses by cerebral palsy footballers in matches played at sea level and moderate altitude. *Research in Sports Medicine*, 00(00), 1–13. <https://doi.org/10.1080/15438627.2021.1966011>
- Hussain, A. W., Onambele, G. L., Williams, A. G., & Morse, C. I. (2014). Muscle size, activation, and coactivation in adults with cerebral palsy. *Muscle & Nerve*, 49(1), 76–83. <https://doi.org/10.1002/mus.23866>
- IFCPF (2018). Classification rules and regulations. *international federation of cp football*, January, 1–113. <https://www.ifcpf.com/static/upload/raw/8ce6fab2-257c-43a7-a22d-dboe74f7bo89/IFCPF+Classification+Rules+2018.pdf>
- Kalopotharakos, V. I., Strimpakos, N., Vithoulka, I., Karvounidis, C., Diamantopoulos, K., & Kapreli, E. (2006). Physiological characteristics of elite professional soccer teams of different ranking. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 46(4), 515–519.
- López-Segovia, M., Marques, M. C., Van Den Tillaar, R., & González-Badillo, J. J. (2011). Relationships between vertical jump and full squat power outputs with sprint times in U21 soccer players. *Journal of Human Kinetics*, 30(1), 135–144. <https://doi.org/10.2478/v10078-011-0081-2>
- Loturco, I., D'Angelo, R. A., Fernandes, V., Gil, S., Kopal, R., Cal Abad, C. C., Kitamura, K., & Nakamura, F. Y. (2015). Relationship between sprint ability and loaded/unloaded jump tests in elite sprinters. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(3), 758–764. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000660>
- Markovic, G., Dizdar, D., Jukic, I., & Cardinale, M. (2004). Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(3), 551–555. <https://doi.org/10.1519/00124278-200408000-00028>
- Mathewson, M. A., & Lieber, R. L. (2015). Pathophysiology of muscle contractures in cerebral palsy. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, 26(1), 57–67. <https://doi.org/10.1016/j.pmr.2014.09.005>
- Maulder, P., & Cronin, J. (2005). Horizontal and vertical jump assessment: Reliability, symmetry, discriminative and predictive ability. *Physical Therapy in Sport*, 6(2), 74–82. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2005.01.001>
- Moreau, N. G., Falvo, M. J., & Damiano, D. L. (2012). Rapid force generation is impaired in cerebral palsy and is related to decreased muscle size and functional mobility. *Gait & Posture*, 35(1), 154–158. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2011.08.027>
- Mujika, I., Santisteban, J., Impellizzeri, F. M., & Castagna, C. (2009). Fitness determinants of success in men's and women's football. *Journal of Sports Sciences*, 27(2), 107–114. <https://doi.org/10.1080/02640410802428071>
- Pagaduan, J., Schoenfeld, B. J., & Pojskić, H. (2019). Systematic review and meta-analysis on the effect of contrast training on vertical jump performance. *Strength and Conditioning Journal*, 41(3), 63–78. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000442>
- Palisano, R. J., Rosenbaum, P., Bartlett, D., & Livingston, M. H. (2008). Content validity of the expanded and revised Gross Motor Function Classification System. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 50(10), 744–750. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2008.03089.x>

- Peña-González, I., Roldan, A., Toledo, C., Urbán, T., & Reina, R. (2020). Change-of-direction ability of para-footballers with cerebral palsy under a new evidence-based and sport-specific classification system. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 16(2), 267–272. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2019-0656>
- Peña-González, I., Sarabia, J. M., Roldan, A., Manresa, A., & Moya-Ramón, M. (2021). Physical performance differences between Spanish selected and non-selected para-footballers with cerebral palsy for the national team. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 16(11), 1676–1683. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2020-0842>
- Pierce, C. A., Block, R. A., & Aguinis, H. (2004). Cautionary note on reporting eta-squared values from multifactor ANOVA designs. *Educational and Psychological Measurement*, 64(6), 916–924. <https://doi.org/10.1177/0013164404264848>
- Rampinini, E., Bishop, D., Marcora, S. M., Ferrari Bravo, D., Sassi, R., & Impellizzeri, F. M. (2007). Validity of simple field tests as indicators of match-related physical performance in top-level professional soccer players. *International Journal of Sports Medicine*, 28(3), 228–235. <https://doi.org/10.1055/s-2006-924340>
- Reilly, T., Williams, A. M., Nevill, A., & Franks, A. (2000). A multidisciplinary approach to talent identification in soccer. *Journal of Sports Sciences*, 18(9), 695–702. <https://doi.org/10.1080/02640410050120078>
- Reina, R. (2014). Evidence-based classification in Paralympic sport: Application to football -7-a-side. *European Journal of Human Movement*, 32, 161–185.
- Reina, R., Barbado, D., Soto-Valero, C., Sarabia, J. M., & Roldán, A. (2020b). Evaluation of the bilateral function in para-athletes with spastic hemiplegia: A model-based clustering approach. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 23(8), 710–714. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2020.01.003>
- Reina, R., Elvira, J., Valverde, M., Roldán, A., & Yanci, J. (2019). Kinematic and kinetic analyses of the vertical jump with and without header as performed by para-footballers with cerebral palsy. *Sports*, 7(9), 209. <https://doi.org/10.3390/sports7090209>
- Reina, R., Iturricastillo, A., Castillo, D., Urbán, T., & Yanci, J. (2020a). Activity limitation and match load in para-footballers with cerebral palsy: An approach for evidence-based classification. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 30(3), 496–504. <https://doi.org/10.1111/sms.13583>
- Reina, R., Iturricastillo, A., Sabido, R., Campayo-Piernas, M., & Yanci, J. (2018). Vertical and horizontal jump capacity in international cerebral palsy football players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(5), 597–603. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2017-0321>
- Rodríguez-Lorenzo, L., Fernandez-del-Olmo, M., Sanchez-Molina, J. A., & Martín-Acero, R. (2016). Role of vertical jumps and anthropometric variables in maximal kicking ball velocities in elite soccer players. *Journal of Human Kinetics*, 53(1), 143–154. <https://doi.org/10.1515/hukin-2016-0018>
- Ruiz-Ariza, A., García-Pinillos, F., Molinamolina, A., & Latorre-Román, P. (2015). Influence of competition on vertical jump, kicking speed, sprint and agility of young football players. *South African Journal for Research in Sport, Physical Education and Recreation*, 37(2), 109–118.
- Rumpf, M. C., & Rodríguez, G. (2018). Neuromuscular differences of selected and non-selected Iraqi national soccer players. *Journal of Human Sport and Exercise*, 13(3), 651–658. <https://doi.org/10.14198/jhse.2018.133.15>
- Runciman, P., Tucker, R., Ferreira, S., Albertus-Kajee, Y., & Derman, W. (2016). Effects of induced volitional fatigue on sprint and jump performance in Paralympic athletes with cerebral palsy. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 95(4), 277–290. <https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000000372>
- Sarmiento, H., Anguera, M. T., Pereira, A., & Araújo, D. (2018). Talent identification and development in male football: A systematic review. *Sports Medicine*, 48(4), 907–931. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0851-7>
- Stølen, T., Chamari, K., Castagna, C., & Wisløff, U. (2005). Physiology of soccer: An update. *Sports Medicine*, 35(6), 501–536. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535060-00004>

- Trecroci, A., Milanović, Z., Frontini, M., Iaia, F. M., & Alberti, G. (2018). Physical performance comparison between under 15 elite and sub-elite soccer players. *Journal of Human Kinetics*, 61(1), 209–216. <https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0126>
- Wisløff, U., Castagna, C., Helgerud, J., Jones, R., & Hoff, J. (2004). Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *British Journal of Sports Medicine*, 38(3), 285–288. <https://doi.org/10.1136/bjism.2002.002071>
- Yanci, J., Castagna, C., Los Arcos, A., Santalla, A., Grande, I., Figueroa, J., & Camara, J. (2016). Muscle strength and anaerobic performance in football players with cerebral palsy. *Disability and Health Journal*, 9(2), 313–319. <https://doi.org/10.1016/j.dhjo.2015.11.003>
- Yanci, J., Castillo, D., Iturricastillo, A., Urbán, T., & Reina, R. (2018). External match loads of footballers with cerebral palsy: a comparison among sport classes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(5), 590–596. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0042>
- Yanci, J., Los Arcos, A., Grande, I., Santalla, A., Figueroa, J., Gil, E., & Cámara, J. (2014). Jump capacity in cerebral palsy soccer players. *Revista Internacional De Medicina Y Ciencias De La Actividad Fisica Y Del Deporte*, 14(54), 199–211.



