

UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Correlación de patrones de marcha en diplejía espástica con pruebas funcionales en una muestra de pacientes con Parálisis Cerebral en la ciudad de Bogotá

Nelson Fabián Orozco Higuera

Universidad Nacional de Colombia
Unidad Académica Básica Medicina Física y Rehabilitación
Bogotá, Colombia
2020

Correlación de patrones de marcha en diplejía espástica con pruebas funcionales en una muestra de pacientes con Parálisis Cerebral en la ciudad de Bogotá

Nelson Fabián Orozco Higuera

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:

Especialista en Medicina Física y Rehabilitación

Director:

Dr. Fernando Ortiz Corredor
Especialista en Medicina Física y Rehabilitación

Asesor Metodológico:

Dr. Juan Camilo Mendoza Pulido
Especialista en Medicina Física y Rehabilitación y Magister en Epidemiología

Coautores

Nathali Carolina González Alvarado
Derian David Espinosa Montes

Línea de Investigación:

Rehabilitación en Parálisis Cerebral

Grupo de Investigación

CIFEL Centro de Investigación en Fisiatría y Electrodiagnóstico

Universidad Nacional de Colombia
Unidad Académica Básica Medicina Física y Rehabilitación
Bogotá, Colombia

2020

*Agradezco a mi familia y amigos por su apoyo incondicional;
a todos mis profesores por su dedicación y entrega
y a mis compañeros por su ayuda permanente.*

Agradecimientos

Al Instituto Roosevelt de la ciudad de Bogotá, centro de referencia en enfermedades neuromusculares y particularmente a los profesionales del Laboratorio para el análisis de la marcha por su importante aporte en la realización de este trabajo de investigación.

Resumen

Correlación de patrones de marcha de marcha en diplejía espástica con pruebas funcionales en una muestra de pacientes con Parálisis Cerebral en la ciudad de Bogotá

La parálisis cerebral (PC) es la causa más común de discapacidad física que afecta a niños en países desarrollados y cursa con una prevalencia en aumento por los avances tecnológicos y cuidados médicos que permiten el manejo de comorbilidades. Las alteraciones de la marcha son un motivo de consulta frecuente e implican la toma de decisiones sobre tratamiento médico y/o quirúrgico.

Objetivo: Determinar la correlación entre los patrones de marcha en PC tipo diplejía espástica según Rodda, utilizando el índice de acoplamiento (flexión plantar- extensión de rodilla) y diferentes pruebas funcionales.

Materiales y metodología: Estudio retrospectivo, descriptivo. Se tomaron los resultados del laboratorio de marcha del Instituto Roosevelt, de niños con diagnóstico de diplejía espástica de 4 a 17 años. Se calculó el índice de acoplamiento (flexión plantar-extensión de rodilla) utilizando un algoritmo matemático para cada extremidad inferior, clasificando el patrón de marcha de acuerdo a Rodda. Se seleccionaron 173 pacientes con el mismo patrón de marcha definido en ambas extremidades. Utilizando métodos estadísticos se determinó la correlación de estos patrones con el rendimiento pruebas funcionales y el GDI.

Resultados: El patrón de marcha agazapado fue el más frecuente con el 60,7%. No se obtuvo una correlación entre el tipo de marcha y las pruebas funcionales estudiadas. Se encontró una correlación con el nivel GDI y el nivel GMFCS y pruebas funcionales analizadas. Dentro del grupo de marcha agazapada se encontró una relación inversa entre la distancia de marcha en 6 minutos y la distancia dPFKE.

Conclusiones: La clasificación de los patrones de marcha de Rodda en pacientes con PC diplejía espástica, utilizando el índice PFKE, no mostró una correlación con el resultado de las pruebas de capacidad física y desempeño evaluadas, lo que sugiere que no tienen un significado funcional.

Palabras Clave: patrones de marcha, parálisis cerebral, clasificación de Rodda, índice de acoplamiento rodilla-tobillo, índice desviación de la marcha

Abstract

Correlation of gait patterns in spastic diplegia with functional tests in a sample of patients with Cerebral Palsy in Bogotá

Cerebral palsy (CP) is the most common cause of physical disability that affects children in developed countries, and its prevalence is increasing due to technological advances and medical care that allow the management of comorbidities. Gait disturbances are a frequent reason for consultation and involve decision-making about medical and / or surgical treatment.

Objective: To determine the correlation between the gait patterns in CP type spastic diplegia according to Rodda, using the plantarflexor–knee extension couple index and different functional tests.

: Retrospective, descriptive study . The results of Roosevelt Institute gait laboratory were taken from children with a diagnosis of spastic diplegia aged 4 to 17 years. The plantarflexor–knee extension couple index was calculated using a mathematical algorithm for each lower limb, classifying the gait pattern according to Rodda. 173 patients were selected with the same defined gait pattern in both limbs. Using statistical methods, the correlation of these patterns with the performance of functional tests and the GDI was determined.

