



Carrera de Kinesiología
Facultad de Ciencias de la Salud
Universidad Gabriela Mistral

“Descripción de parámetros temporo-espaciales y variabilidad motora de la marcha en personas que practican fútbol adaptado: estudio transversal”.

Integrantes: Rodrigo Aguilera Sánchez
Simón Camus Astudillo
Carolina Canales Clavería
María Cusiyupanqui Chicchon
Gerarda Cutiño López

Guía de Tesis: Arturo González Olguín
Licenciado en Kinesiología

2019



INDICE

I.	RESUMEN	4
II.	SUMMARY	6
III.	INTRODUCCIÓN	8
IV.	PREGUNTA E HIPOTESIS DE INVESTIGACION	12
V.	OBJETIVOS DEL PROYECTO	12
A.	Objetivo general:	12
B.	Objetivos específicos:	12
VI.	MATERIAL Y MÉTODO	14
A.	Enfoque - Alcance del estudio - Diseño de investigación	14
▪	Enfoque del estudio	14
▪	Alcance de la Investigación	14
▪	Tipo de Investigación	14
▪	Diseño del estudio	14
B.	Variables del Estudio	15
	Variable Dependiente: Entropía Aproximada (ApEn).	15
□	Definición Conceptual	15
□	Definición Operacional	15
	Variable Dependiente: Velocidad de la marcha.	16
□	Definición Conceptual	16
□	Definición Operacional	16
	Variable Dependiente: Cadencia.	16
□	Definición Conceptual	16
□	Definición Operacional	16
	Variable Dependiente: Longitud del paso.	17
□	Definición Conceptual	17
□	Definición Operacional	17
	Variable Dependiente: Root Mean Square (RMS).	18
□	Definición Conceptual:	18
□	Definición Operacional	18
C.	Población – Muestra	19



▪ Población	19
▪ Muestra	19
▪ Estrategia de Muestreo	19
D. Criterios de selección	20
E. Instrumentos de Evaluación	21
F. Procedimiento y/o técnicas de recolección de datos	22
G. Aspectos Éticos	25
VII. RESULTADOS	27
Análisis de características antropométricas de la muestra.	27
Descripción de la disfunción motora de los participantes del estudio.	28
Análisis de los parámetros temporo-espaciales de la marcha.	29
Análisis de los parámetros de Root Mean Square (RMS).	30
Análisis de Entropía Aproximada (ApEn).	31
Resultados de los parámetros temporo-espaciales de la marcha	32
Análisis de los parámetros de Root Mean Square (RMS).	36
Análisis de los parámetros de Entropía Aproximada (ApEn).	39
VIII. DISCUSIÓN	41
IX. CONCLUSIÓN	46
X. BIBLIOGRAFÍA	47
XI. ANEXOS	52



I. RESUMEN

Introducción: La marcha humana es considerada un indicador importante de salud. La exploración de la marcha ha sido ampliamente estudiada desde sus conceptos cinéticos como cinemáticos. Habitualmente, dicha exploración se centra en parámetros de magnitud que caen dentro de un modelo de análisis denominado análisis lineal de la marcha. Sin embargo, la estructura de la marcha asociada a la variabilidad inherente de los sistemas dinámicos complejos, es escasamente abordada desde la kinesiología. Es así, como otra perspectiva de análisis denominado análisis no-lineal, se acerca a conocer esta estructura a través de algoritmos matemáticos como la entropía, y así, conocer de una forma más completa el fenómeno de la marcha en diferentes condiciones y contextos. Es conocido que las personas en situaciones de discapacidad motora, como padecer de parálisis cerebral, tienen dificultad para adaptarse y moverse en el entorno. Sin embargo, algunas personas llegan a tener mecanismos de adaptación que les permiten incluso practicar deportes de competición en el alto rendimiento, como el fútbol adaptado o paralímpico.

Objetivo: Describir los parámetros temporo-espaciales y variabilidad motora de la marcha en personas que practican fútbol adaptado.

Método: Estudio observacional descriptivo y transversal. La muestra consistió en un grupo de 8 futbolistas de la selección chilena de fútbol 7 adaptado.

Resultados: En la cadencia 5 participantes del estudio tuvieron número de pasos de manera libre o espontánea, pero 3 de ellos no; 2 tuvieron una cadencia mayor y 1 tuvo una cadencia menor, siendo su marcha poco eficiente por su condición patológica. En la longitud media del paso y velocidad de la marcha estarían bajo la media, porque su



marcha era cautelosa, pero a la vez con adaptación de sus respectivos sistemas. En la entropía aproximada en el eje “X” no existe variabilidad motora significativa (manteniendo rangos de referencia), mientras que los ejes “Y” y “Z” existe una alta variabilidad motora en 2 participantes. En el RMS (Root Mean Square) en el plano antero-posterior la marcha fue normal, pero uno de ellos tuvo una mayor tendencia a la flexión de cadera y rodilla bilateral. En el plano medio-lateral 6 participantes tenían una marcha alterada con predominancia de abducción de cadera bilateral y en el plano vertical no hubo diferencias significativas en cada marcha, estando dentro de los rangos de normalidad.

Conclusión: Existe un alto grado de variabilidad motora en los participantes de este estudio, con una mayor adaptabilidad del sistema, tanto por su condición patológica como del entorno que lo rodea, generando así una marcha funcional en ellos. Esto no significa necesariamente un mayor riesgo de caídas o pérdida de funcionalidad en sus actividades de la vida diaria, sino que les permite realizar de manera adaptativa y exitosamente su práctica deportiva. Sin embargo, los resultados obtenidos en este estudio no son significativamente concluyentes, por lo que se necesita mayor muestreo y rigurosidad de los datos, además de la realización de nuevas investigaciones para poder entender el fenómeno de la marcha humana en su totalidad especialmente en sujetos con disfunción motora.

Palabras Clave: Parálisis Cerebral, Marcha Humana, Entropía, Variabilidad Motora.



II. SUMMARY

Introduction: Human gait is considered an important health indicator. Gait exploration has been extensively studied from its kinetic as kinematic concepts. Typically, this exploration focuses on parameters of magnitude that fall within an analysis model called linear gait analysis. However, the structure of gait associated with the inherent variability of complex dynamic systems is scarcely approached from kinesiology. Thus, as another perspective of analysis called non-linear analysis, it is close to knowing this structure through mathematical algorithms such as entropy, and thus, knowing in a more complete way the phenomenon of gait in different conditions and contexts. It is known that people in situations of motor disability, such as suffering from cerebral palsy, have difficulty adapting and moving around. However, some people have adaptation mechanisms that allow them to even practice competitive sports in high performance, such as adapted or paralympic football.

Objective: Describe the temporo-spatial parameters and motor variability of walking in people who practice adapted football.

Method: Observational, extensive and transversal study. The sample consisted of a group of 8 players from the Chilean soccer team 7 adapted.

Results: In the cadence 5 study participants had number of steps freely or spontaneously, but 3 of them did not; 2 had a higher cadence and 1 had a lower cadence, their march being inefficient due to their pathological condition. In the average length of the passage and speed of the march they would be below the average, because their march was cautious, but at the same time with adaptation of their respective systems. In the approximate entropy in the "X" axis there is no significant motor variability (maintaining



reference ranges), while the “Y” and “Z” axes there is a high motor variability in 2 participants. In the RMS (Root Mean Square) in the anteroposterior plane the march was normal, but one of them has a greater tendency to flexion of the hip and bilateral knee. In the mid-lateral plane 6 participants had an altered gait with a predominance of bilateral hip abduction and in the vertical plane there were no significant differences in each gait, being within the normal ranges.

Conclusion: There is a high degree of motor variability in the participants of this study, with a greater adaptability of the system, both for its pathological condition and the surrounding environment, thus generating a functional march in them. They do not have risks of falls or loss of functionality in their daily activities, but allows them to adaptively and successfully perform their sports practice. However, the results obtained in this study are not significantly conclusive, so that greater sampling and rigor of the data are needed, in addition to conducting new research to understand the phenomenon of human gait in its entirety especially in subjects with motor dysfunction.