© 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



OPEN ACCESS

EDITED BY

Giuseppe D'Antona,
University of Pavia, Italy

REVIEWED BY

Deborah Ellen Thorpe,
University of North Carolina at Chapel
Hill, United States
Ragab Elnaggar,
Cairo University, Egypt

*CORRESPONDENCE

Matías Henríquez,
✉ matias.henriquez@goumh.umh.es

RECEIVED 12 December 2022

ACCEPTED 14 April 2023

PUBLISHED 26 April 2023

CITATION

Henríquez M, Sabido R, Barbado D,
Roldan A, Elvira JLL, Yanci J and Reina R
(2023), Differences in kinetic
characteristics during countermovement
jump of football players with cerebral
palsy according to impairment profiles.
Front. Physiol. 14:1121652.
doi: 10.3389/fphys.2023.1121652

COPYRIGHT

© 2023 Henríquez, Sabido, Barbado,
Roldan, Elvira, Yanci and Reina. This is an
open-access article distributed under the
terms of the [Creative Commons
Attribution License \(CC BY\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). The use,
distribution or reproduction in other
forums is permitted, provided the original
author(s) and the copyright owner(s) are
credited and that the original publication
in this journal is cited, in accordance with
accepted academic practice. No use,
distribution or reproduction is permitted
which does not comply with these terms.

Differences in kinetic characteristics during countermovement jump of football players with cerebral palsy according to impairment profiles

Matías Henríquez^{1,2*}, Rafael Sabido¹, David Barbado^{1,3},
Alba Roldan¹, Jose L. L. Elvira¹, Javier Yanci⁴ and Raúl Reina¹

¹Sports Research Centre, Department of Sport Sciences, Miguel Hernández University, Elche, Spain, ²Escuela de Kinesiología, Facultad de Odontología y Ciencias de la Rehabilitación, Universidad San Sebastián, Providencia, Chile, ³Alicante Institute for Health and Biomedical Research (ISABIAL), Alicante, Spain, ⁴Society, Sports, and Physical Exercise Research Group (GIKAFIT), Physical Education and Sport Department, Faculty of Education and Sport, University of the Basque Country (UPV/EHU), Vitoria-Gasteiz, Spain

Objectives: The purpose of this study was 1) to determine and compare kinetic parameters during the realization of a countermovement jump (CMJ) between footballers with cerebral palsy (CP) and non-impaired footballers, and 2) to analyze the differences in this action between different players' impairment profiles and a group of non-impaired footballers.

Methods: This study involved 154 participants comprising 121 male footballers with CP from 11 national teams and 33 male non-impaired football players recruited as the control group (CG). The footballers with CP were described according to the different impairment profiles (bilateral spasticity = 10; athetosis or ataxia = 16; unilateral spasticity = 77; minimum impairment = 18). All participants performed three CMJs on a force platform to record kinetic parameters during the test.

Results: The group of para-footballers presented significantly lower values than the CG in the jump height ($p < 0.01$, $d = -1.28$), peak power ($p < 0.01$, $d = -0.84$), and the net concentric impulse ($p < 0.01$, $d = -0.86$). Concerning the pairwise comparisons between CP profiles and the CG, significant differences were found for the bilateral spasticity, athetosis or ataxia, and unilateral spasticity subgroups compared to the non-impaired players for jump height ($p < 0.01$; $d = -1.31$ to -2.61), power output ($p < 0.05$; $d = -0.77$ to -1.66), and concentric impulse of the CMJ ($p < 0.01$; $d = -0.86$ to -1.97). When comparing the minimum impairment subgroup with the CG, only significant differences were found for jump height ($p = 0.036$; $d = -0.82$). Footballers with minimum impairment presented higher jumping height ($p = 0.002$; $d = -1.32$) and concentric impulse ($p = 0.029$; $d = -1.08$) compared to those with bilateral spasticity. Also, the unilateral spasticity subgroup reports a higher jump height performance than the bilateral group ($p = 0.012$; $d = -1.12$).

Conclusion: These results suggest that the variables related to power production during the concentric phase of the jump are crucial for the performance differences between groups with and without impairment. This study provides

a more comprehensive understanding of kinetic variables that would differentiate CP and non-impaired footballers. However, more studies are necessary to clarify which parameters better differentiate among different profiles of CP. The findings could help to prescribe effective physical training programs and support the classifier's decision-making for class allocation in this para-sport.

KEYWORDS

force, jumping, brain injury, concentric, Paralympic

1 Introduction

Vertical jump assessment, in the form of the countermovement jump (CMJ) test, is broadly used for the measurement of neuromuscular status (Claudino et al., 2017), lower-limb muscle power (Cormie et al., 2009), fatigue assessment (Brownstein et al., 2017), training load optimization (Claudino et al., 2012), and is also considered a relevant index for talent identification in football players (Stølen et al., 2005; Castagna and Castellini, 2013). Football requires repetitive actions based on stretch-shortening cycles in different physical and technical situations such as jumping (Bangsbo, 2014). Hence, the jumping ability of football players is an aspect that has been extensively studied (Stølen et al., 2005). This ability is frequently assessed through the CMJ test, as it is an easy test to evaluate and can provide a high number of relevant variables for performance monitoring [i.e., power/force development, rate of force development (RFD), velocity, eccentric time/concentric time, jump height]. In fact, some researchers have demonstrated the relationship between CMJ parameters and sprint performance, kicking velocity, and maximal strength in the lower extremities, supporting the relevance of certain variables in mechanical power output (Wisløff et al., 2004; Dobbs et al., 2015; Rodríguez-Lorenzo et al., 2016).

The vertical jump capacity is also included in the evaluation of football players with cerebral palsy (CP) as a form of monitoring physical training objectives (Yanci et al., 2016) and for classification purposes to define who can compete in this para-sport (Yanci et al., 2016; Reina et al., 2018). CP football is a discipline similar to the regular sport of intermittent characteristics, presenting some adaptations (i.e., played 7-a-side, 50 m × 70 m field size, 5 m × 2 m goals, no-offside rule, among others) and bringing the possibility to be practiced by people with neurological conditions (Yanci et al., 2016). Because of the variety of motor impairments presented by football players with CP, only those with an eligible impairment of hypertonia, ataxia, or athetosis are eligible to practice this para-sport (International Paralympic Committee, 2016). Players with CP present verifiable physical problems that affect key activities for sports performance, presenting different severity of the impairments according to the body involvement such as hemiplegia, with one side of the body affected (e.g., more affected upper limb than the lower limb); diplegia affecting all limbs but with higher impairments in lower limbs than in upper limbs; or quadriplegia, with involvement in four limbs and trunk (Graham et al., 2016). In CP football, players with a minimum impairment level can participate in CP football competitions, being relevant to know the differences with able-bodied footballers and identifying if the eligible impairment impacts the sports performance of high functional participants, which is constantly

a challenge for the classification process (Tweedy et al., 2018). Some of the principal neurological characteristics and secondary consequences of players' muscle function are related to the presence of overstretched sarcomere lengths, increments in the passive mechanical stiffness, changes in the extracellular matrix, and transformation of fiber type due to the consequences of the damage in cortical pathways in the central nervous system (Mathewson and Lieber, 2015; Graham et al., 2016; Dayanidhi and Lieber, 2018) possibly having a direct effect on the performance of motor actions related to football demands, like jump performance (Reina et al., 2018; Reina et al., 2019). In this regard, Yanci et al. (2016) also reported a lower anaerobic performance reflected in vertical jump capability compared to competitive and amateur footballers without disabilities.

The CMJ test has shown good reliability (ICC = 0.88) and validity for assessing jump performance in footballers with CP (Reina et al., 2018). However, studies that have investigated this issue are scarce in CP football and some of the results are inconclusive. For example, Yanci et al. (2016), found no relationship between CMJ height performance and the classification profile of a team with 12 Spanish footballers with CP. Conversely, Reina et al. (2018) showed significant differences in the same performance variable between functional profiles in a group of 132 international para-footballers, revealing differences according to impairment profile. With regard to this approach, the limited analysis of the jump height and peak power performance may overlook the complex nature of CMJ and the different neuromuscular strategies used by players of eligible motor involvement for CP football (Gathercole et al., 2015). Therefore, a more comprehensive understanding of the key variables that differentiate between impairment profiles and contribute to performance in the vertical jump may enable the prescription of effective physical training programs for improving strength and conditioning practice in the athletic population with CP. On the other hand, the identification of key jump parameters could potentially favor the development of practical implications in evidence-based classification, improving the strategies to support the class allocation of para-footballers with neurological impairments. To the best of the authors' knowledge, there is limited information regarding kinetic variables in the vertical jump performance of footballers with CP, with studies generally only focused on jump height performance (Reina et al., 2018), peak power output (Yanci et al., 2016), and vertical ground reaction force (Cámara et al., 2013). However, no previous research has investigated kinetic variables during CMJ according to the different impairment profiles presented in football players with CP. Therefore, this study aimed 1) to determine and compare kinetic parameters during the realization of a CMJ between

TABLE 1 Participants' characteristics data.