Results: The crouching gait pattern was the most frequent (60.7%). No correlation was obtained between gait pattern and the functional tests studied. A correlation was found with the GDI and the GMFCS level and functional tests analyzed. Within the crouch gait group, an inverse relationship was found between the 6-minute walking distance and the dPFKE

Conclusions: The Rodda's gait patterns classification in patients with CP spastic diplegia, using the PFKE index, did not show a correlation with the result of the physical capacity and performance tests evaluated, which suggests that they do not have a functional significance.

Key words: gait patterns, cerebral palsy, Rodda classification, knee-ankle coupl index, gait deviation index

Tabla de contenido

Resumen	IX
Lista de figuras	14
Lista de tablas.....	15
Lista de Símbolos y abreviaturas	16
1. Introducción	18
2. Justificación	20
3. Problema.....	23
4. Objetivos.....	25
4.1. General	25
4.2. Específicos.....	25
5. Marco teórico	28
5.1. Epidemiología	28
5.2. Historia Natural	28
5.3. Evolución natural de patrones de la marcha.....	29
5.4. Clasificaciones de la marcha.....	30
5.6. Pruebas funcionales.....	35
5.6.1. Gross Motor Function Classification System (GMFCS)	35
5.6.2. Test de Marcha en 6 minutos	35
5.6.3. Velocidad de la marcha.....	36
5.6.4. Índice de gasto energético o índice de costo fisiológico	37
5.6.5. Escala de Marcha del Cuestionario de Evaluación Funcional Gillette (FAQ) ..	38
5.6.6. Pediatric Outcomes Data Collection Instrument (PODCI).....	38
5.7. Índice de desviación de la marcha (GDI).....	39
6. Metodología	41
6.1. Tipo de estudio.....	41
6.2. Población y muestra.....	41
6.2.1. Población Diana	41
6.2.2. Marco Muestral (Población accesible).....	41
6.3. Criterios de Selección de la muestra	41
6.3.1. Criterios de Inclusión.....	41

6.3.2.	Criterios de exclusión	42
6.3.3.	Muestreo	42
6.4.	Instrumentos, recolección de la información.....	42
6.5.	Análisis estadístico.....	43
7.	Resultados	45
7.1.	Características Generales de los Pacientes	45
7.2.	Patrones de marcha y capacidad física	47
7.3.	PODCI y patrones de marcha	49
7.4.	GDI y nivel funcional GMFCS.....	49
7.5.	Distancia d_{PFKE} y marcha agazapada.....	52
8.	Discusión	54
8.1.	Evolución del patrón de marcha.....	56
8.2.	Complicaciones de la marcha agazapada.....	57
9.	Conclusiones	60
	Bibliografía	62

Lista de figuras

	Pag
Figura 1. Agrupamiento de datos PFKE según patrones de marcha (Ejemplo para patrón agazapado bilateral, laboratorio marcha. Instituto Roosevelt).....	34
Figura 2. Distribución de los niveles GMFCS en cada uno de los patrones de marcha.	46
Figura 3. Gráficas de cajas y bigotes con mediana. mínimo y máximo de edad en cada uno de los patrones de marcha..	46
Figura 4. Comparación de las medidas de capacidad física entre cada uno de los patrones de marcha.	47
Figura 5. Comparación de las medidas de la capacidad física entre cada uno de los patrones de marcha en pacientes sin intervenciones quirúrgicas.....	48
Figura 6. Comparación entre el puntaje del PODCI entre cada uno de los patrones de marcha en todos los pacientes (A) y en pacientes sin intervenciones quirúrgicas (B).	49
Figura 7. Comparación del GDI entre cada uno de los niveles del GMFCS.....	49
Figura 8. Correlaciones del GDI con las medidas de capacidad: A: Velocidad de marcha; B: Costo fisiológico	50
Figura 9. Comparación del GDI con niveles del cuestionario FAQ para el análisis estadístico se colapsaron en un solo grupo los niveles 10 y 9, 8 y 7, 6 y 5.	51
Figura 10. Comparación del GDI entre los patrones de marcha	51
Figura 11. Correlación de d_{PFKE} con porcentaje alcanzado de distancia en 6 minutos en grupo de marcha agazapada.....	52
Figura 12. Correlación de d_{PFKE} con el GDI en grupo de marcha agazapada.	52

Lista de tablas

	Pag
Tabla 1. Características generales de la población y resultados de pruebas funcionales. .	45
Tabla 2. Resultados de pruebas funcionales por patrón de marcha.....	46

Lista de Símbolos y abreviaturas

PC: Parálisis cerebral

GDI: Gait deviation index

GDS: Gait profile score

PFKE: Plantar flexion- Knee Extension couple Index

D_{PFKE}: Plantar flexion- Knee Extension distance

6MWT: 6 minutes walking test

GMFCS: Gross Motor Function Classification System

IGE: Índice de gasto energético

FAQ: Functional Assessment Questionnaire FAQ

PODCI: Pediatric Outcomes Data Collection Instrument

1.Introducción

La parálisis cerebral (PC) es la causa más común de discapacidad física que afecta a niños en países desarrollados (H. Kerr Graham et al., 2008) con estudios poblacionales de todo el mundo que estiman incidencias entre 1.5 a más de 4 casos por 1,000 nacidos vivos o en niños de un rango de edad definido (Stavsky et al., 2017), con una tendencia a aumentar en relación con los avances tecnológicos y cuidados médicos, que permiten el manejo de comorbilidades.