Key Words: Cerebral Palsy, Human March, Entropy, Motor Variability.



III. INTRODUCCIÓN

La parálisis cerebral es una disfunción neurológica no progresiva causada por una malformación del desarrollo cerebral, que puede ser antes, durante o después del nacimiento, y que genera una disfunción motora de forma permanente como alteraciones en la postura, en el balance y en la marcha normal ¹. Lo anterior, trae consecuencias en el movimiento generando patrones con reacciones asociadas disfuncionales, entre ellos los característicos a una marcha hemipléjica, diplejía, diskinética o atáxica ². Muchas de las personas con secuela motora se vuelven sedentarios y dependientes, afectando directamente a los parámetros temporo-espaciales de la marcha como velocidad, longitud del paso, cadencia, variabilidad motora, coordinación y simetría ³. Sin embargo, se destaca que hay grupos de personas que, debido a sus características contextuales, participan activamente en la práctica de la actividad física y más recientemente en la de algún deporte adaptado, permitiendo mejorar sus cualidades físicas a través de respuestas adaptativas al entrenamiento y al realizar normalmente sus actividades cotidianas como caminar ⁴.

En cuanto a la marcha humana es el medio por el cual nos desplazamos permitiendo lo que se denomina locomoción. Esta actividad es clave para la realización de las actividades de la vida diaria, garantizando que sea una expresión hábil y eficiente para los distintos contextos que ofrece el entorno ^{5,6}. En este sentido, la marcha ha sido estudiada en múltiples ámbitos, tanto a través de análisis cinético como cinemático, utilizando diversos instrumentos como electromiografía, video posturografía, plataforma de fuerza, acelerometría, entre otros ⁷. De esta forma, el estudio de la marcha se centra en la mayoría de los casos en lo que se denomina la “magnitud”, la cual son parámetros que determinan qué tan saludable se encuentra



el sistema, si el gasto energético varía con o sin velocidad o la existencia de algún tipo de patología que afecte la marcha ⁸.

Tradicionalmente, estas variables cuantitativas del movimiento son analizados bajo una perspectiva denominada “lineal” a través del análisis de estadígrafos como la media o desviación estándar, es decir, sin considerar las desviaciones de los datos que conforman la estructura de la marcha y que, en el lenguaje de las “señales biológicas” son considerados como “ruido” y deben ser removidos o filtrados para poder develar estas magnitudes (velocidad, longitud del paso, contracciones musculares, ángulos de movimientos, entre otros) ⁹. Si bien esto es muy relevante de relatar como indicador de desempeño de la marcha, el entendimiento no es íntegro, debido a la omisión de otro componente de estudio de las señales biológicas que operan en series de tiempo, como lo es la “estructura” de la señal, que daría cuenta de la variabilidad del sistema, entendida desde el paradigma de los sistemas dinámicos propuesta por Bernstein ¹⁰. En este sentido, el modelo de Bernstein apunta a sistema de análisis no-lineal, es decir, a un análisis matemático que se utiliza para cuantificar el orden, la previsibilidad, la regularidad y la complejidad de la marcha. Desde esta visión, que el sistema sea variable es considerado como algo positivo y beneficioso que colaboraría a la adaptabilidad de los contextos, a diferencia de los sistemas lineales donde dicha variabilidad suele ser considerada como negativa o indicador de un sistema no estable. En otras palabras, el modelo lineal de la marcha colabora a la toma de decisiones clínicas, pero probablemente no logra relatar la complejidad de la marcha humana, en todas sus dimensiones ¹¹, ¹². Actualmente la investigación del movimiento humano apunta a intentar comprender la marcha como un fenómeno, considerando su dinámica o interacciones como algo que es necesariamente variable ^{9, 12 - 14}.



Una de las herramientas matemáticas para el estudio de la variabilidad del movimiento es la denominada entropía (concepto desde la teoría de sistemas dinámicos complejos), la cual permite el cálculo oportuno de la regularidad de una serie temporal de datos no-lineales dentro de la marcha humana ¹⁵. Por lo tanto, dicha entropía y los parámetros temporo-espaciales se verían afectados en condiciones como disfuncionales como la enfermedad de Parkinson, enfermedades neuromusculares, la parálisis cerebral, entre otros ¹⁶.

Finalmente, con el objetivo de comprender desde una nueva perspectiva el fenómeno de la marcha es que resulta relevante conocer cómo esta magnitud y estructura (su variabilidad motora) se comportan en una situación de disfunción motora como es la parálisis cerebral ¹².

En cuanto a la justificación de esta investigación, el campo clínico está comenzando a reconocer la necesidad de una visión no-lineal hacia la complejidad, en particular para los problemas que afectan a múltiples sistemas. Los usos clínicos para el análisis no-lineal aparecen en varias disciplinas, como en el área de la cardiología, la psiquiatría, entre otros. Ejemplo: el análisis del control postural mediante estabilometría se ha mejorado mediante la adición del análisis no-lineal, que puede servir para identificar con mayor precisión las características del control postural que indican problemas sutiles para los bebés, diferencias de desarrollo entre personas jóvenes y de edad avanzada o aparición de enfermedad. Otro ejemplo sobre el análisis no-lineal es que se ha utilizado el análisis de la frecuencia cardíaca, utilizando la entropía para evaluar los factores de riesgo del síndrome de muerte súbita. El análisis no-lineal ha sido útil en la verificación de las intervenciones de desfibrilador cardíaco implantable mediante el uso de dicha entropía de la variabilidad de la frecuencia cardíaca. Por lo tanto, este procedimiento es fundamental y novedoso en la clínica. La variabilidad de la marcha también se ha



estudiado utilizando herramientas no lineales. Las aplicaciones en la clínica para la intervención de terapia física son ahora una posibilidad realista y novedosa. Los estudios recientes de varias disciplinas y de áreas médicas han demostrado que los fenómenos de la marcha tanto no-lineal como lineal pueden proporcionar información importante sobre el sistema de marcha de un paciente, es decir, conocer detalladamente su variabilidad motora, el desplazamiento de su centro de masa, entre otras características. Por lo tanto, se puede inferir que habrá futuros desarrollos para optar tanto a opciones terapéuticas como al diagnóstico. El análisis de la variabilidad presente en los patrones de movimiento generados por una patología proporciona una “mirada clínica” al estado neuromuscular del paciente y, debido a esto, creemos que este enfoque permitirá a los ingenieros, científicos del movimiento y clínicos especializados a desarrollar nuevas bases para utilizar el análisis no-lineal en sus prácticas, y a su vez, generar nuevas políticas de salud que permitan un buen desempeño a posibles trastornos de marchas con o sin enfermedades, entendiendo además, el fenómeno de la marcha humana y cómo existe interacción entre un sistema corporal y el entorno, para así poder otorgar nuevas estrategias de evaluación y/o tratamiento a personas que tengan una patología que afecte directamente en su marcha ¹⁷.



IV. PREGUNTA E HIPOTESIS DE INVESTIGACION

¿Cuáles son los parámetros temporo-espaciales y de variabilidad motora que caracterizan a las personas con parálisis cerebral que practican fútbol adaptado, durante una tarea de marcha simple en la temporada 2019?

V. OBJETIVOS DEL PROYECTO

A. Objetivo general:

Describir los parámetros temporo-espaciales y variabilidad motora de la marcha en personas con parálisis cerebral que practican fútbol adaptado.

B. Objetivos específicos:

- Determinar los parámetros temporo-espaciales como velocidad de marcha, longitud del paso, cadencia y variabilidad motora, durante una prueba de marcha simple en los deportistas que practican fútbol adaptado.
- Identificar el nivel de variabilidad motora de la estructura de la marcha en todos los deportistas que practican fútbol adaptado.



- Conocer la magnitud y estructura de la marcha expresada en los distintos grupos de deportistas que practican fútbol adaptado.