Participant groups	n	Age (years)	Body mass (kg)	Height (cm)	BMI (kg·m ⁻²)	Training experience (years)
Cerebral palsy group	121	25.7 ± 6.6	72.1 ± 10.3	175.6 ± 7.4	23.4 ± 3.0	10.4 ± 7.5
Bilateral spasticity	10	25.7 ± 5.9	74.2 ± 8.2	177.3 ± 6.9	23.6 ± 2.5	11.1 ± 5.2
Athetosis/Ataxia	16	26.3 ± 7.4	72.8 ± 9.8	174.9 ± 6.4	23.6 ± 2.8	9.6 ± 4.1
Unilateral spasticity	77	25.2 ± 6.0	70.6 ± 10.4	175.2 ± 7.5	23.1 ± 3.2	9.3 ± 6.7
Minimum impairment	18	27.7 ± 8.6	76.9 ± 10.2	177.3 ± 8.3	24.5 ± 2.9	15.3 ± 11.4
Control group	33	19.6 ± 4.0	76.7 ± 8.5	179.1 ± 6.2	24.2 ± 2.3	9.8 ± 5.6
Overall sample	154	24.7 ± 6.6	73.1 ± 10.0	176.1 ± 7.3	23.5 ± 2.9	10.3 ± 7.1

Data are expressed as mean and standard deviation. BMI, body mass index.

international footballers with CP and non-impaired footballers, and 2) to analyze the differences in this action between the different players' impairment profiles [e.g., bilateral spasticity (BS), athetosis/ataxia (AA), unilateral spasticity (US), and minimum impairment (MI)] and non-impaired footballers.

2 Methods

2.1 Participants

A convenience sample of 154 participants comprising 121 male international footballers with CP from 11 national teams and 33 male non-impaired football players [i.e., control group (CG)] volunteered to participate in this study. The para-footballers were described according to the different impairment profiles, such as BS (i.e., spastic diplegia), AA (i.e., coordination impairments), US (i.e., spastic hemiplegia), and MI (i.e., mild impairment regarding the other three profiles) based on the description of eligible impairments or affected limbs included in the International Federation of Cerebral Palsy Football classification rulebook (IFCPF, 2018) and the Cerebral Palsy International Sports and Recreation Association (CIPISRA) classification system (Reina, 2014) that stills applicable in Paralympic sports such as Para Athletics (World Para Athletics, 2022). Players of the MI group are those who presented an eligible impairment of hypertonia (i.e., spasticity grade 1-2 in at least one muscle group), ataxia (i.e., clear signs of cerebellar dysfunction with tremor or dysmetria in coordination tests), or dyskinesia (i.e., athetoid or dystonic movements in different parts of the body, affecting balance and coordination) that meets the minimum impairment severity requirement to be eligible to play CP football (Reina et al., 2021a). All the participants presented a functional profile to be categorized in Level 1 of the Gross Motor Function Classification System (Jahnson et al., 2006). The inclusion criteria for participating in the study were to be eligible to compete in this para-sport (i.e., presenting the minimum eligible impairment of hypertonia, ataxia, or athetosis), have a valid license from the IFCPF, be at an international level competing at world championships, and not present any injuries in the 3 months before data collection. In the case of the CG, a group with equivalent years of football training experience was selected. The general characteristics of the

participants are described in Table 1. Before the testing session, players received detailed verbal instructions and were fully familiarized with the jumping procedure in which the CMJ test was part of the sport classification process. The study's characteristics were described to the participants, detailed in an oral explanation and they provided written informed consent in concordance with Helsinki's declaration (2013). The human ethics committee of Miguel Hernández University approved all the study procedures (Reference number DPS.RRV.01.14).

2.2 Procedures

A cross-sectional study was conducted to examine kinetic variables during the CMJ, considering the impairment profiles of the footballers with CP and comparing them with the CG. Before the testing, all the players were required to avoid strenuous physical activity. A standardized warm-up was performed, consisting of a 5-min self-paced low-intensity run, skipping exercises, strides, and two 15-m sprints with and without changes of direction (Reina et al., 2018). The players were asked to perform three CMJs with 30 s of recovery between each trial in a single session. The highest height reached in any of the attempts was considered for subsequent analyses of the selected kinetic variables.

2.3 Measures

2.3.1 Vertical jump capacity

To perform the CMJ, the participant started in an upright standing position on the force platform with fixed hands on hips and sustained that position during the jump execution. All participants performed a fast flexion downward movement to reach approximately 90° of knee flexion, followed by performing a maximum vertical jump with hip and knee extension and plantar flexion during the flight phase and landing in the starting phase, trying to reach the maximal height in every trial. Those para-athletes who presented spastic hemiplegia and difficulty maintaining their hand on their hip were allowed to keep their hand on one side of their body, keeping the extremity static during the jump (Yanci et al., 2016). Performance variables were evaluated on a force platform (Kistler™, Switzerland, Model 9287B) that recorded vertical forces

with a sampling rate of 1,000 Hz. Custom software designed in LabView (version 12.0, National Instruments, Texas, United States) was used to analyze the CMJ test outcome variables. For jump testing, the jump height (JH; units: cm) maximum displacement was calculated with the following formula $V_t^2/2g$, where V_t is the velocity at take-off (m/s) instant and g is gravity acceleration (9.8 m/s^2). The velocity was obtained from the integral force with respect to time using the trapezoidal rule (Linthorne, 2001), and the highest jump being considered for subsequent analyses. The peak power output (PPO; units: W/kg) was calculated as the product of the vertical velocity and force data during the CMJ. The eccentric phase of the jump was considered when velocity was negative and included the quiet phase, unweighting phase, and braking phase from the start of the movement to zero velocity (Cormie et al., 2009). The onset of the movement was identified 30 ms before the instant when vertical force was equal to or more than five times the standard deviation of body weight which is calculated in the weighing phase (McMahon et al., 2018). Variables assessed in the eccentric phase were the peak force eccentric (PFE; units: N/kg), the mechanical impulse quantified as the total force applied during the eccentric phase and normalized by body mass (EIMP; units: $\text{N}\cdot\text{s}\cdot\text{kg}^{-1}$), and the time to peak of the eccentric force (TTPEF; units: s). The concentric phase includes the propulsive stage before the takeoff, where the velocity was positive in the force-time curve. The peak force concentric (PFC; units: N/kg) was the maximal force achieved during the concentric phase where the change in displacement was positive and vertical, and the net force concentric impulse (CIMP; units: $\text{N}\cdot\text{s}\cdot\text{kg}^{-1}$). Additionally, time to peak concentric force (TTCF; units: s) was considered. Each jumping phase's rate of force production was quantified using the maximum rate of force development (mRFD; units: N/s), which was defined as the largest force increase during a 20 ms epoch (Woodard et al., 1999). In addition, the time to the maximum rate of force development (TTmRFD; units: s) was also computed (Reina et al., 2019). Time of the total jump duration (JD; units: s), deceleration phase (DP; units: s), eccentric phase duration (ED; units: s), concentric phase duration (CD; units: s), and the rate of eccentric and concentric impulse (E/C; units: rate) were also registered during the CMJ. All the variables of force and power were relativized by the participant's body mass (Cormie et al., 2009).

2.4 Statistical analysis

The results are presented as means and standard deviation (\pm). The data distribution and homogeneity of variances were assessed with Kolmogorov–Smirnov and Levene's tests, respectively. The coefficient of variation [(CV), in %] was calculated within groups using the following formula: $CV = (SD/Mean \cdot 100)$ (Atkinson and Nevill, 1998). An independent or unpaired Student's *t*-test was used to determine the magnitude of differences between the group of footballers with CP and the CG on the kinetic CMJ test variables. Considering the characteristics of the data and the different groups, a one-way analysis of variance (ANOVA) with Tukey's *post hoc* analysis was conducted to determine which kinetic variables of CMJ performance differs according to the different impairment subgroups of footballers with CP, including the CG. Cohen's *d* index effect size (ES) was considered following the interpretation

proposed by Rhea (2004) for highly trained athletes: above 1.00, between 0.50 and 1.00, between 0.25 and 0.50, and lower than 0.25 were considered large, moderate, small, and trivial, respectively. In addition, the Hedges *g* index (Hedges and Olkin, 1985) was used to provide an ES estimation reducing the bias caused by small samples ($n < 20$). The analysis was performed with the Statistical Package for Social Science (version 26, SPSS Inc., Chicago, IL, United States) and GraphPad Prism (Prism v6.0, San Diego, CA, United States). Statistical significance was set as $p < 0.05$.