Por esta razón las alteraciones en el control motor y particularmente en el balance estático y dinámico son uno de los motivos de consulta más frecuentes y que requieren un manejo e intervención prioritaria por los equipos de rehabilitación, que incluyen la toma de decisiones sobre tratamientos que van desde el uso de dispositivos ortésicos, hasta intervenciones quirúrgicas multinivel.

La investigación de la marcha en los pacientes con PC es facilitada por la cuantificación y los diferentes patrones de marcha de clasificación de los patrones de cinemática y cinética articular. La cuantificación de las anomalías cinemáticas en un solo número resume las diversas alteraciones de dicho patrón de marcha y se ha convertido en una herramienta que facilita el seguimiento y la evaluación de los resultados terapéuticos.

Se han implementado varios métodos de clasificación y cuantificación, índice de normalidad, índice de desviación de la marcha (GDI por sus siglas en inglés), Puntaje del perfil de la marcha (GPS por sus siglas en inglés), clasificación de Rodda, clasificación de Becher (Ámsterdam) y clasificación de Rozumalski.

Por otro lado, las clasificaciones del patrón de marcha de los pacientes con PC permiten una comunicación más clara y ayudan a entender la historia natural, así mismo como organizar las diferentes aproximaciones terapéuticas, aunque su significado funcional no ha sido estudiado en detalle.

2. Justificación

Desde el siglo pasado, numerosos grupos de investigación han realizado estudios para clasificar los patrones de marcha en pacientes con PC y establecer objetivamente las alteraciones predominantes. Con el fin de orientar el tipo de intervención más conveniente, se han utilizado observaciones clínicas, así como parámetros cinemáticos y cinéticos obtenidos mediante el análisis computarizado de la marcha.

Se destacan los trabajos realizados en 1987 por Winters *et al.* (Winters *et al.*, 1987), quienes clasifican la marcha en cinco grupos teniendo en cuenta los cambios en el plano sagital. Más adelante, en 1993, Sutherland y David proponen una clasificación de cuatro grupos dependiendo de las anomalías de la rodilla, para lo cual incluyen datos obtenidos del examen físico, parámetros de movimiento y datos electromiográficos (Sutherland & Davids, 1993).

Posteriormente, Rodda y Graham (J. Rodda & Graham, 2001), brindan una clasificación para PC hemipléjica y dipléjica considerando los movimientos de la pelvis, cadera, rodilla y tobillo en el plano sagital durante el ciclo de la marcha, además de asociar un algoritmo de manejo para cada grupo.

En el 2003 Becher *et al.*, (Becher, 2002) plantearon la clasificación de Amsterdam con cinco patrones de marcha en pacientes con diplejía espástica, en relación con el comportamiento del tobillo y de la rodilla durante la marcha.

Rozumalski mediante métodos estadístico obtuvo 5 tipos de marcha: agazapada leve, agazapada moderada, agazapada moderada con inclinación pélvica anterior, agazapada con equino y agazapada severa (Rozumalski & Schwartz, 2009)

Recientemente se desarrolló un algoritmo de clasificación, que tiene en cuenta la cinemática de la rodilla y el tobillo en el apoyo medio (Sangeux *et al.*, 2015), mediante el índice de acoplamiento flexión plantar y extensión rodilla (PFKE). Se comparó este algoritmo con el método de clúster de Rozumalski y los hallazgos del examen físico. Sin embargo, el significado funcional de cada uno de los grupos obtenidos por Rodda es desconocido.

Por su parte, la cuantificación de las anomalías de la marcha presentada como un índice GDI o GPS no lleva implícito un patrón de marcha específico y su aplicación en términos de recomendaciones terapéuticas es incierto.

Si bien estas clasificaciones tienen impacto en los métodos terapéuticos, su significado funcional no ha sido estudiado en detalle. En la clasificación de Rozumalski, las contracturas, la fuerza, el control muscular selectivo y la espasticidad, son distintos en cada grupo. (Rozumalski & Schwartz, 2009)

La mayoría de las clasificaciones propuestas son descripciones basadas en la cinemática articular. El significado funcional de estas clasificaciones es limitado (Yokochi, 2001). El GDI ha mostrado que tiene diferencias estadísticas entre los tipos topográficos y entre los niveles del cuestionario FAQ (Rozumalski & Schwartz, 2011) clasificaciones más recientes incluyen variables cinemáticas y no establecen correlaciones funcionales (Domagalska et al., 2013)

La presente investigación busca identificar si existe una correlación entre el índice de acoplamiento (plantiflexión y extensión rodilla) asociado a un patrón de marcha específico, con el desempeño funcional establecido por diferentes pruebas clínicas en niños con PC tipo diplejía espástica.