VI. MATERIAL Y MÉTODO

A. Enfoque - Alcance del estudio - Diseño de investigación

- **Enfoque del estudio:** cuantitativo. Esto se debe a que la naturaleza de las variables del estudio (variables temporo-espaciales y de variabilidad motora de la marcha humana) son medibles y objetivables, buscando el estudio de los fenómenos desde un contexto de medición controlado.
- **Alcance de la Investigación:** descriptivo. Esto se debe a que se busca especificar las características y perfiles de la marcha en cuanto a su magnitud y estructura, como los parámetros temporo-espaciales y la variabilidad motora respectivamente.
- **Tipo de Investigación:** al no existir intervención, esta investigación es de tipo observacional, ya que se pretende describir sin intervenir los parámetros temporo-espaciales y la variabilidad motora de los futbolistas.
- **Diseño del estudio:** transversal. Esto se debe a que la recolección de datos se realizará en un único momento al grupo de deportistas que practican fútbol adaptado.



B. Variables del Estudio

Variable Dependiente: Entropía Aproximada (ApEn).

- **Definición Conceptual:** Es un concepto matemático acuñado por Shannon e introdujo originalmente en la teoría de la información como una medida de incertidumbre o variabilidad. Basándose en este concepto, Pincus desarrolló una nueva medida de esta variable a utilizar, que cuantificó la regularidad de los datos de series de tiempo. Esta entropía aproximada se define como una medida no-lineal que puede cuantificar la regularidad o la previsibilidad de una serie de tiempo, que da cuenta la complejidad de un sistema complejo como la marcha ¹⁶.
- **Definición Operacional:** Los valores más cercanos a 0 (cero) son consistentes con la máxima regularidad, y los valores cercanos a 2 representan la máxima irregularidad, que serán reflejados mediante acelerometría y posteriormente en el paquete de análisis de datos R y RStudio, mediante el Package RQA (Recurrence Quantification Analysis).



Variable Dependiente: Velocidad de la marcha.

- **Definición Conceptual:** En el ámbito matemático se puede definir como una magnitud vectorial que refleja el espacio recorrido por un cuerpo en una unidad de tiempo. En los estudios biomecánicos se suele medir en metros por segundo (m/s). Se indica a una velocidad promedio sobre los 1,2 m/s para personas mayores de 18 años de edad ¹⁸. Otras investigaciones adicionales, sugieren que velocidades bajo los 0,6 m/s podría significar una marcha cautelosa y con riesgo de caída ¹⁹. La fórmula que define la velocidad de la marcha es la siguiente:

$$\text{Velocidad (m*s-1)} = \text{distancia recorrida (m)} / \text{tiempo (s)}$$

- **Definición Operacional:** mediante acelerometría, ya que mide la distancia que recorre una persona en un tiempo determinado a un ritmo espontáneo.

Variable Dependiente: Cadencia.

- **Definición Conceptual:** Es el número de pasos por minuto ²⁰. La cadencia libre o espontánea en adultos oscila entre 100 a 120 pasos en un minuto; mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Cadencia de pasos (pasos*min-1)} = (\text{velocidad (m*s-1)} / \text{longitud zancada (m)}) * 120$$

- **Definición Operacional:** Los números de pasos de cada participante se reflejarán mediante acelerometría.



Variable Dependiente: Longitud del paso.

- **Definición Conceptual:** Se define como la distancia lineal en el plano de progresión entre los puntos de contacto desde un pie al otro. Su unidad de medida se expresa en metros (m) y se puede calcular mediante esta fórmula: $(m \cdot \text{min}^{-1})$; conocido como el coeficiente de velocidad ²¹ y la distancia entre sucesivos puntos de contacto de pies alternos con el suelo (Lamoreux, 1971; Murray 1967; Murray, et al., 1964; Murray et al., 1966). También, se define como la distancia en la línea de progresión entre el apoyo del talón de un pie y el apoyo del talón del pie contrario ²². La fórmula es la siguiente:

*Longitud paso (m) = velocidad (m*min-1) / cadencia de pasos por minuto (pasos*min-1).*

- **Definición Operacional:** La longitud del paso se considera una variable dependiente, porque según su naturaleza es cuantitativa continua, por lo tanto, sus mediciones serán reflejadas mediante acelerometría.



Variable Dependiente: Root Mean Square (RMS).

- **Definición Conceptual:** Es un parámetro frecuentemente determinado en investigaciones donde se desea analizar la marcha humana u otras medidas que contengan series de tiempo. Constituye una medición estadística de la magnitud de la aceleración, la cual considera una medida de dispersión de los datos relativos a cero. Este valor fue usado para proporcionar una indicación de la magnitud promedio de las aceleraciones en cada dirección durante una prueba completa de caminata en los planos Antero-Posterior (AP), Medial-Lateral (ML) y Vertical (Vt). En el caso de los parámetros de acelerometría de la marcha se utiliza como un marcador de suavidad y ritmicidad. Conocida como la raíz cuadrática media de la aceleración.
- **Definición Operacional:** Mediante acelerometría, ya que estos valores suelen analizarse sus valores brutos o normalizados por la velocidad de marcha o la cadencia, no obstante, los valores más altos indican un mejor desempeño de los patrones que articulan la generación de la marcha, por lo tanto, sus valores oscilan entre 0 y 2. Estos valores cuantitativos adicionalmente son reflejados por un programa llamado iGait (se nombrará más adelante).



C. Población – Muestra

- **Población:** los participantes de este estudio deben tener parálisis cerebral como patología de base y que pertenezcan al grupo de futbolistas de la selección chilena de este deporte adaptado durante el periodo 2019.
- **Muestra:** 12 participantes de los cuales 4 fueron excluidos, 2 por no pertenecer dentro de los criterios de inclusión y otros 2 participantes que presentaban otras patologías neurológicas, quedando una muestra de 8 jugadores de fútbol adaptado de la selección Chilena período 2019.
- **Estrategia de Muestreo:** no probabilístico, porque en el presente estudio no se está realizando un estudio comparativo, no hay selección de grupos y el número determinado de la muestra no refleja una población significativa. Cada participante será informado verbalmente y por escrito a través de un consentimiento informado acerca de las características del estudio como el de su participación. Lo anterior, se pretende realizar reuniones grupales en conjunto con la aprobación del director técnico, al que previamente se le informará a través de una carta de autorización. Posteriormente, se invitará a cada futbolista a participar de este estudio investigativo.

D. Criterios de selección

<p>Criterios de inclusión</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Personas con diagnóstico de parálisis cerebral como patología de base. ▪ Que sean mayores de 18 años de edad (entrevista con participantes y corroboración con staff técnico). ▪ Que pertenezcan a los cumplimientos de criterios IFCPF (International Federation of Cerebral Palsy Football) de fútbol adaptado (consultado al staff técnico e identificar en los registros de la selección chilena). ▪ Tener al menos 1 año de práctica regular de fútbol adaptado (consultado en la entrevista deportiva y al staff técnico). ▪ Que sea jugador de campo.
<p>Criterios de exclusión</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Personas que presenten algún tipo de dolor que dificulte la correcta ejecución de la marcha (será evaluado a través de la entrevista inicial). ▪ Que hayan cursado alguna patología respiratoria en las últimas 2 semanas previas a la intervención (consultado en la entrevista inicial). ▪ Que presenten efectos adversos como vértigo u otros problemas motores por consumo de fármacos correspondientes al grupo de benzodiazepinas.



E. Instrumentos de Evaluación

En etapa inicial de la investigación se creará una ficha de antecedentes que recolecte información de caracterización de cada participante como su identificación (anamnesis), edad, peso, talla y tipo de clasificación motriz.

Los instrumentos a utilizar son: cinta métrica para poder medir los metros necesarios para la prueba de marcha y un acelerómetro triaxial. Este último instrumento es esencial en los análisis tanto de la marcha humana como en reposo (sedente o acostado), fácil de acoplar en distintos puntos corporales y que transmite una señal a un software o programa determinado. Clasifica cada patrón de movimiento en tiempo real analizando la cinemática de la marcha ²¹. Se utilizará un acelerómetro marca Notch®.