3 Results

3.1 Comparison between cerebral palsy group and control group

Table 2 presents the differences in CMJ parameters between para-footballers with CP and the CG, including the ES and the CV. The unpaired *t*-test showed that JH performance in the group of para-footballers reported significantly lower values than the CG ($p < 0.01$; $d = -1.28$, large). Additionally, PPO ($p < 0.001$; $d = -0.84$, large), and CIMP ($p < 0.001$; $d = -0.86$, large), were also significantly lower in the CP football group compared to the CG.

3.2 Comparison between cerebral palsy impairment profiles

Table 3 displays the vertical jump performance variables of a CMJ according to para-footballers' impairment profiles and the CG. Overall, the one-way ANOVA analysis showed significant differences between the functional profiles in the data variables of JH, PPO, and CIMP ($p < 0.01$). However, there were no significant differences in the rest of the variables ($p > 0.05$). The multiple between-subgroups comparisons for the force-time characteristics' values reveal that the CG showed significantly higher scores, with moderate-to-large ESs, compared to BS, AA, and US impairment profiles for the variables JH ($p < 0.01$; $d = -1.31$ to -2.61), PPO ($p < 0.05$; $d = -0.77$ to -1.66), and CIMP ($p < 0.01$; $d = -0.86$ to -1.97).

Table 4 shows the results obtained in the comparison between the groups of players with CP and the CG. In JH, pairwise comparisons revealed that the BS group obtained lower values than the US and MI profiles during the CMJ test ($p < 0.012$; $d = -1.12$ to -1.32 , large). Additionally, significant and moderate ES was found for the comparison between the MI group and the CG ($p = 0.036$; $d = -0.82$). Although the differences found were not significant, moderate to large ESs were found for JH between BS and AA groups comparisons ($p = 0.272$; $d = 0.78$), and for PPO between BS and AA ($p = 0.344$; $d = -0.75$), the BS and US ($p = 0.093$; $d = -0.81$), and BS and MI ($p = 0.099$; $d = -1.01$) subgroups.

For the PFE, the MI and CG subgroups exhibit no significant differences with moderate ES compared to players from the BS subgroup ($p > 0.791$; $d = -0.56$ to -0.77 , moderate). No significant differences were obtained in the pairwise comparison for EIMP and PFC ($p > 0.05$). However, a moderate ES was found between BS and MI ($d = -0.54$), BS and CG ($d = -0.55$), AA and MI ($d = -0.67$), and AA and CG ($d = -0.67$) in EIMP. With regard to CIMP, pairwise

TABLE 2 Performance variables of a countermovement jump for cerebral palsy football players and control group.

CMJ variables	Overall sample		CP group		Control group		p	d
	M ± SD	CV (%)	M ± SD	CV (%)	M ± SD	CV (%)		
Jump height (cm)	27.4 ± 6.4	23.4	25.8 ± 5.9	22.9	33.1 ± 4.9	14.8	<0.001**	-1.28
Jump duration (s)	0.99 ± 0.33	33.3	1.00 ± 0.36	36.0	0.96 ± 0.16	16.7	0.513	0.12
Time to the maximum RFD (s)	0.68 ± 0.35	51.5	0.69 ± 0.38	55.1	0.64 ± 0.21	32.8	0.400	0.14
Maximum RFD (N/s)	8,475 ± 4,018	47.4	8,445 ± 4,161	49.3	8,587 ± 3,501	40.8	0.858	-0.04
Peak power output (W/kg)	23.35 ± 5.10	21.8	22.48 ± 4.90	21.8	26.54 ± 4.61	17.4	<0.001**	-0.84
Eccentric/Concentric impulse rate	0.24 ± 0.08	33.3	0.24 ± 0.08	33.3	0.24 ± 0.06	25.0	0.872	0
Eccentric phase								
Deceleration phase (s)	0.68 ± 0.22	32.4	0.68 ± 0.23	33.8	0.68 ± 0.14	20.6	0.864	0
Eccentric duration (s)	0.43 ± 0.13	30.2	0.42 ± 0.13	31.0	0.45 ± 0.13	28.9	0.338	-0.23
Time to peak eccentric force (s)	0.26 ± 0.09	34.6	0.26 ± 0.10	38.5	0.25 ± 0.09	36.0	0.922	0.1
Peak force eccentric (N/kg)	3.60 ± 1.90	52.8	3.58 ± 2.01	56.1	3.68 ± 1.44	39.1	0.806	0.05
Eccentric impulse (N·s·kg ⁻¹)	0.76 ± 0.31	40.8	0.74 ± 0.32	43.4	0.83 ± 0.26	30.8	0.130	-0.29
Concentric Phase								
Concentric duration (s)	0.56 ± 0.32	57.1	0.58 ± 0.35	60.3	0.51 ± 0.13	25.5	0.283	0.22
Time to peak concentric force (s)	0.82 ± 0.34	41.5	0.82 ± 0.37	45.1	0.79 ± 0.16	20.3	0.678	0.09
Peak force concentric (N/kg)	13.09 ± 2.75	21.0	13.03 ± 2.93	22.5	13.28 ± 1.96	14.8	0.655	-0.09
Concentric Impulse (N·s·kg ⁻¹)	3.06 ± 0.49	15.9	2.98 ± 0.49	16.3	3.38 ± 0.34	10.1	<0.001**	-0.86

The Student's *t*-test for independent measures. CMJ, countermovement jump; CP, cerebral palsy, M, mean; SD, standard deviation; CV, coefficient of variation; ES, effect size; RFD, rate of force development. Significant differences between players groups in CMJ variables (***p* < 0.01).

comparisons reported higher scores for the para-footballers of the MI subgroup compared to those of the BS subgroup (*p* = 0.029; *d* = -1.08, large), and moderate ES without significant differences compared to the AA subgroup (*p* = 0.147; *d* = -0.76, moderate).

No significant differences were reported for the between-group comparisons in mRFD (*p* > 0.05; *d* = 0.04 to 0.19, trivial). During braking forces, AA and US had higher coefficients of variation in the variables PFE and EIMP. Additionally, para-footballers with AA and hemiplegic profiles reported the highest CV in the duration of the eccentric phase during CMJ.

The descriptive data regarding the force-time curve of the CMJ according to para-footballers' impairment profiles and non-impaired footballers throughout the movement are described in [Supplementary Figure S1](#).

4 Discussion

The present study aimed to determine and compare kinetic parameters during the realization of a CMJ in football players with and without brain impairments and to analyze the differences among players with different profiles/severity of impairment and non-impaired footballers. This study showed that power output in concentric variables associated with force and velocity capabilities of the lower limbs discriminate between footballers with CP and non-impaired footballers (i.e., JH, PPO, and CIMP variables). Regarding

the differences among impairment profiles and CG, the heights reached during the vertical jump, peak power values, and concentric impulse were significantly different compared to BS, AA, and US; but the MI subgroup only performed lower JH compared to non-impaired players. Moreover, those players with higher functionality presented higher values compared to those with BS in JH and CIMP variables. Additionally, athletes with a hemiplegic profile (US) presented higher jump height performance than the BS subgroup.

4.1 Comparisons between cerebral palsy group and control group

Differences in the JH performance between footballers with CP and the CG could be explained by the fact that this variable is primarily affected by the net vertical impulse during the concentric phase, permitting the body mass displacement at a higher velocity (Kirby et al., 2011; McMahon et al., 2017). Previous research on non-impaired participants has revealed that the mechanical power output and net vertical propulsive variable were differentiating factors for CMJ height between sexes (McMahon et al., 2017), sport-specific practice (Laffaye et al., 2014), and age (Louder et al., 2018; Alvero-Cruz et al., 2021). The results of this study are consistent with the study of Yanci et al. (2016) on a small group of para-footballers, who presented lower peak power compared to amateur and elite players without brain damage. Similarly, Reina

TABLE 3 One-way analysis of variance for performance variables differences of a countermovement jump according to cerebral palsy impairment profiles and control group.