3. Problema

La mayoría de las clasificaciones de los patrones de marcha en PC propuestas son descripciones basadas en la cinemática articular y su significado funcional es limitado.

El índice PFKE permite la clasificación de los patrones de marcha en pacientes con PC tipo diplegía espástica basado en datos cinemáticos de la rodilla y el tobillo, sin embargo, no es clara la relación de esta clasificación con los resultados de las pruebas funcionales.

Pregunta de investigación

¿Existe una relación entre los patrones de marcha identificados por medio del índice PFKE y el desempeño funcional en las medidas de capacidad física evaluadas en niños con PC tipo diplegía espástica?

4. Objetivos

4.1. General

Determinar la correlación entre la clasificación de los patrones de marcha de Rodda utilizando el índice PFKE con el desempeño funcional en niños con PC tipo diplejía espástica

4.2. Específicos

- Establecer la correlación entre el patrón de marcha de Rodda (equino verdadero, rodilla en saltos, equino aparente y marcha agazapada) con nivel funcional GMFCS.
- Establecer la correlación entre el patrón de marcha de Rodda (equino verdadero, rodilla en saltos, equino aparente y marcha agazapada) con escala PODCI.
- Establecer la correlación entre el patrón de marcha de Rodda (equino verdadero, rodilla en saltos, equino aparente y marcha agazapada) con el resultado del test de marcha en 6 minutos (6MWT).
- Establecer la correlación entre el patrón de marcha de Rodda (equino verdadero, rodilla en saltos, equino aparente y marcha agazapada) con la velocidad de marcha.
- Establecer la correlación entre el patrón de marcha de Rodda (equino verdadero, rodilla en saltos, equino aparente y marcha agazapada) con índice de costo fisiológico.
- Establecer la correlación entre el patrón de marcha de Rodda (equino verdadero, rodilla en saltos, equino aparente y marcha agazapada) con la puntuación en la escala Gillette Functional Assessment Questionnaire (FAQ).

- Establecer la correlación entre el patrón de marcha de Rodda (equino verdadero, rodilla en saltos, equino aparente y marcha agazapada) con el índice de desviación de la marcha GDI.

- Establecer la correlación entre el d_{PFKE} con las variables clínicas y funcionales para cada patrón analizado de manera independiente.

- Establecer la correlación entre el patrón de marcha de Rodda (equino verdadero, rodilla en saltos, equino aparente y marcha agazapada) con las variables clínicas y funcionales para cada patrón analizado de manera independiente.

- Establecer la correlación entre el d_{PFKE} y el índice de desviación de la marcha (GDI).

5. Marco teórico

5.1. Epidemiología

La PC es la causa más común de discapacidad física que afecta a niños en países desarrollados. Existen estudios poblacionales de todo el mundo que estiman incidencias entre 1.5 a más de 4 casos por 1,000 nacidos vivos (Stavsky et al., 2017). La prevalencia general de nacimientos de PC es de aproximadamente 2 por 1,000 nacidos vivos, con una tendencia al aumento en relación con los avances tecnológicos y cuidados médicos, que permiten el manejo de comorbilidades y con ello el incremento de la sobrevivencia (Odding et al., 2006).

5.2. Historia Natural

La PC se considera como una colección heterogénea de síndromes clínicos que se caracteriza por posturas y patrones motores anormales permanentes no estáticos, debido a una lesión cerebral en estadios inmaduros de carácter no progresivo.

Es la causa más común de síndrome de motoneurona superior en niños. Se define por características positivas como la espasticidad, la hiperreflexia y la co-contracción, así como por características negativas, que incluyen la debilidad, pérdida del control motor selectivo, los déficits sensoriales y el pobre balance, siendo estas últimas los determinantes del pronóstico locomotor. (Johnson et al., 1997)

Se subdivide de acuerdo a los desórdenes del movimiento, así como por la distribución topográfica de los mismos, siendo los síndromes más comunes la hemiplejía espástica caracterizada por el logro de la deambulacion independiente en la mayoría de los casos; la diplejía espástica, en la cual los niños pueden caminar, con gran probabilidad de requerir ayudas para la marcha y la cuadriplejía espástica en donde raramente se alcanza una marcha funcional.

A pesar de los avances en el tratamiento de la espasticidad, los niños con PC tipo diplejía espástica, presentan deformidades osteomusculares progresivas a medida que crecen, con la consiguiente pérdida de la funcionalidad (H. K. Graham & Selber, 2003). Estos cambios inherentes a la evolución de la patología generan dificultades para escoger un tratamiento

definitivo por parte del equipo tratante que mejore la calidad del patrón de marcha de los pacientes.