Se menciona que existe una moderada a alta fiabilidad en la utilización de los acelerómetros al momento de estudiar la marcha y la carrera en futbolistas ²³, sin embargo, aún existe una escasa evidencia científica que examine la real fiabilidad y validez de la acelerometría ²⁴.



F. Procedimiento y/o técnicas de recolección de datos

Las evaluaciones fueron realizadas en un total de 6 sesiones, llevándose a cabo en las dependencias del Estadio Nacional Julio Martínez Pradanos, en la comuna de Ñuñoa, Santiago.

Prueba de marcha simple: todos los participantes iniciarán la prueba en un corredor liso, sin pendiente ni obstáculos, por el cual deberán caminar 30 metros a una velocidad autoseleccionada con la indicación verbal “camine como lo hace habitualmente en un día normal”. La tarea de marcha será repetida en 3 oportunidades. Sin embargo, previo a la iniciación se tiene contemplado 2 ensayos previos para que el participante se familiarice con la prueba y evitar adaptaciones iniciales no deseadas. Luego de entregadas las instrucciones serán consultados para resolver cualquier duda asegurando una correcta comprensión de las indicaciones.

Un total de 6 acelerómetros serán utilizados para reconstruir las aceleraciones y desaceleraciones corporales y del COM durante la marcha, los cuales serán fijados de manera segura.

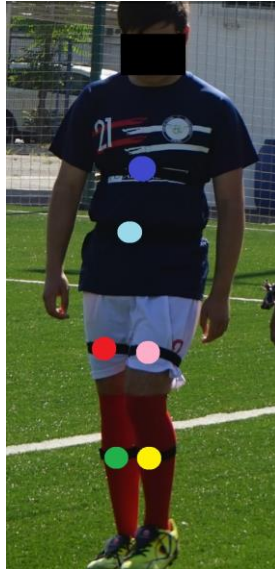


Figura 1. Acelerómetros colocados en distintos puntos corporales, 1 en el tronco (representa color azul), 1 en la pelvis (color celeste), 1 en el muslo derecho (color rojo), 1 en la pierna derecha (color verde), 1 en el muslo izquierdo (color rosado) y 1 en la pierna izquierda (color amarillo).



Figura 2. Acelerómetros utilizados en la evaluación, pesan alrededor de 10 gramos y miden 2 centímetros de diámetro aproximadamente. Son instrumentos livianos y pequeños que no afectan en ninguna medida la integridad de los participantes.



La posición inicial de los participantes es de pie, con calzado y ropa comfortable, posición recta, pies separados a nivel de los hombros y ojos abiertos. Serán instruidos para mantener dicha postura por 10 segundos. Luego de esto, los participantes deberán caminar a la orden de “inicie la marcha” hasta llegar al término de los 30 metros, donde se les pedirá nuevamente a los participantes que mantengan la posición recta durante 10 segundos sin moverse. De los 30 metros, se eliminarán los primeros y últimos 10 metros para evitar las compensaciones asociadas a la aceleración y desaceleración, de esta forma, sólo los 10 metros centrales serán tomados como parte de la medición de las variables. A lo largo de todo el trayecto, un investigador resguardará el recorrido del participante a una distancia de 2 metros sin interferir en su marcha, resguardando así la seguridad del futbolista.

Los datos recopilados serán organizados y tabulados en el programa Microsoft Excel 2016®. El procesamiento previo de las señales de marcha (inicio y término de la señal) de ambos grupos implica extraer y eliminar los datos de aceleración inicial y desaceleración final. Lo anterior, será realizado en el paquete de análisis de datos R y su interfaz RStudio mediante el Package RQA, en el cual analizará las oscilaciones del centro de masa en series de tiempos. De esta forma, se seleccionará la señal y calculará el componente de entropía aproximada de los desplazamientos del centro de masa en los planos AP, ML y Vt. El Package RQA de análisis fue extraído del repositorio para software R en la siguiente dirección web:

<https://cran.r-project.org/web/packages/nonlinearTseries/index.html>

Los parámetros temporo-espaciales serán calculados mediante la aplicación computacional llamado iGait. En este caso, se utilizarán los cálculos de las variables velocidad de marcha, longitud del paso, cadencia y RMS en los 3 planos de movimiento



nombrados anteriormente, utilizando el mismo principio previo de extraer y eliminar los datos de aceleración inicial y desaceleración final ²⁵.

G. Aspectos Éticos

Los presuntos participantes de la investigación recibirán la información necesaria para determinar si quieren participar o no del estudio presente, contando con tiempo suficiente para decidir desde que se le entrega la información detallada de su invitación a participar. Dicha información será explicitada de 2 formas: primero verbalmente a través de la lectura del consentimiento informado. En una segunda forma, para una mayor transparencia se le entregará una copia de dicho consentimiento informado por escrito, para que el participante lo tenga de respaldo y pueda acceder en cualquier momento.

Los participantes que ingresen en la investigación lo harán de forma voluntaria, por lo que existe la posibilidad de no querer participar o poder retirarse en cualquier punto iniciado el proceso de evaluación, sin ningún tipo de consecuencias para los participantes.

La participación en esta investigación no involucra beneficios directos para los participantes, como tampoco daños ni costo asociado, más bien se podría reportar riesgos menores asociados, los cuales están directamente relacionados con la actividad que se les solicitará, la cual es caminar a una velocidad auto-seleccionada por una distancia de 30 metros. Sin embargo, a pesar de lo inocua de la prueba un investigador se encontrará acompañando al participante durante la prueba a una



distancia de 2 metros, para minimizar cualquier riesgo inherente a caminar. Todos los datos personales que caracterizarán al grupo de participantes serán resguardados en todo momento manteniendo la privacidad de la información.

VII. RESULTADOS

El estudio fue realizado con una muestra de 8 adultos con diagnóstico de parálisis cerebral pertenecientes al grupo de futbolistas de la selección chilena en la temporada 2019. Se realizaron los análisis estadísticos en el programa SPSS utilizando variables cuantitativas (media y desviación estándar) y cualitativas (frecuencia y porcentaje). Los resultados fueron los siguientes.

Análisis de características antropométricas de la muestra.

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Edad	8	19,00	40,00	25,38	6,88
Peso Corporal	8	63,00	85,00	70,25	7,92
Talla	8	1,54	1,76	1,66	0,07
I.M.C.	8	23,42	27,83	25,27	1,97

**DE: Desviación Estándar.*

Tabla 1. Características antropométricas generales de los 8 futbolistas. La edad promedio es de 25,38 años (6,89 DE), el peso promedio es de 70,25 Kg (7,92 DE), la talla promedio es de 1,66 Mts (0,07 DE) y el índice de masa corporal promedio es de 25,27 (1,97 DE). Se destaca que un participante tiene 40 años de edad, mientras que los demás son más jóvenes.

Descripción de la disfunción motora de los participantes del estudio.

Disfuncion Motora		
	frecuencia	porcentaje
Espasticidad unilateral	8	100
Severidad		
moderado	8	100
Lateralidad		
derecho	4	50
izquierdo	4	50
total	8	100

Tabla 2. Se observa que todos los participantes estaban en la categoría de espasticidad unilateral, 4 de ellos con una representación motora tipo hemiparesia izquierda y 4 con hemiparesia derecha.



CLASIFICACION FUTBOL7		
FT2	8	100

Tabla 3. Se observa la cantidad de participantes que entraron en el estudio, que practican fútbol adaptado y que presentan deterioro funcional moderado (FT2).

Análisis de los parámetros temporo-espaciales de la marcha.

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Cadencia (pasos/min)	8	71,52	137,31	102,73	21,93
Distancia (m)	8	0,45	0,69	0,55	0,07
Velocidad (m/s)	8	0,42	0,56	0,44	0,05

Tabla 4. Se observa los parámetros temporo-espaciales de la marcha como la cadencia (pasos/min), la distancia (m) y la velocidad (m/s). La cadencia promedio es de 102,73 (21,93 DE), la distancia promedio es de 0,55 (0,07 DE) y la velocidad de la marcha simple promedio es de 0,44 (0,05 DE).