CMJ variables	Bilateral spasticity <i>n</i> = 10		Athetosis/Ataxia <i>n</i> = 16		Unilateral spasticity <i>n</i> = 77		Minimum impairment <i>n</i> = 18		Control group <i>n</i> = 33
	M ± SD	CV (%)	M ± SD	CV (%)	M ± SD	CV (%)	M ± SD	CV (%)	M ± SD
Jump height (cm)	20.2 ± 4.7	23.4**	24.6 ± 6.1	24.6**	26.2 ± 5.4	20.5**†	28.5 ± 6.7	23.6**††	33.1 ± 4.9
Jump duration (s)	0.98 ± 0.13	13.6	0.93 ± 0.29	31.4	1.04 ± 0.42	40.2	0.93 ± 0.17	17.8	0.96 ± 0.16
Time to the maximum RFD (s)	0.71 ± 0.15	20.9	0.63 ± 0.27	42.5	0.71 ± 0.45	62.5	0.66 ± 0.23	35.0	0.64 ± 0.21
Maximum RFD (N/s)	8,085 ± 3,605	44.6	7,954 ± 2,690	33.8	8,546 ± 4,504	52.7	8,648 ± 4,226	48.9	8,587 ± 3,501
Peak power output (W/kg)	18.75 ± 4.63	24.7**	22.33 ± 4.63	20.7*	22.78 ± 4.95	21.7**	23.43 ± 4.46	19.0	26.54 ± 4.61
Eccentric/Concentric impulse rate	0.25 ± 0.05	20.6	0.23 ± 0.06	25.6	0.24 ± 0.09	39.3	0.26 ± 0.06	23.1	0.24 ± 0.06
Eccentric phase									
Deceleration phase (s)	0.70 ± 0.09	13.0	0.67 ± 0.23	34.3	0.69 ± 0.26	37.9	0.66 ± 0.13	20.4	0.68 ± 0.14
Eccentric duration (s)	0.45 ± 0.06	14.2	0.46 ± 0.16	35.83	0.41 ± 0.14	34.8	0.42 ± 0.09	20.3	0.45 ± 0.13
Time to peak eccentric force (s)	0.28 ± 0.07	25.9	0.28 ± 0.14	48.7	0.25 ± 0.10	40.3	0.25 ± 0.10	38.3	0.25 ± 0.09
Peak force eccentric (N/kg)	2.90 ± 1.02	35.2	3.27 ± 1.77	54.3	3.63 ± 2.22	61.1	4.05 ± 1.63	40.4	3.68 ± 1.44
Eccentric impulse (N·s·kg ⁻¹)	0.69 ± 0.22	31.6	0.66 ± 0.23	34.8	0.74 ± 0.35	47.5	0.84 ± 0.29	34.4	0.83 ± 0.26
Concentric phase									
Concentric duration (s)	0.53 ± 0.12	22.8	0.47 ± 0.18	38.8	0.62 ± 0.42	67.7	0.51 ± 0.12	23.6	0.51 ± 0.13
Time to peak concentric force (s)	0.80 ± 0.13	16.3	0.78 ± 0.30	38.9	0.85 ± 0.43	50.9	0.73 ± 0.19	26.2	0.79 ± 0.16
Peak force concentric (N/kg)	12.33 ± 2.69	21.8	13.40 ± 3.08	23.0	13.04 ± 3.01	23.1	13.06 ± 2.77	21.2	13.28 ± 1.96
Concentric impulse (N·s·kg ⁻¹)	2.67 ± 0.40	14.9**	2.83 ± 0.42	14.9**	3.00 ± 0.48	16.1**	3.19 ± 0.50	15.7†	3.38 ± 0.34

CMJ, countermovement jump; M, mean; SD, standard deviation; RFD, rate of force development. **p* < 0.05, ***p* < 0.01, Significant differences with respect to the control group. †*p* < 0.05, ††*p* < 0.01, Significant differences with respect to the bilateral spasticity group.

et al. (2018) found that mainstream football players realized higher vertical jumps in comparison to players with CP with different functional profiles, categorized according to their impairment severity and body involvement. Moreover, Fleeton et al. (2022) reported a significant relationship between the achieved height and the concentric relative impulse in athletes with CP, supporting the relevance to the overall performance in the CMJ. Thus, performance differences between para-footballers' subgroups could be attributed to the characteristics presented in the population with CP, such as diminished muscle size (O'Brien et al., 2021), impaired neuromuscular activation (Rose and McGill, 2005), or higher coactivation patterns (Hussain et al., 2014), impacting on the performance of functional activities.

The eccentric contraction during the CMJ is an essential component that contributes to propulsive forces in the stretch-shortening cycle (McBride et al., 2008; Turner and Jeffreys, 2010; Gathercole et al., 2015). During the eccentric phase of the jump, the unweighting component impacts the force production during the braking and propulsive phases, which is also conditioned by movement patterns and para-footballers' strategies to decelerate the body (McMahon et al., 2018). This study found no

significant differences between groups in variables related to the eccentric phase, probably because the CP showed great variability of functional patterns due to the nature of the diagnosis itself (Graham et al., 2016). Our results reinforce the idea that the concentric force generation was more critical in achieving height during the vertical jump. Para-footballers with CP could use different strategies during the jump descending phase according to each individual's neurological impairment, maybe reflecting the consequences of muscle weakness, altered coordination, muscular co-contraction, and/or muscular spasticity during downward movements in the CMJ (Reina et al., 2018).

It should be noted that in previous studies, the RFD was identified as an index of relevant explosive strength due to the significant functional implications in motor function and the influence during the vertical jump proficiency in conjunction with the neuromuscular coordination of the lower extremities (Rodacki et al., 2002; McLellan et al., 2011; Maffioletti et al., 2016). However, previous studies showed that children and adults with CP presented a reduced RFD compared to non-impaired individuals, principally using lower limb isometric testing to explore the associations with impaired mobility

TABLE 4 Pairwise comparison in the performance variables of a countermovement jump according to cerebral palsy impairment profiles and control group.

CMJ variables	BS vs. AA		BS vs. US		BS vs. MI		BS vs. CG		AA vs. US		AA vs. MI		AA vs. CG		US vs. MI		US vs. CG		MI vs. CG	
	<i>p</i>	<i>d</i>	<i>p</i>	<i>d</i>	<i>p</i>	<i>d</i>	<i>p</i>	<i>d</i>	<i>p</i>	<i>d</i>	<i>p</i>	<i>d</i>	<i>p</i>	<i>d</i>	<i>p</i>	<i>d</i>	<i>p</i>	<i>d</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
Jump height	0.272	0.78	0.012	-1.12	0.002	-1.32	0.001	-2.61	0.829	-0.29	0.232	-0.59	0.001	-1.60	0.481	-0.41	0.001	-1.31	0.036	-0.82
Jump duration	0.993	0.20	0.990	-0.15	0.995	0.31	1.000	0.13	0.745	-0.27	1.000	0	0.997	-0.14	0.750	0.28	0.797	0.22	0.999	-0.18
Time to the maximum RFD	0.986	0.33	1.000	0	0.998	0.24	0.983	0.35	0.923	-0.19	0.999	-0.12	1.000	-0.04	0.986	0.12	0.837	0.18	0.999	0.09
Maximum RFD	1.000	0.04	0.997	-0.1	0.997	-0.14	0.997	-0.14	0.984	-0.14	0.988	-0.19	0.986	-0.19	1.000	-0.02	1.000	-0.01	1.000	0.02
Peak power output	0.344	-0.75	0.093	-0.81	0.099	-1.01	0.001	-1.66	0.997	-0.09	0.961	-0.24	0.034	-0.91	0.985	-0.13	0.002	-0.77	0.176	-0.67
Eccentric/Concentric impulse rate	0.921	0.34	0.971	0.11	1.000	-0.17	0.995	0.17	0.991	-0.12	0.793	-0.5	0.967	-0.16	0.856	-0.23	0.997	0	0.967	0.33
Eccentric phase																				
Deceleration phase	0.992	0.15	1.000	0.04	0.985	0.33	0.997	0.15	0.991	-0.08	1.000	0.05	0.997	-0.06	0.975	0.12	0.977	0.04	0.998	-0.14
Eccentric duration	1.000	-0.07	0.907	0.3	0.971	0.36	1.000	0	0.786	0.35	0.938	0.31	1.000	0.07	1.000	-0.07	0.720	-0.29	0.949	-0.25
Time to peak eccentric force	1.000	0	0.872	0.31	0.920	0.32	0.937	0.34	0.857	0.28	0.927	0.24	0.942	0.27	1.000	0	1.000	0	1.000	0
Peak force eccentric	0.989	-0.23	0.784	-0.34	0.548	-0.77	0.791	-0.56	0.958	-0.17	0.758	-0.45	0.955	-0.26	0.920	-0.2	1.000	-0.02	0.964	-0.24
Eccentric impulse	0.999	0.13	0.984	-0.15	0.720	-0.54	0.687	-0.55	0.830	-0.24	0.401	-0.67	0.316	-0.67	0.750	-0.29	0.624	-0.28	1.000	0.04
Concentric phase																				
Concentric duration	0.990	0.36	0.911	-0.22	1.000	0.16	1.000	0.15	0.417	-0.38	0.995	-0.26	0.994	-0.27	0.680	0.28	0.446	0.31	1.000	0
Time to peak concentric force	1.000	0.08	0.992	-0.12	0.985	0.4	1.000	0.06	0.923	-0.17	0.996	0.2	1.000	-0.05	0.654	0.3	0.914	0.16	0.973	-0.35
Peak force concentric	0.875	-0.35	0.939	-0.24	0.962	-0.26	0.878	-0.44	0.991	0.12	0.997	0.11	1.000	0.05	1.000	-0.01	0.994	-0.09	0.999	-0.10
Concentric impulse	0.886	-0.38	0.188	-0.7	0.029	-1.08	0.001	-1.97	0.676	-0.36	0.147	-0.76	0.001	-1.47	0.473	-0.39	0.001	-0.86	0.605	-0.46

CMJ, countermovement jump; BS, bilateral spasticity; AA, athetosis/axial; US, unilateral spasticity; MI, minimum impairment; CG, control group; *d*, index effect size; RFD, rate of force development.