5.3. Evolución natural de patrones de la marcha

Las deficiencias motoras asociadas a la PC (espasticidad, debilidad y contracturas articulares) tienen un efecto significativo sobre la marcha y generalmente se acepta que algunos de estos pacientes pierden su capacidad para caminar a medida que crecen. Numerosos patrones se han definido para describir los cambios en la marcha de esta población, dentro de las cuales la agazapada, caracterizada por la flexión excesiva de la rodilla durante la fase de apoyo, es la más común con una prevalencia del 72 al 76%, generando aumento de demandas a nivel de la rodilla y aumento del costo fisiológico. (O'Sullivan et al., 2018). Según se reporta en estudios, la evolución natural de la marcha agazapada en la PC bilateral parece ser hacia un aumento en la flexión de la rodilla que puede darse de manera gradual sin requerir manejo quirúrgico, o un incremento rápido y con deterioro significativo que puede prevenirse con tratamiento quirúrgico. La progresión parece aumentar en las personas con flexión superior a 20 ° y podría ser un indicador de una intervención más urgente.

Aunque los estudios sobre la historia natural de la marcha sin intervenciones en estos pacientes son limitados, se ha propuesto que se puede consecuencia del desbalance entre los cambios de la longitud del músculo espástico respecto al crecimiento óseo lo que conducirá a una tensión muscular aumentada, contracturas y torsiones óseas anormales. Bell et al evaluaron los patrones de marcha de una serie de pacientes con PC en dos análisis computarizados de la marcha sin intervención quirúrgica, en un periodo de 4 años, para comprender mejor los efectos en el tiempo. Se encontró que los menos funcionales mostraron una disminución de los rangos de movilidad en abducción de cadera y el ángulo poplíteo, mientras que los más funcionales, presentaron disminución en el ángulo poplíteo y alteración en los rangos de movilidad pasivos en el tobillo. Para los patrones de rodilla se vio el agazapado en los menos funcionales y un patrón extensor en los más funcionales, asociado a un aumento del peso, que produce un impacto negativo sobre las fuerzas relativas generadas por los músculos, que suelen ser más débiles de lo normal en esta población. Para la articulación del tobillo se presenta debilidad de los plantiflexores y del pico plantiflexor en el despegue como principales hallazgos. En este estudio claramente se muestra un deterioro

de los parámetros espacio temporales y cinemáticos en el tiempo cuando no hay intervención quirúrgica (Bell et al., 2002).

5.4. Clasificaciones de la marcha

- Clasificación de Winters

En 1987 Winters *et al.* (Winters et al., 1987) clasificaron la marcha de una muestra de pacientes con hemiplejía espástica de diferentes etiologías, basándose en el análisis de la marcha en el plano sagital definiendo 4 grupos según datos electromiográficos:

Grupo I: Marcha caracterizada por la flexión plantar del tobillo en la fase de balanceo, lo que conlleva a una deformidad en equino durante contacto inicial. Para compensar la caída del pie, la rodilla se hiperflexiona en la respuesta a la carga, forzando un aumento de la flexión de la cadera para mantener la posición del cuerpo centrado sobre el pie y aumentar el clearance de la extremidad en la fase de balanceo.

Grupo II: Se presenta una contractura estática o dinámica de los músculos gastrocnemios y sóleo, que resulta en una flexión plantar persistente del tobillo durante las fases de apoyo y balanceo.

Grupo III: Caracterizado por un mayor compromiso de la musculatura proximal de la extremidad inferior que los grupos I y II. Las lesiones en este grupo liberan el reflejo plantar del bloqueo inhibitorio, resultando en marcha rígida con pasos cortos.

Grupo IV: Al igual que en el grupo III, se cree que el reflejo extensor está implicado, dada la disminución del movimiento de la cadera, de la rodilla y la flexión plantar del tobillo. La diferencia crucial está en la reducción del movimiento de la cadera en el plano sagital.

- Clasificación de Sutherland y David

En 1993 Sutherland y Davids (Sutherland & Davids, 1993) describieron las anormalidades del movimiento de la rodilla en pacientes con diplegia espástica. Cada desorden fue descrito en cada fase según los hallazgos obtenidos en el análisis computarizado de la marcha. Se incluyeron datos obtenidos del examen físico, parámetros de movimiento y datos electromiográficos. Se describieron cuatro anormalidades:

Rodilla en saltos: Se presenta por contracturas leves a nivel de los aductores y flexores de la cadera. Hay aumento del tono sin contractura de los isquiotibiales con presencia del aumento del tono con o sin contracturas en el tríceps sural.

Rodilla Agazapada: Producida por la contractura primaria de los isquiotibiales con o sin contractura de los flexores de la cadera.

Rodilla rígida: Hay extensión excesiva de la rodilla durante la fase de balanceo con un alineamiento variable en la fase de apoyo, producido por una actividad inapropiada del recto femoral durante el apoyo tardío y el balanceo.

Recurvatum de rodilla: Describe un incremento en la extensión de la rodilla en la fase de apoyo medio y tardío, con la flexión variable de la misma durante el balanceo.

- **Clasificación de Rodda y Graham**

En el 2001 Rodda y Graham (J. Rodda & Graham, 2001) realizaron la clasificación para niños con diplejía espástica que sigue los cambios observados según la edad del paciente, creando un algoritmo que permite establecer los tratamientos dependiendo de los patrones analizados. Se rige bajo los siguientes principios: el plano sagital como un todo, valorando los movimientos de la pelvis, cadera, rodilla y tobillo. La clasificación inicia con una dominancia del patrón plantiflexor reflejado en un equino y en la medida que progresa, el patrón dominante se vuelve flexor con el estadio final de la marcha agazapada, en donde prima la actividad flexora de cadera, rodilla y dorsiflexora.