Análisis de los parámetros de Root Mean Square (RMS).

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
RMS Antero-Posterior	8	1,06	2,46	1,72	0,42
RMS Medio-Lateral	8	1,70	3,04	2,30	0,51
RMS Vertical	8	0,95	1,73	1,31	0,27

Tabla 5. Se observa los parámetros de RMS en diferentes planos de movimiento. En el plano AP el promedio es de 1,72 (0,42 DE), en el plano ML el promedio es de 2,30 (0,51 DE) y en el plano Vt el promedio es de 1,31 (0,27 DE).

Análisis de Entropía Aproximada (ApEn).

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Entropía Eje X	8	0,61	1,44	1,03	0,33
Entropía Eje Y	8	0,83	2,65	1,56	0,52
Entropía Eje Z	8	0,65	2,21	1,61	0,50

Tabla 6. Es posible observar los parámetros de ApEn en diferentes ejes de movimiento. En el eje “X” el promedio es de 1,03 (0,33 DE), en el eje “Y” el promedio es de 1,56 (0,52 DE) y en el eje “Z” el promedio es de 1,61 (0,50 DE).

Resultados de los parámetros temporo-especiales de la marcha

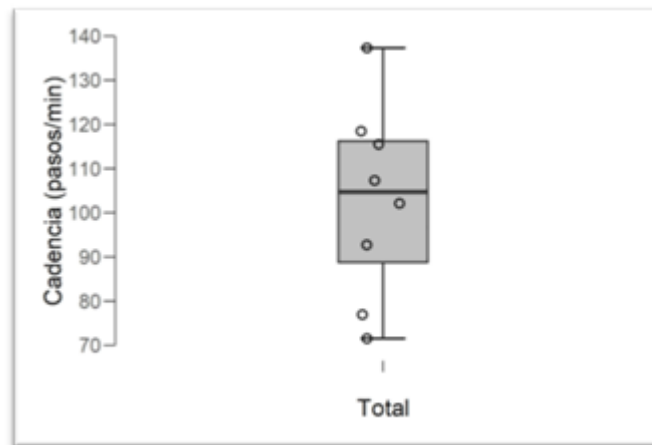


Gráfico 1. Se observa un diagrama de caja y bigotes de la cadencia (pasos/minuto). La mayoría de los participantes se encuentran en la mediana, pero 3 de ellos se encuentran en los extremos; 1 de ellos se posiciona en el extremo superior llegando a los 140 pasos por minuto, mientras que 2 de ellos se posicionan en el extremo inferior con una cadencia menor a 80 pasos por minuto.

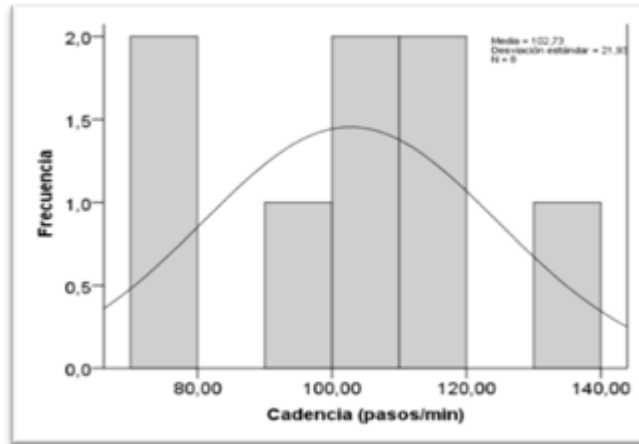


Gráfico 2. Se observa un gráfico de barras de la cadencia (pasos/minuto). La variable independiente corresponde a la cadencia, mientras que la variable dependiente corresponde a la frecuencia del mismo. El promedio es de 102,73 (21,93 DE).

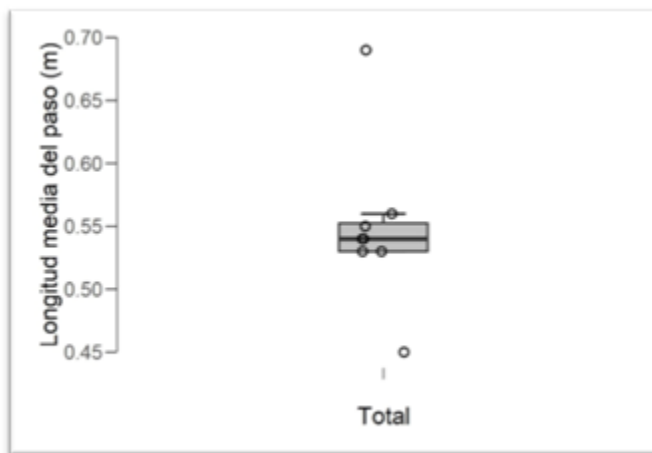


Gráfico 3. Se observa un diagrama de caja y bigotes de la longitud media del paso (m). La mayoría de los participantes se encuentran en la mediana, pero sólo 2 de ellos se encuentran dentro de los valores atípicos; el mayor es de 0,69 m y el menor es de 0,45 m.

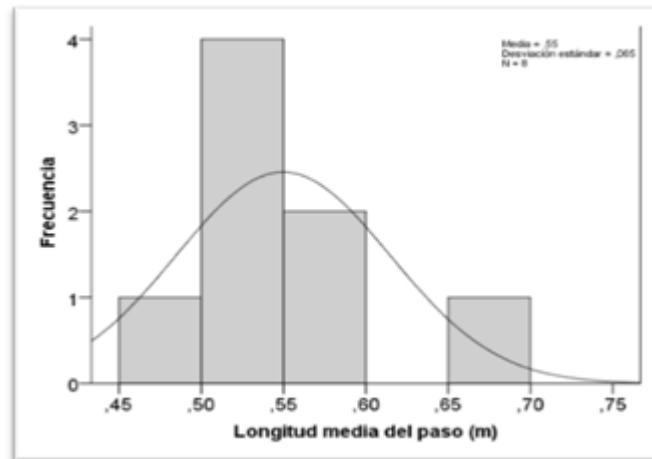


Gráfico 4. Se observa un gráfico de barras de la longitud media del paso (m). La variable independiente corresponde a la longitud media del paso, mientras que la variable dependiente corresponde a la frecuencia del mismo. El promedio es de 0,55 (0,065 DE).

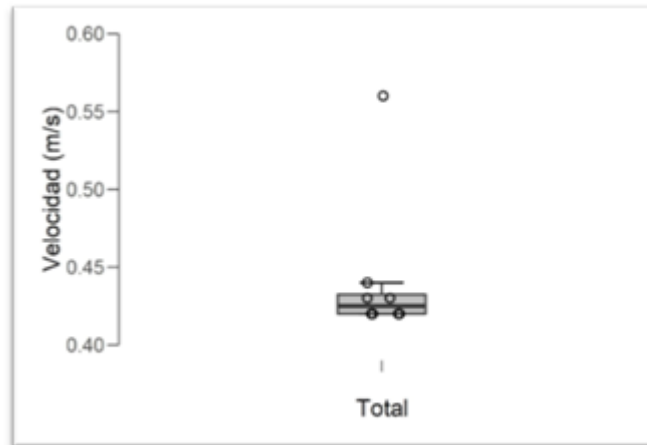


Gráfico 5. Se observa un diagrama de caja y bigotes de la velocidad de la marcha (metros por segundo). La mayoría de los participantes se encuentran en la mediana, pero sólo 1 participante se encuentra alejado de los rangos típicos.