(Moreau et al., 2012; Geertsen et al., 2015; Goudriaan et al., 2018). The present RFD values showed no significant differences, suggesting that this parameter did not discriminate between the CP group and the CG. Results indicate that non-impaired footballers reached a higher JH, principally producing a greater concentric impulse, irrespective of the RFD variable. The interpretation of these results requires caution due to the multiple factors that affect RFD production (i.e., physiological and methodological factors) (Rodríguez-Rosell et al., 2018) and the high degree of response variability presented in this study.

4.2 Comparison between cerebral palsy impairment profiles

Concerning the kinetic variables, differences were only found for JH, PPO, and CIMP when comparing BS, AA, and US subgroups with CG, and for JH when comparing MI with CG. In addition, jump height performance showed differences between players' profiles, which is similar to what has been reported in a previous study on footballers with CP and different impairment profiles (Reina et al., 2018). Coinciding with these results, Antunes et al. (2017) reported that para-athletes with CP and profiles of BS and AA presented the smallest performance values during vertical jumps. Those players with a more impaired profile, such as BS, showed the lowest score in the JH performance than the more functional groups (i.e., US and MI), probably due to differences in muscle power production and the vertical concentric impulse. The players with BS or spastic diplegia present clinical characteristics associated with motor disorders that are more pronounced in both lower limbs (Graham et al., 2016), limitations in the range of movement of ankle dorsiflexion with variable loss of hamstring length (Kilgour et al., 2005), spasticity presence as the most common dominant motor disorder (Rethlefsen et al., 2010), and impaired muscle strength attributable to deficits in voluntary activation associated with constraints in gross motor parameters (Ross and Engsborg, 2007; Eek et al., 2011). These factors could probably affect the lower power output during the jump, which depends on velocity and limits the voluntary contractile capacity of explosive muscle force production (González-Badillo and Marques, 2010; Earp et al., 2011).

In this study, the participants with AA (i.e., ataxia or athetosis) impairments presented a tendency of difference with moderate ES in terms of the variables of JH (i.e., vs. BS and MI), PPO (i.e., vs. BS and CG), eccentric (i.e., vs. MI and CG), and concentric impulse (i.e., vs. MI). Players with AA are characterized by presenting difficulties with impaired voluntary control due to ataxia or involuntary contractions due to the athetosis, compromising the orderly muscular sequencing, and problems in realization of movements with aberrant force, rhythm, and inaccuracy, which impact football-specific skills (Reina et al., 2021b). Possibly, these coordination impairments influence the downward movement required during the eccentric jump phase, where mechanical changes in technique contribute to CMJ performance. The CMJ test requires the capacity to effectively transfer the stretch-shortening cycle incrementing the eccentric force-velocity parameters translating momentum to concentric force, which involve complex interactions of multi-joint movements, musculotendinous units, and neuromuscular factors that contribute to the performance (Cormie et al., 2011; Thomas et al., 2015).

Involuntary sustained or intermittent contractions, tremors, and dysmetria, among other hyperkinetic movement disorders commonly presented in footballers with CP profiles, may influence the transfer momentum between jump phases and the contribution of the eccentric force impulse production (Sanger et al., 2010). Nevertheless, future studies should focus on identifying jumping strategies and the constraints produced by hyperkinetic movements.

When comparing the player groups with the participants who presented a hemiplegic profile, significant differences and considerable ES were only found with the BS group and CG in the variables JH, PPO, and the magnitude of concentric vertical impulse during the jump. Accordingly, para-footballers with hemiplegic profiles present marked asymmetries when performing a vertical jump, as a consequence of muscle weakness and motor compensation strategies influenced by the impairment characteristics (Runciman et al., 2016; Reina et al., 2019). Hussain et al. (2014) analyzed the neuromuscular factors contributing to muscle weakness in isometric contractions of 11 active sportsmen with spastic hemiplegia, showing that the paretic limb presents an impaired neural activation in conjunction with differences in the gastrocnemius anatomical cross-sectional area. The essential contribution of neuromuscular factors and the stretch-shortening cycle capabilities as determinants of vertical jump performance is well known, and it might be expected that these characteristics also impact the vertical jump performance parameters. However, in the case of para-athletes with CP, even having impaired components of these determinants, a higher training background could provide greater adaptations enhancing physical proficiency (Runciman et al., 2016; McMahon et al., 2018).

Players with MI showed magnitude differences and moderate to large effect sizes compared to BS and AA in variables related to JH, power output production, and force/velocity parameters during both phases of the vertical jump. These results are consistent with early studies showing that players with mild impairment profiles present a higher physical capacity and perform better than those with more impaired profiles in different activity limitation assessments (Reina et al., 2018; Reina et al., 2020). The kinematic jump results could be linked due to the characteristics of this group, which include mild manifestations of players with bilateral spasticity, coordination impairments, and unilateral spasticity, characterized by the presence of the minimum impairment criteria (Peña-González et al., 2021). The MI group presented only significant differences in the height achieved during the vertical jump, however, in the rest of the variables, only a moderate ES was found in the power-related parameter. This group characteristically presents a minimal impact of the neurological consequences produced by CP on activity limitation, so it might appear that the values obtained were close to those obtained by the non-impaired players, suggesting possible adaptations due to high-level training (Runciman et al., 2016).

The results of the present study should be considered with caution due to the unequal number of participants in each subgroup, and the limited number of differences found between impairment profiles in the group of footballers with CP. However, it should be noted the difficulties to recruit participants with these neurological characteristics. Hence, the study of the jumping characteristics in participants with specific involvement such as bilateral spasticity, ataxia, and dyskinesia warrants further investigation to deeper understand the relationship between impairment and relevant physical features.

5 Conclusion

Based on the authors' knowledge, this is the first study to determine differences in jump parameters between footballers with CP according to their impairment profiles and taking into consideration the eccentric/concentric phases of a vertical jump, suggesting that the variables related to power production during the concentric phase of the jump are crucial for the performance differences between individuals' with and without impairment. Considering the variable JH, only significant differences were found between BS and US, BS and MI, BS and CG, AA and CG, US and CG, and MI and CG. Moreover, regarding the kinetic variables and the pairwise comparisons, only significant differences were found for the power output between BS and CG, AA and CG, US and CG; and for the concentric impulse in BS and MI, BS and CG, AA and CG, US and CG. However, a limitation of this study was that playing positions and subgroup analysis through CMJ performance variables (e.g., low- and high-skill jumpers) or individual differences were not considered. Additionally, the limited number of participants in some profiles (i.e., BS and AA) and the over-representation of participants with unilateral spasticity, which is a characteristic of CP football (Reina et al., 2021a), may reduce the statistical power analysis. Further studies should consider incorporating a control for the downward movement and a temporal-phase analysis to identify differences along with the entire CMJ force and power time parameters and elucidate which factors are more determinant to provide a deeper understanding of the different profiles presented in footballers with CP. In addition, the relationships between the characteristics of the spastic muscle structure components and relevant stretch-shortening cycle movements such as vertical jumps should be considered.

In terms of the practical implications of this study, strength and conditioning coaches should include in their programs training routines focus on power muscle actions that improve those parameters of vertical jump performance and replicate the most frequent challenging actions of matches to try to compensate for the negative impairment consequences on the motor actions. On the other hand, classifiers must consider in the decision-making for the class allocation that lower-limb concentric parameters are the key factor that differentiates between groups with and without impairment during CMJ performance, and which depends on the neuromuscular capacity of players with CP. In other words, classification procedures would not be focused only on the jumping (i.e., jump height); including some variables related to kinetic and kinematics may better reflect the relationships between eligible impairment and activity limitation.

Data availability statement

The raw data supporting the conclusion of this article will be made available by the authors, without undue reservation.

Ethics statement

The studies involving human participants were reviewed and approved by the Institutional Review Committee of Miguel

Hernández University approved the protocol study (Reference no. DPS.RRV.01.14). The participants provided their written informed consent to participate in this study.

Author contributions

Conceptualization, RR and DB; Methodology, RR, DB, and MH; Formal analysis, RR, JLLE, and DB; Investigation, RS, DB, and MH; Resources, RR and JY; Data curation, DB and JLLE; Writing—original draft preparation, AR, RR, MH, and JY; Writing—review and editing, RR, AR, DB, RS, JY, JLLE, and MH; Visualization, RR and AR; Supervision, RR and JY; Project administration, RR; Funding acquisition, RR and JY. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding

This research has been funded through the University-Company-Society 2020 Project convened by the University of the Basque Country (UPV/EHU) entitled “;MUÉVETE, TU TAMBIÉN PUEDES! ANÁLISIS DE LA IN-CLUSIÓN DE PERSONAS CON DIVERSIDAD FUNCIONAL EN CONTEXTOS DE ACTIVIDAD FÍSICA (code US20/14)” and requested in collaboration with Fundación GaituzSport Fundazioa.