Equino verdadero: Este patrón se presenta en niños que inician marcha con o sin asistencia. Se caracteriza por la espasticidad del complejo gastrosóleo, que condiciona un equino verdadero, manifestado en una marcha con plantiflexión persistente durante la fase de apoyo, asociado a la extensión de rodillas y caderas.

Rodilla en Saltos (Con o sin rigidez de la rodilla): Se caracteriza por mayor compromiso proximal. Se presenta espasticidad de los isquiotibiales y los flexores de cadera en adición a la espasticidad de los gastrocnemios. El pie está en equino, la rodilla y la cadera en flexión y existe una inclinación anterior de la pelvis con incremento de la lordosis lumbar compensatoria.

Equino aparente (Con o sin rigidez de la rodilla): A medida que el niño aumenta de edad y presenta ganancia de peso, se presentan cambios en el complejo de plantiflexión y extensión de rodilla haciéndolo menos competente. Al realizar una adecuada evaluación de la marcha se evidencia el pie en neutro, por lo cual se considera que el paciente está en un equino aparente.

Marcha Agazapada: Definida como una excesiva flexión de tobillo, rodilla y cadera. Se presenta en estadios severos.

- **Clasificación de Becher**

Propuesta por Becher en el año 2002(Becher, 2002), también conocida como la clasificación de Ámsterdam, se apoya en métodos observacionales y tienen la movilidad del tobillo y la rodilla en el plano sagital. Los patrones descritos en esta clasificación son:

Tipo 1 Pie caído en el balanceo: Principal alteración en niños con compromiso leve. Producido por la debilidad del músculo tibial anterior o acortamiento de los músculos gastrocnemios.

Tipo 2 Hiperextensión de la rodilla en el apoyo sin levantamiento del talón: Sumado a la alteración del pie se presenta la hiperextensión de la rodilla después del contacto. No hay elevación del talón debido a la activación prematura del tríceps sural.

Tipo 3: Hiperextensión de la rodilla en apoyo medio con levantamiento prematuro del talón: Similar al patrón tipo 2, pero hay elevación del talón por mayor activación del tríceps sural. Estos pacientes tienen alto riesgo de desarrollar o progresar a patrón de marcha tipo 4.

Tipo 4: Flexión de la rodilla en el apoyo medio con levantamiento del talón: Se presenta en pacientes más afectados y se caracteriza por la presencia de flexión de cadera y rodilla en el apoyo medio, asociado a plantiflexión por activación anormal de los gastrocnemios. Existe mayor consumo de energía y deterioro en la pubertad por ganancia de peso.

Tipo 5: Marcha agazapada: Es el peor patrón de marcha, presenta flexión de la cadera y de la rodilla sin elevación del talón, con insuficiencia de gastrocnemios.

- **Clasificación de la marcha agazapada por Rozumalski**

Mediante métodos estadísticos, Rozumalski obtuvo cinco tipos de marcha organizados de manera jerárquica con relación a la marcha patológica: Agazapada Leve, agazapada moderada, agazapada moderada con inclinación pélvica anterior, agazapada con equino y agazapada severa. Los individuos fueron agrupados teniendo cuenta datos de la marcha puramente objetivos que los diferencian entre ellos, no solo por la cinemática en los cuales están basados

5.5. Índice de acoplamiento Plantiflexión-Extensión de rodilla (PFKE).

Una de las clasificaciones del patrón de marcha más utilizadas en la práctica clínica y de investigación es la clasificación de Rodda, descrita previamente, la cual se basa en la observación. Sin embargo, recientemente se desarrolló un algoritmo de clasificación que tiene en cuenta la cinemática de rodilla y el tobillo en el apoyo medio (Sangeux et al., 2015). Este algoritmo de clasificación fue comparado con el método de clusters de Rozumanski y los hallazgos en el examen físico. Sin embargo, el significado funcional de cada uno de los grupos obtenidos por Rodda es desconocido.

El acoplamiento se refiere a la acción de los plantiflexores para controlar el avance tibial sobre el pie y a la cinética de la rodilla en el apoyo medio. Este índice calcula la distancia de la cinemática del tobillo y la rodilla en comparación con datos normalizados.