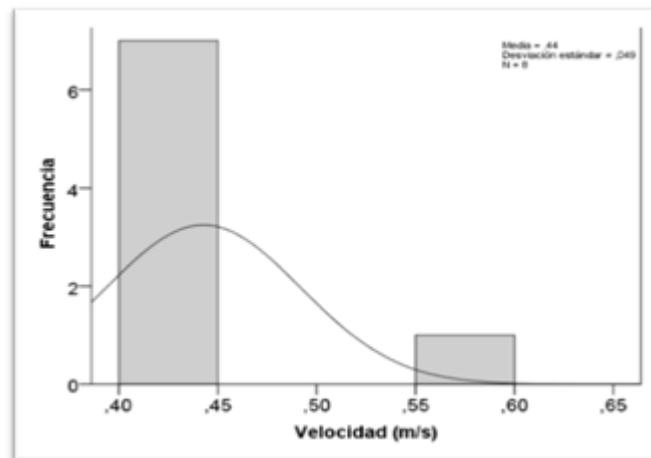


Gráfico 6. Se observa un gráfico de barras de la velocidad de la marcha (metros por segundo). La variable independiente corresponde a la velocidad, mientras que la variable dependiente corresponde a la frecuencia del mismo. El promedio es de 0,44 (0,049 DE).

Análisis de los parámetros de Root Mean Square (RMS).

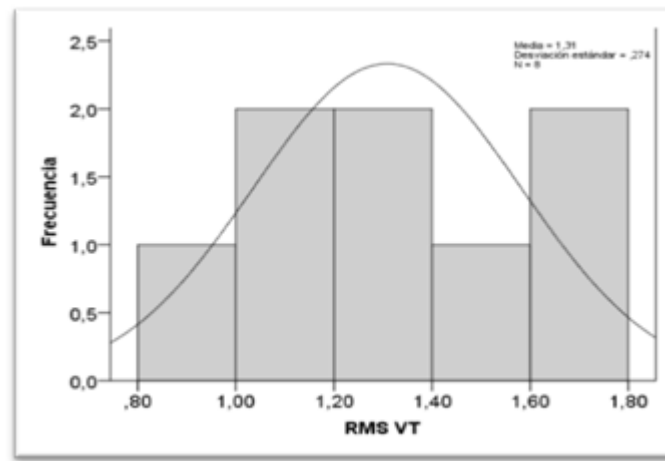


Gráfico 7. Se observa un gráfico de barras de Root Mean Square en el plano Vertical (VT). La variable independiente corresponde a la RMS, mientras que la variable dependiente corresponde a la frecuencia del mismo. El promedio es de 1,31 (0,274 DE).

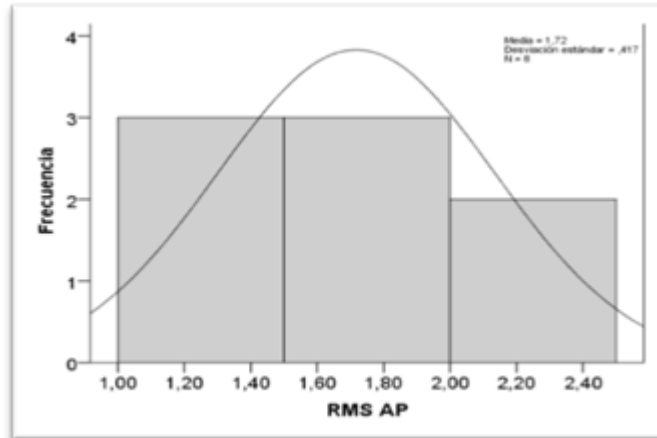


Gráfico 8. Se observa un gráfico de barras de Root Mean Square en el plano Antero-Posterior (AP). La variable independiente corresponde a la RMS, mientras que la variable dependiente corresponde a la frecuencia del mismo. El promedio es de 1,72 (0,417 DE).

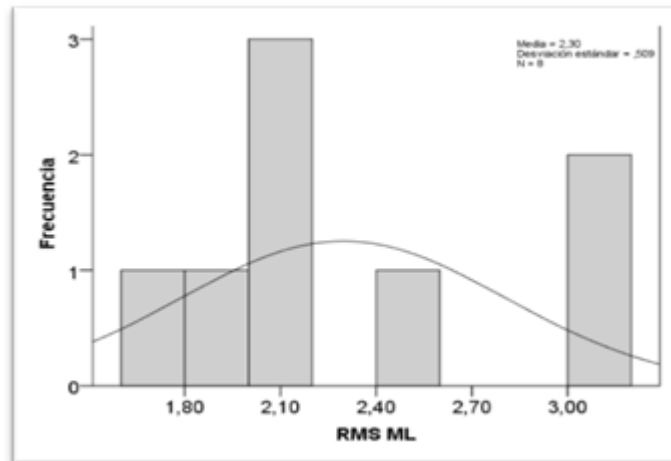


Gráfico 9. Se observa un gráfico de barras de Root Mean Square en el plano Medio-Lateral (ML). La variable independiente corresponde a la RMS, mientras que la variable dependiente corresponde a la frecuencia del mismo. El promedio es de 1,72 (0,51 DE).

Análisis de los parámetros de Entropía Aproximada (ApEn).

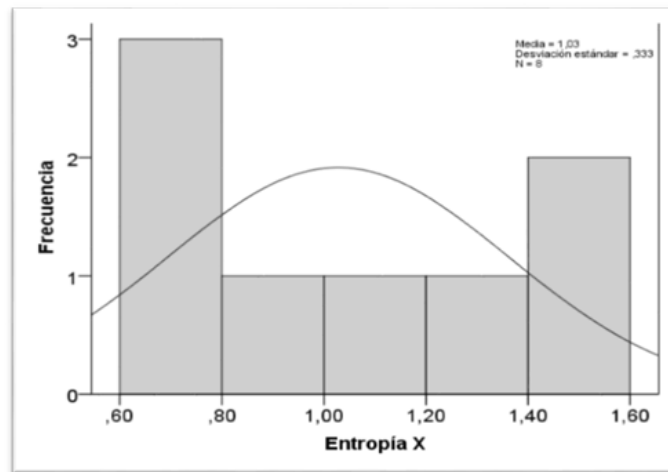


Gráfico 10. Se observa un gráfico de barras de la entropía aproximada (eje “X”). La variable independiente corresponde a la entropía, mientras que la variable dependiente corresponde a la frecuencia del mismo. El promedio es de 1,03 (0,333 DE).

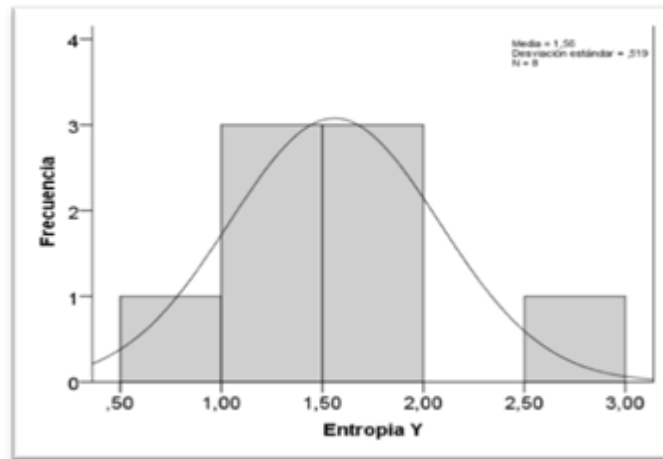


Gráfico 11. Se observa un gráfico de barras de la entropía aproximada (eje “Y”). La variable independiente corresponde a la entropía, mientras que la variable dependiente corresponde a la frecuencia del mismo. El promedio es de 1,56 (0,519 DE).

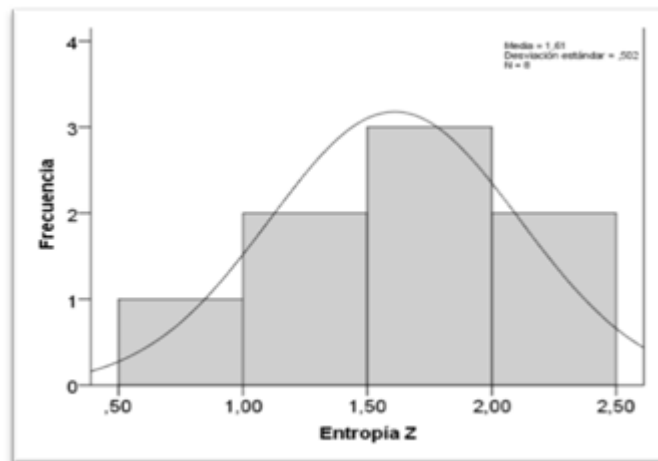


Gráfico 12. Se observa un gráfico de barras de la entropía aproximada (eje “Z”). La variable independiente corresponde a la entropía, mientras que la variable dependiente corresponde a la frecuencia del mismo. El promedio es de 1,61 (0,502 DE).