Acknowledgments

The authors would like to acknowledge the support and cooperation of IFCPF stakeholders, teams' staff, local organizing committees, and, especially, the players of the nations involved in this study.

Conflict of interest

The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Publisher's note

All claims expressed in this article are solely those of the authors and do not necessarily represent those of their affiliated organizations, or those of the publisher, the editors and the reviewers. Any product that may be evaluated in this article, or claim that may be made by its manufacturer, is not guaranteed or endorsed by the publisher.

Supplementary material

The Supplementary Material for this article can be found online at: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphys.2023.1121652/full#supplementary-material>

References

- Alvero-Cruz, J. R., Brikis, M., Chilibeck, P., Frings-Meuthen, P., Vico Guzmán, J. F., Mittag, U., et al. (2021). Age-related decline in vertical jumping performance in masters track and field athletes: Concomitant influence of body composition. *Front. Physiol.* 12, 643649. doi:10.3389/fphys.2021.643649
- Antunes, D., Rossato, M., Kons, R. L., Sakugawa, R. L., and Fischer, G. (2017). Neuromuscular features in sprinters with cerebral palsy: Case studies based on paralympic classification. *J. Exerc Rehabil.* 13 (6), 716–721. doi:10.12965/jer.1735112.556
- Atkinson, G., and Nevill, A. M. (1998). Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Med.* 26, 217–238. doi:10.2165/00007256-199826040-00002
- Bangsbo, J. (2014). Physiological demands of football. *Sports Sci.* 27, 1–6.
- Brownstein, C. G., Dent, J. P., Parker, P., Hicks, K. M., Howatson, G., Goodall, S., et al. (2017). Etiology and recovery of neuromuscular fatigue following competitive soccer match-play. *Front. Physiol.* 8, 831. doi:10.3389/fphys.2017.00831
- Cámara, J., Grande, I., Mejuto, G., Los Arcos, A., and Yanci, J. (2013). Jump landing characteristics in elite soccer players with cerebral palsy. *Biol. Sport* 30, 91–95. doi:10.5604/20831862.1044223
- Castagna, C., and Castellini, E. (2013). Vertical jump performance in Italian male and female national team soccer players. *J. Strength Cond. Res.* 27, 1156–1161. doi:10.1519/JSC.0b013e3182610999
- Claudino, J. G., Cronin, J., Mezêncio, B., McMaster, D. T., McGuigan, M., Tricoli, V., et al. (2017). The countermovement jump to monitor neuromuscular status: A meta-analysis. *J. Sci. Med. Sport* 20, 397–402. doi:10.1016/j.jsams.2016.08.011
- Claudino, J. G., Mezncio, B., Soincin, R., Ferreira, J. C., Couto, B. P., and Szmuchowski, L. A. (2012). Pre vertical jump performance to regulate the training volume. *Int. J. Sports Med.* 33, 101–107. doi:10.1055/s-0031-1286293
- Cormie, P., McBride, J. M., and McCaulley, G. O. (2009). Power-time, force-time, and velocity-time curve analysis of the countermovement jump: Impact of training. *J. Strength Cond. Res.* 23, 177–186. doi:10.1519/JSC.0b013e3181889324
- Cormie, P., McGuigan, M. R., and Newton, R. U. (2011). Developing maximal neuromuscular power: Part 1—biological basis of maximal power production. *Sports Med.* 41, 17–38. doi:10.2165/11537690-000000000-00000
- Dayanidhi, S., and Lieber, R. L. (2018). “Muscle changes at the cellular-fiber level in cerebral palsy,” in *Cerebral palsy* (Cham: Springer International Publishing), 1–12. doi:10.1007/978-3-319-50592-3_13-1
- Dobbs, C. W., Gill, N. D., Smart, D. J., and McGuigan, M. R. (2015). Relationship between vertical and horizontal jump variables and muscular performance in athletes. *J. Strength Cond. Res.* 29, 661–671. doi:10.1519/JSC.0000000000000694
- Earp, J. E., Kraemer, W. J., Cormie, P., Volek, J. S., Maresh, C. M., Joseph, M., et al. (2011). Influence of muscle-tendon unit structure on rate of force development during the squat, countermovement, and drop jumps. *J. Strength Cond. Res.* 25, 340–347. doi:10.1519/JSC.0b013e3182052d78
- Eek, M. N., Tranberg, R., and Beckung, E. (2011). Muscle strength and kinetic gait pattern in children with bilateral spastic CP. *Gait Posture* 33, 333–337. doi:10.1016/j.gaitpost.2010.10.093
- Fleeton, J. R. M., Sanders, R. H., and Fornusek, C. (2022). Impact of maximal strength training on countermovement jump phase characteristics in athletes with cerebral palsy. *J. Sports Sci.* 40, 2118–2127. doi:10.1080/02640414.2022.2137303
- Gathercole, R., Sporer, B., Stellingwerff, T., and Sleivert, G. (2015). Alternative countermovement-jump analysis to quantify acute neuromuscular fatigue. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 10, 84–92. doi:10.1123/ijssp.2013-0413
- Geertsen, S. S., Kirk, H., Lorentzen, J., Jorsal, M., Johansson, C. B., and Nielsen, J. B. (2015). Impaired gait function in adults with cerebral palsy is associated with reduced rapid force generation and increased passive stiffness. *Clin. Neurophysiol.* 126, 2320–2329. doi:10.1016/j.clinph.2015.02.005
- González-Badillo, J. J., and Marques, M. C. (2010). Relationship between kinematic factors and countermovement jump height in trained track and field athletes. *J. Strength Cond. Res.* 24, 3443–3447. doi:10.1519/JSC.0b013e3181bac37d
- Goudriaan, M., Nieuwenhuys, A., Schless, S. H., Goemans, N., Molenaers, G., and Desloovere, K. (2018). A new strength assessment to evaluate the association between muscle weakness and gait pathology in children with cerebral palsy. *PLoS One* 13 (1), 0191097. doi:10.1371/journal.pone.0191097
- Graham, H. K., Rosenbaum, P., Paneth, N., Dan, B., Lin, J.-P., Damiano, D. L., et al. (2016). Cerebral palsy. *Nat. Rev. Dis. Prim.* 2, 15082. doi:10.1038/nrdp.2015.82
- Hedges, L. V., and Olkin, I. (1985). Statistical methods for meta-analysis. *J. Educ. Stat.* 13 (1), 1–365. doi:10.2307/1164953
- Hussain, A. W., Onambele, G. L., Williams, A. G., and Morse, C. I. (2014). Muscle size, activation, and coactivation in adults with cerebral palsy. *Muscle Nerve* 49, 76–83. doi:10.1002/mus.23866
- IFCPF (2018). Classification rules and regulations. Available at: <https://www.ifcpf.com/static/upload/raw/8ce6fab2-257c-43a7-a22d-db0e74f7b089/IFCPF+Classification+Rules+2018.pdf>.
- International Paralympic Committee (2016). International standard for eligible impairments. Available at: https://www.paralympic.org/sites/default/files/document/161004145727129_2016_10_04_%0AInternational_Standard_for_Eligible_Impairments_1.pdf (Accessed December 01, 2022).
- Jahnsen, R., Aamodt, G., and Rosenbaum, P. (2006). Gross motor function classification system used in adults with cerebral palsy: Agreement of self-reported versus professional rating. *Dev. Med. Child. Neurol.* 48, 734–738. doi:10.1017/S0012162206001575
- Kilgour, G. M., McNair, P. J., and Stott, N. S. (2005). Range of motion in children with spastic diplegia, GMFCS I-II compared to age and gender matched controls. *Phys. Occup. Ther. Pediatr.* 25, 61–79. doi:10.1300/J006v25n03_05
- Kirby, T. J., McBride, J. M., Haines, T. L., and Dayne, A. M. (2011). Relative net vertical impulse determines jumping performance. *J. Appl. Biomech.* 27, 207–214. doi:10.1123/jab.27.3.207
- Laffaye, G., Wagner, P. P., and Tomblestone, T. I. L. (2014). Countermovement jump height: Gender and sport-specific differences in the force-time variables. *J. Strength Cond. Res.* 28, 1096–1105. doi:10.1519/JSC.0b013e3182a1db03
- Linthorne, N. P. (2001). Analysis of standing vertical jumps using a force platform. *Am. J. Phys.* 69, 1198–1204. doi:10.1119/1.1397460
- Louder, T., Dolny, D., and Bressel, E. (2018). Biomechanical comparison of countermovement jumps performed on land and in water: Age effects. *J. Sport Rehabil.* 27, 249–256. doi:10.1123/jsr.2016-0225
- Maffioletti, N. A., Aagaard, P., Blazevich, A. J., Folland, J., Tillin, N., and Duchateau, J. (2016). Rate of force development: Physiological and methodological considerations. *Eur. J. Appl. Physiol.* 116, 1091–1116. doi:10.1007/s00421-016-3346-6
- Mathewson, M. A., and Lieber, R. L. (2015). Pathophysiology of muscle contractures in cerebral palsy. *Phys. Med. Rehabil. Clin. N. Am.* 26, 57–67. doi:10.1016/j.pmr.2014.09.005
- McBride, J. M., McCaulley, G. O., and Cormie, P. (2008). Influence of preactivity and eccentric muscle activity on concentric performance during vertical jumping. *J. Strength Cond. Res.* 22, 750–757. doi:10.1519/JSC.0b013e31816a83ef
- McLellan, C. P., Lovell, D. I., and Gass, G. C. (2011). The role of rate of force development on vertical jump performance. *J. Strength Cond. Res.* 25, 379–385. doi:10.1519/JSC.0b013e3181be305c
- McMahon, J. J., Rej, S. J. E., and Comfort, P. (2017). Sex differences in countermovement jump phase characteristics. *Sports* 5, 8–11. doi:10.3390/sports5010008
- McMahon, J. J., Suchomel, T. J., Lake, J. P., and Comfort, P. (2018). Understanding the key phases of the countermovement jump force-time curve. *Strength Cond. J.* 40, 96–106. doi:10.1519/SSC.0000000000000375
- Moreau, N. G., Falvo, M. J., and Damiano, D. L. (2012). Rapid force generation is impaired in cerebral palsy and is related to decreased muscle size and functional mobility. *Gait Posture* 35, 154–158. doi:10.1016/j.gaitpost.2011.08.027
- O'Brien, S. M., Carroll, T. J., Barber, L. A., and Lichtwark, G. A. (2021). Plantar flexor voluntary activation capacity, strength and function in cerebral palsy. *Eur. J. Appl. Physiol.* 121, 1733–1741. doi:10.1007/s00421-021-04638-z
- Peña-González, I., Roldán, A., Toledo, C., Urbán, T., and Reina, R. (2021). change-of-direction ability of para-footballers with cerebral palsy under a new evidence-based and sport-specific classification system. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 16, 267–272. doi:10.1123/ijssp.2019-0656
- Reina, R., Barbado, D., Hernández-Davó, H., and Roldán, A. (2021a). Dynamic and static stability in para-athletes with cerebral palsy considering their impairment profile. *PM&R* 14, 366–376. doi:10.1002/pmrj.12579
- Reina, R., Elvira, J., Valverde, M., Roldán, A., and Yanci, J. (2019). Kinematic and kinetic analyses of the vertical jump with and without header as performed by para-footballers with cerebral palsy. *Sports* 7, 209. doi:10.3390/sports7090209
- Reina, R. (2014). Evidence-based classification in paralympic sport: Application to football -7-a-Side. *Eur. J. Hum. Mov.* 32, 161–185.
- Reina, R., Iturrizcastillo, A., Castillo, D., Roldán, A., Toledo, C., and Yanci, J. (2021b). Is impaired coordination related to match physical load in footballers with cerebral palsy of different sport classes? *J. Sports Sci.* 39, 140–149. doi:10.1080/02640414.2021.1880740
- Reina, R., Iturrizcastillo, A., Castillo, D., Urbán, T., and Yanci, J. (2020). Activity limitation and match load in para-footballers with cerebral palsy: An approach for evidence-based classification. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 30, 496–504. doi:10.1111/sms.13583
- Reina, R., Iturrizcastillo, A., Sabido, R., Campayo-Piernas, M., and Yanci, J. (2018). Vertical and horizontal jump capacity in international cerebral palsy football players. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 13, 597–603. doi:10.1123/ijssp.2017-0321