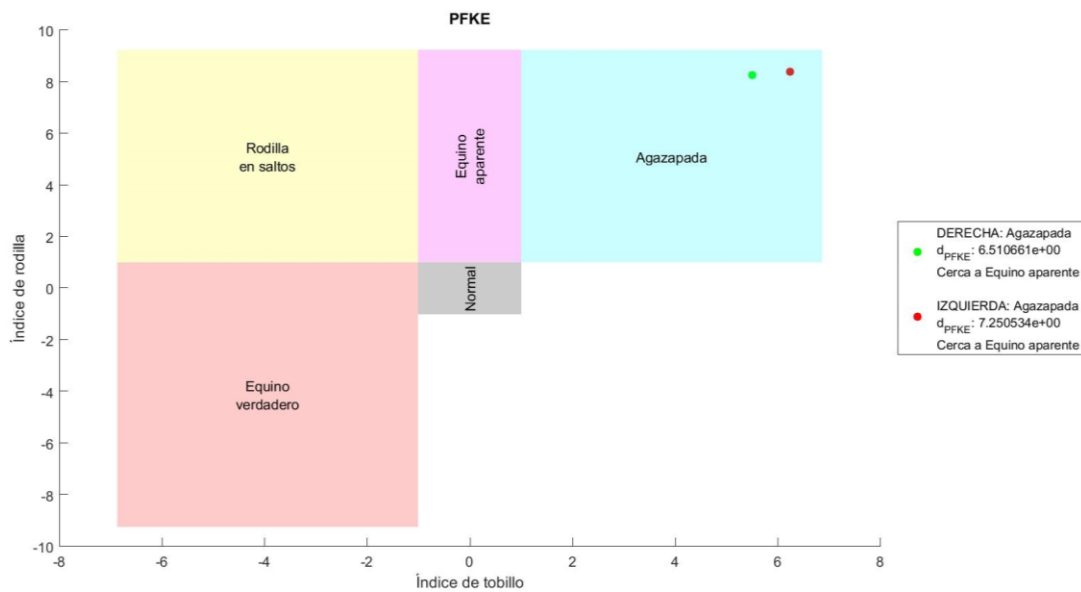
El análisis se realiza entre el 20% y el 45% del ciclo de la marcha, ya que es en este periodo donde la rodilla se extiende mientras el tobillo hace dorsiflexión. El momento de la rodilla cambia de extensor a flexor, permitiendo al cuádriceps cesar la contracción y al tobillo absorber la energía con la contracción excéntrica del complejo gastrosóleo.

El cálculo del índice PFKE consta de dos puntajes, correspondientes al tobillo y a la rodilla utilizando los parámetros cinemáticos. (Ver Ecuación 1):

$$PFKE^c = \frac{1}{45-20+1} \sum_{i=20}^{45} \frac{k_i^c - \mu_i^c}{\sigma_i^c} \quad (1)$$

Donde C: curva tobillo o rodilla, i: tiempo instantáneo en el % de ciclo de marcha, κ_i valor de la curva cinemática al i%, μ_i Valor de la curva cinemática normal al instante i% y σ_i la desviación estándar de la curva cinemática normal al i%. Se grafican de la siguiente manera

Figura 1: Agrupamiento de datos PFKE según patrones de marcha (Ejemplo para patrón agazapado bilateral, laboratorio marcha. Instituto Roosevelt)



Además se definió d_{PFKE} como la distancia mínima de 1- D de un punto dado a los otros patrones de marcha. Un gran valor para d_{PFKE} significa que el punto está ubicado lejos de todas las demás clasificaciones de la marcha y por lo tanto, es específico del patrón de marcha al que pertenece.

Dentro de la gráfica de dispersión, existen dos áreas no rotuladas en donde se incluyen las extremidades cuyo resultado no se enmarcan dentro de las áreas definidas para los patrones de marcha establecidos, los cuales no se incluyeron.

5.6. Pruebas funcionales

5.6.1. Gross Motor Function Classification System (GMFCS)

Es una clasificación de la función motriz gruesa que se usa para describir el dominio motor grueso de manera sencilla y resumida. Permite la clasificación en 5 grupos dependiendo del logro de actividades motoras según lo esperado para la edad (Rosenbaum et al., 2008).

NIVEL I - Camina sin restricciones

NIVEL II - Camina con limitaciones

NIVEL III - Camina utilizando un dispositivo manual auxiliar de la marcha

NIVEL IV - Auto-movilidad limitada, es posible que utilice movilidad motorizada

NIVEL V - Transportado en silla de ruedas

Por lo tanto, cuanto mayor es el nivel en la clasificación, peor es la funcionalidad del dominio motor.

5.6.2. Test de Marcha en 6 minutos

Es una prueba de esfuerzo usada para cuantificar la capacidad de ejercicio funcional en poblaciones clínicas, debido a su naturaleza submáxima, refleja de cerca las actividades de la vida diaria. Se usa con frecuencia en adultos y cada vez es más usada en niños y adolescentes.