VIII. DISCUSIÓN

El presente estudio se realizó con el fin de describir los parámetros temporo-espaciales y de variabilidad motora de la marcha en personas con parálisis cerebral que practican fútbol adaptado.

Con respecto a los valores obtenidos con la prueba de marcha simple y utilización de los acelerómetros, los resultados para el análisis de los parámetros temporo-espaciales de la marcha como la cadencia (pasos/min), la longitud media del paso (m) y la velocidad (m/s) son los siguientes:

En la cadencia se registró un valor mínimo de 71,52 pasos/min y un valor máximo de 137,31 pasos/min (media de 102,73). Con estos valores 5 participantes tuvieron una cadencia dentro de los rangos de normalidad (valor de referencia entre 90 a 120 pasos/min), sin embargo, 2 de los participantes tuvieron una cadencia menor (uno con 71,52 y el otro con 76,94 pasos/min) y un participante con una cadencia mayor (137,31 pasos/min). Estos valores fuera de los rangos de normalidad se infieren que los ritmos de pasos son pocos eficientes por la estructura corporal (espasticidad y hemicuerpo afectado) y el deficiente ahorro de energía en estos participantes.

En la longitud media del paso indicó un valor mínimo de 0,45 m y un valor máximo de 0,69 m (media de 0,55) y en la velocidad de la marcha el valor mínimo fue de 0,42 m/s y un valor máximo de 0,56 m/s (media de 0,25). Los valores de referencia oscilan entre 0,65 a 0,81 m aproximadamente, que depende según sexo y talla. Según el análisis su media fue de 0,55 m, lo que no alcanza el mínimo de longitud esperada en todos los participantes.



En el caso de la velocidad los valores de referencia para un adulto es de 1,2 m/s sería óptima y bajo los 0,6 m/s podría significar una marcha cautelosa y con riesgo de caída. Según estos parámetros la muestra en su totalidad estaría bajo el rango promedio, con una media de 0,44 m/s y con un valor máximo de 0,56 m/s. Con ello, permite que la marcha sea funcional y con adaptaciones del sistema en el entorno, que en este caso las variables de longitud media del paso y de la velocidad de la marcha no necesariamente indican que exista un riesgo de caída en un sujeto, sino que existe un cambio corporal y estructural de la marcha.

En el caso de los 3 parámetros existen cambios adaptativos para una marcha funcional y segura, de la misma manera que sucede en su práctica deportiva para que está sea productiva y de buen rendimiento.

En el análisis de los parámetros de ApEn, los valores de referencia obtenidos durante la prueba de marcha simple, se analizaron los 3 ejes de movimientos: eje "X" (plano AP), eje "Y" (plano Vt) y eje "Z" (plano ML). En cuanto a los resultados en el eje "X" se registró un mínimo de 0,61 y un valor máximo de 1,44 (media de 1,03), considerándose más óptimo, debido a que los datos en este eje se encuentran más cercanos a 0 que a 2. En el eje "Y" se registró un mínimo de 0,83 y un valor máximo de 2,65 (media de 1,56), presentando una entropía más elevada, al igual que en el eje "Z" se registrando un mínimo de 0,65 y un valor máximo de 2,21 (media de 1,61). En cuanto a la interpretación general de estos datos, se infiere que los parámetros de ApEn indican que en el eje "X" no existen una variabilidad motora significativa, mientras que los ejes "Y" y "Z" existe una alta variabilidad motora en 2 participantes, mientras que los 6 participantes restantes presentan una entropía más óptima. Cabe destacar que algunos de ellos están muy cercanos al límite superior de referencia, entendiendo con esto que en su condición adquirieron nuevas estrategias de movimiento tanto para la marcha como para su práctica deportiva, existiendo cambios en la variabilidad motora.



En cuanto al RMS, los valores de referencia oscilan entre 0 y 2, que básicamente indica la normalidad de la marcha, la aceleración de esta y la variabilidad motora de los participantes. En el plano AP el valor más bajo fue de 1,06 mientras que el valor más alto fue de 2,46, por lo que podemos inferir que los movimientos dentro de este plano durante la evaluación de la marcha simple, se encuentran dentro de los rangos de normalidad, exceptuando uno de los datos recabados que se encuentra fuera de la media, infiriendo una mayor tendencia a la flexión de cadera y rodilla bilateral. En el plano ML se observó que 2 participantes se encontraban dentro de los rangos de normalidad y 6 fuera de ellos, por lo tanto, se puede inferir que los movimientos realizados durante la marcha simple hubo predominancia de abducción de cadera bilateral, lo que influye negativamente en la suavidad y en la ritmicidad de la marcha. Mientras que en el plano Vt no hubo diferencias significativas, ya que el más bajo tuvo un resultado de 0,95 y el más alto tuvo un 1,73, por lo que están dentro de los rangos de normalidad.

Los resultados obtenidos son suficientes para describir los parámetros temporo-espaciales y variabilidad motora, pero la poca cantidad de participantes y que dicho estudio no extrapola a la población general, pueden inferir que se requiere mayor investigación en el tema.

Las limitantes de esta investigación son que no existe una comparación con un grupo control y la muestra determinada es homogénea. Sin embargo, las fortalezas que posee este estudio es que puede aportar información acerca de la variabilidad motora mediante conceptos de estabilidad y el análisis no-lineal, gracias a la teoría de los sistemas dinámicos. Una mayor cantidad de variabilidad de un sujeto indica un comportamiento menos cooperativo entre los componentes del sistema, especialmente cuando existe un grado de disfunción motora que, en este caso había participantes con



estas características. No obstante, las aplicaciones en la clínica para la intervención kinésica utilizando herramientas no-lineales en la variabilidad de la marcha son ahora una posibilidad realista ²⁸, además que aporta información sobre el sistema nervioso, para posteriormente prevenir lesiones, reeducación de la marcha, entre otras estrategias de tratamiento ²⁹.

El movimiento corporal humano constituido por patrones y factores motrices, es considerado como un elemento esencial de la salud y el bienestar ³⁰. Su exploración dentro del proceso de evaluación, constituye una herramienta fundamental que revela las posibilidades motoras, la capacidad para llevar a cabo diferentes actividades cotidianas y el nivel de interacción social dentro del marco de los factores contextuales de cada individuo. En casos de patologías neurológicas, como la parálisis cerebral, la variabilidad motora es un problema mecánico aparente, perturbando las funciones motoras y que pueden ser afectados en sus actividades diarias, en este caso deportivas ³¹. Además, el análisis no-lineal ha sido importante en entender la complejidad de la marcha en todas sus dimensiones, desde una observación simple hasta conocer la variabilidad motora, los parámetros temporo-espaciales y el comportamiento de los múltiples sistemas biológicos. Estudios previos han entendido el análisis lineal y los conceptos tanto cinéticos como cinemáticos de la marcha humana, pero muy pocas investigaciones han analizado dicha marcha desde una perspectiva no-lineal como, por ejemplo, algunos investigadores expertos sobre las habilidades motoras encuentran cada vez más útiles la utilización de herramientas no-lineales para revelar información a través del análisis de series de tiempo en atletas con conmoción cerebral y en sujetos control, con el fin de conocer sólo su entropía y ver diferencias entre ambos grupos ^{32, 33}, siendo investigaciones más cercanos a este estudio, pero no se ha encontrado otros similares a nuestra investigación, especialmente al evaluar personas que tengan parálisis cerebral y que a la vez practiquen fútbol adaptado. En consecuencia, se sugiere a futuro la realización de



nuevos estudios del mismo o similar ámbito que puedan aportar resultados significativamente positivos obtenidos durante la realización de esta investigación, permitiendo así de poder entender el fenómeno de la marcha humana en su totalidad.