- Rethlefsen, S. A., Ryan, D. D., and Kay, R. M. (2010). Classification systems in cerebral palsy. *Orthop. Clin. North Am.* 41, 457–467. doi:10.1016/j.ocl.2010.06.005
- Rhea, M. R. (2004). Determining the magnitude of treatment effects in strength training research through the use of the effect size. *Strength Cond. J.* 18, 918–920. doi:10.1519/14403.1
- Rodacki, A. L. F., Fowler, N. E., and Bennett, S. J. (2002). Vertical jump coordination: Fatigue effects. *Med. Sci. Sports Exerc.* 34, 105–116. doi:10.1097/00005768-200201000-00017
- Rodríguez-Lorenzo, L., Fernández-del-Olmo, M., Sánchez-Molina, J. A., and Martín-Acero, R. (2016). Role of vertical jumps and anthropometric variables in maximal kicking ball velocities in elite soccer players. *J. Hum. Kinet.* 53, 143–154. doi:10.1515/hukin-2016-0018
- Rodríguez-Rosell, D., Pareja-Blanco, F., Aagaard, P., and González-Badillo, J. J. (2018). Physiological and methodological aspects of rate of force development assessment in human skeletal muscle. *Clin. Physiol. Funct. Imaging* 38, 743–762. doi:10.1111/cpf.12495
- Rose, J., and McGill, K. C. (2005). Neuromuscular activation and motor-unit firing characteristics in cerebral palsy. *Dev. Med. Child. Neurol.* 47, 329–336. doi:10.1017/S0012162205000629
- Ross, S. A., and Engsborg, J. R. (2007). Relationships between spasticity, strength, gait, and the GMFM-66 in persons with spastic diplegia cerebral palsy. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 88, 1114–1120. doi:10.1016/j.apmr.2007.06.011
- Runciman, P., Tucker, R., Ferreira, S., Albertus-Kajee, Y., and Derman, W. (2016). Effects of induced volitional fatigue on sprint and jump performance in paralympic athletes with cerebral palsy. *Am. J. Phys. Med. Rehabil.* 95, 277–290. doi:10.1097/PHM.0000000000000372
- Sanger, T. D., Chen, D., Fehlings, D. L., Hallett, M., Lang, A. E., Mink, J. W., et al. (2010). Definition and classification of hyperkinetic movements in childhood. *J. Mov. Disord.* 25, 1538–1549. doi:10.1002/mds.23088
- Stølen, T., Chamari, K., Castagna, C., and Wisloff, U. (2005). Physiology of soccer: An update. *Sports Med.* 35, 501–536. doi:10.2165/00007256-200535060-00004
- Thomas, C., Jones, P. A., Rothwell, J., Chiang, C. Y., and Comfort, P. (2015). An investigation into the relationship between maximum isometric strength and vertical jump performance. *J. Strength Cond. Res.* 29, 2176–2185. doi:10.1519/JSC.0000000000000866
- Turner, A. N., and Jeffreys, I. (2010). The stretch-shortening cycle: Proposed mechanisms and methods for enhancement. *Strength Cond. J.* 32, 87–99. doi:10.1519/SSC.0b013e3181e928f9
- Tweedy, S. M., Connick, M. J., and Beckman, E. M. (2018). Applying scientific principles to enhance paralympic classification now and in the future: A research primer for rehabilitation specialists. *Phys. Med. Rehabil. Clin. N. Am.* 29, 313–332. doi:10.1016/j.pmr.2018.01.010
- Wisloff, U., Castagna, C., Helgerud, J., Jones, R., and Hoff, J. (2004). Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *Br. J. Sports Med.* 38, 285–288. doi:10.1136/bjsm.2002.002071
- Woodard, C. M., James, M. K., and Messier, S. P. (1999). Computational methods used in the determination of loading rate: Experimental and clinical implications. *J. Appl. Biomech.* 15, 404–417. doi:10.1123/jab.15.4.404
- World Para Athletics (2022). World Para Athletics classification rules and regulations. Available at: https://www.paralympic.org/sites/default/files/2022-06/WPA%20Classification%20Rules%20and%20Regulations_Edition%20June%202022.pdf (Accessed April 6, 2023).
- Yanci, J., Castagna, C., Los Arcos, A., Santalla, A., Grande, I., Figueroa, J., et al. (2016). Muscle strength and anaerobic performance in football players with cerebral palsy. *Disabil. Health J.* 9, 313–319. doi:10.1016/j.dhjo.2015.11.003

Agradecimientos

Esta tesis está dedicada a mi familia, a mi compañera María Isabel, a mis directores, a mis amigos y a todos aquellos deportistas con discapacidad que han sido parte de este viaje y que llevo con una pasión paralímpica en el corazón. Raúl, siempre estaré agradecido por tu amistad, confianza, apoyo y bondad, aceptando a este simple colaborador de un remoto país llamado Chile.

“Without memory there can be no mind.”

Richard F. Thompson