IX. CONCLUSIÓN

Según los resultados obtenidos en el presente estudio investigativo podemos afirmar que la descripción de los parámetros temporo-espaciales y variabilidad motora en el fútbol adaptado hay una mayor adaptación de los sistemas biológicos, generando así una marcha funcional en ellos, lo que no significa que sus sistemas sean susceptibles a riesgos de caídas o que pierdan funcionalidad, sino que les permite realizar de manera adaptativa y exitosamente su práctica deportiva.

Con este estudio se destaca que las personas que tengan deterioros motores pueden realizar deportes (según su condición) con o sin patología, existiendo diversas disciplinas paralímpicas que hacen posible las prácticas deportivas, como en el caso de los futbolistas con parálisis cerebral. Finalmente, estos resultados no son significativamente concluyentes para describir realmente los parámetros temporo-espaciales y de variabilidad motora en personas practican fútbol adaptado, pero no significativamente concluyentes, ya que se necesita un mayor muestreo, y futuros estudios con grupo control y en otro tipo de actividad.



X. BIBLIOGRAFÍA

1. Carcreff L, Fluss J, Allali G, Valenza N, Aminian K, Newman C y cols. The effects of dual tasks on gait in children with cerebral palsy. *Gait Posture*. 2019;70:148-155.
2. Whitney D, Hurvitz E, Devlin M, Caird M, Zachary P y cols. Age trajectories of musculoskeletal morbidities in adults with cerebral palsy. *Gait Posture*. 2019;70:148-155.
3. Bax M, Goldstein M, Rosenbaum P, Leviton A, Paneth N, Dan B y cols. Proposed definition and classification of cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*. 2005;47(8):571-6.
4. Burdiles-Alvarez A, Espinoza-Salinas A. Ejercicio adaptado: el ejercicio físico como herramienta terapéutica. *Rev Med Chile*. 2018;146(1):123-124.
5. Caldas R, Mundt M, Potthast W, Buarque de Lima Neto F, Markert B. A systematic review of gait analysis methods base don inertial sensors and adaptative algorithms. *Gait Posture*. 2017;57:204-210.
6. Medina GP. Linear variability of gait according to socioeconomic status in elderly. *Colomb Med (Cali)*. 2016;47(2):94-99.
7. Sanchis-Sales E, Sancho-Bru J, Roda-Sales A, Pascual-Huerta J. Análisis cinético y cinemático de las articulaciones durante la marcha en sujetos sanos: consideraciones clínicas. *Rev Esp Podol*. 2016;27(2):59-65.



8. Cámara J. Análisis de la marcha: sus fases y variables espacio-temporales. *Entramado*. 2011;7(1):160-173.
9. Villa Moreno A, Gutiérrez Gutiérrez E, Pérez Moreno JC. Consideraciones para el análisis de la marcha humana. Técnicas de videogrametría, electromiografía y dinamometría. *Rev Ing Biomed*. 2008. Vol.2, n.3, pp.16-26.
10. Enoka Roger (2008). *Neuromechanics of Human Movement, human kinetics*, 3^o edition, chapter 5,6,7.
11. Paul JP. History and fundamentals of gait analysis. *Bio-Medical Materials and Engineering* 8(1998):123-1235.
12. Agudelo A, Briñez T, Guarín V, Ruíz JP, Zapata M. Gait: description, methods, assessment tolos and normality parameters reported in the literature. *CES movimiento y Salud*. 2013;(1):29-43.
13. Buzzi UH, Stergiou N, Kurz MJ, Hageman PA, Heidel J. Nonlinear dynamics indicates aging affects variability during gait. *Clin Biomech (Bristol. Avon)*. 2003;18(5):435-43.
14. Mendoza J, Colina E, Chacón E. The approximate entropy as a new methodology for the detection of events inside a hybrid dynamic system. *Rev Cien e Ingenier*. 2011;31-42.



- 15.** Vallabhajosula S, Wei Tan CH, Mukherjee M, Davidson A, Stergiou N. Biomechanical analyses of stair-climbing while dual-tasking. *J Biomech.* 2015;48(6):921-9.
- 16.** Godinez Bravo I, Stack Sánchez PA, Dorantes Méndez G, Mejía Rodríguez AR. Evaluación del movimiento a través de acelerometría en pacientes con Enfermedad de Parkinson. *Memorias del Congreso Nacional de Ingeniería Biomédica.* 2017;4(1):138-141.
- 17.** Stergiou N (2016). *Nonlinear analysis for human movement variability.* 1st ed. London: CRC Press Taylor & Francis Group, pp: 9-11.
- 18.** Osorio JH, Valencia MH. *Bases para el entendimiento del proceso de la marcha humana.* Vol.13 n.1. 2013.
- 19.** Dankloff C, Rodríguez R, Fernández Valencia R. Estudio morfofuncional de la marcha humana. *R Biomecánica.* 1992;(1):54-58.
- 20.** Ferreira LA, Neto HP, Grecco LA, Christovao TC, Duarte NA, Lazzari RD y cols. Effect of Ankle-foot Orthosis on Gait Velocity and Cadence of Stroke Patients: A Systematic Review. *J Phys Ther Sci.* 2013;25(11):1503-8.
- 21.** Lamoreux LA. Kinematic measurements in walking. *Bull Prosthet Res.* 1971;3-84.
- 22.** Kang DW, Chol JS, Lee JW, Chung SC, Park SJ, Tack GR. Real-time elderly activity monitoring system base don a tri-axial accelerometer. *Disabil Rehabil Assist Technol.* 2010;5(4):247-53.



- 23.**Barreira P, Robinson MA, Drust B, Nedergaard N, Raja Azidin RMF, Vanrenterghem J. Mechanical Player Loadtm using trunk-mounted accelerometry in football: Is it a reliable, task-and player-specific observation? *J Sports Sci.* 2017;35(17):1674-1681.
- 24.**Gómez-Carmona C. (2017). Using accelerometry to quantify neuromuscular load in running. Reliability, convergent validity and influence of type of Surface and device location. End of Master's Degree. Murcia: University of Murcia. pp 23-24.
- 25.**Yang M, Zheng H, Wang H, McClean S, Newell D. iGAIT: An interactive accelerometer based gait analysis system. *Comput Methods Programs Biomed.* 2012;108(2):715-23.
- 26.**Beroiza T, Cartagena C, Caviedes I, Céspedes J, Gutierrez M, Oyarzún M et al. Prueba de caminata de seis minutos. *Rev Chil Enferm Respir.* 2009;25(1):15-24.
- 27.**Gochicoa L, Mora U, Guerrero S, Silva M, Cid S, Velásquez M et al. Prueba de caminata de 6 minutos: recomendaciones y procedimientos. *Neumol Cir Torax.* 2015;74(2):127-136.
- 28.**Hausdorff JM. Gait variability: methods, modeling and meaning. *J Neuroeng Rehabil.* 2005;2:1-9.
- 29.**Stergiou N, Harbourne R, Cavanaugh J. Optimal movement variability: a new perspective for neurologic physical therapy. *J Neurol Phys Ther.* 2006;30:120-129.



- 30.** Silva V, Franco J, Mina E. Professional and occupational profile of physiotherapists in Colombia. *CES Movimiento y Salud*. 2015;3(1):35-43.
- 31.** Agudelo A, Briñez T, Guarín V, Ruíz J, Zapata M. Gait: description, methods, assessment tools and normality parameters reported in the literature. (...). 2013;1:29-43.
- 32.** Cavanaugh JT, Guskiewicz KM, Giuliani C, et al. Recovery of postural control after cerebral concussion: new insights using approximate entropy. *J Athl Train*. 2006;41:305-313.
- 33.** Cavanaugh JT, Guskiewicz KM, Stergiou N. A nonlinear dynamic approach for evaluating postural control: new directions for the management of sport-related cerebral concussion. *Sport Med*. 2005;35:935-950.



XI. ANEXOS

- Informe de comité de ética.
- Consentimiento informado.