Esta prueba mide la distancia que recorre una persona en 6 minutos pidiéndole al paciente que camine a la mayor velocidad posible sin correr (Butland et al., 1982)(ATS Committee on Proficiency Standards for Clinical Pulmonary Function Laboratories, 2002). Aunque su uso más común es el seguimiento de intervenciones médicas en pacientes con enfermedad cardíaca y respiratoria, esta prueba se aplica a pacientes con patologías neuromusculares como la PC(Maher et al., 2008)

Las tablas de valores de referencia han sido establecidas en varios grupos etarios (Álvarez et al., 2016). (Fitzgerald et al., 2016) *et al.* Sin embargo se han establecido ecuaciones para predecir la distancia media recorrida que pueda funcionar como un valor de referencia. En población infantil y adolescente es exigente ya que influyen paramétricos antropométricos, étnicos, etapas de desarrollo y la edad. (Mylius et al., 2016)

En una revisión sistemática compararon diferentes ecuaciones para establecer valores de referencia en niños y adolescentes (Mylius et al., 2016), encontrando que el R^2 más alto lo obtuvo la ecuación de Saad et al., (Ver Ecuación (2)) que tiene en cuenta talla, peso, edad independientemente del género (Saad et al., 2009).

$$6MWD = (4.63 \times \text{talla}(cm)) - (3.53 \times \text{peso}(Kg)) + (10.42 \times \text{edad}(años)) + 56.32 \quad (2)$$

Con la realización de esta prueba se pueden obtener otras variables como el consumo energético, la velocidad de marcha, la respuesta cronotrópica al ejercicio y la tolerancia al mismo con la escala de Borg.

La prueba de 6 minutos es útil para predecir el desempeño del niño en ambientes comunitarios y refleja, además, la tolerancia al ejercicio por lo que puede ser más sensible al cambio que las pruebas de evaluación de función motora. Es el instrumento ideal para la evaluación y seguimiento de intervenciones en los pacientes con PC en estadios funcionales II y III (Ortiz, 2017). Esta prueba se correlaciona de manera adecuada con el consumo de oxígeno. Se ha demostrado que los niños con PC que utilizan ayudas externas para la marcha muestran un elevado gasto energético.

El desempeño en prueba funcionales como el test de 6 minutos refleja el compromiso de múltiples sistemas y puede ser debido a la ineficiencia patológica del sistema músculo esquelético durante la marcha. Además las lesiones cerebrales producen alteraciones en el control motor selectivo, el tono y la debilidad y en los niños en crecimiento estos factores pueden generar alteraciones en las fuerzas sobre las articulaciones, resultando en anomalías esqueléticas, que causan disfunción de los brazos de palanca de las articulaciones, aumentando el gasto energético durante la realización de movimientos como la marcha (Fitzgerald et al., 2016).

5.6.3. Velocidad de la marcha

La velocidad de marcha y la capacidad para contrarla en los niños es importante para realizar una amplia gama de actividades funcionales de su vida diaria. En niños con desarrollo normal existe una relación lineal entre la velocidad de la marcha, la zancada y la cadencia, así que para aumentar la velocidad de marcha se deben aumentar estos parámetros. Se ha

sugerido que los niños con PC tienen mecanismos diferentes para controlar la velocidad de la marcha, y su capacidad de controlarla se relaciona con la magnitud de la discapacidad. Existe una premisa de que los niños con la capacidad de controlar la velocidad de su marcha tienen menor deterioro motor que aquellos que no pueden hacerlo. De esta manera los niños con mayor control son candidatos para la cirugía multinivel con el fin de mejorar la marcha.

El control de la velocidad de la marcha ha sido útil particularmente en la toma de decisiones clínicas en niños con GMFCS nivel III en las que los resultados de las cirugías son menos predecibles. En este estudio (Davids et al., 2019) se determinaron valores de velocidad de marcha libre de 1.03m/s (DE = 0.17) para GMFCS I, 0.95 (DE = 0.17) para GMFCS II y 0.72 m/s (DE = 0.23) para GMFCS III respectivamente. En el estudio de Fitzgerald (Fitzgerald et al., 2016), basados en los resultados de distancia recorrida de 6MWT, se pueden extrapolar valores de velocidades de 1.22, 1,07 y 0.84 m/s para GMFCS I, II y III respectivamente.

5.6.4. Índice de gasto energético o índice de costo fisiológico

El índice de costo fisiológico usa la frecuencia cardiaca para indicar el costo de energía de la marcha. La medida se basa en la premisa de que la frecuencia cardiaca se relaciona directamente con el gasto de oxígeno VO₂ (Rose et al., 2010)(Butler et al., 1984).

El índice de costo fisiológico se calcula de la siguiente forma: primero se determina la frecuencia cardiaca en reposo que es el promedio de dos lecturas dos minutos después de un periodo de cinco minutos en reposo. Para obtener el dato de la frecuencia cardiaca final se promedia la frecuencia cardiaca entre los minutos cuarto y quinto de la prueba. Se ha encontrado que un paciente debe caminar cuatro minutos antes de llegar a un estado estable de consumo de oxígeno. Finalmente, este promedio se resta de la frecuencia cardiaca inicial y se divide por la velocidad de la marcha; el resultado se presenta en latidos por metro (Ver Ecuación (3)). El promedio del índice de gasto energético para niños sanos de 3 a 12 años caminando descalzos es de 0,4 latidos/metros (Ortiz, 2017). Un índice de costo fisiológico bajo indica una mayor eficiencia en el consumo de energía durante la marcha mientras que un valor alto se relaciona con una baja eficiencia energética.

. Cálculo del Índice de gasto energético

$$\text{IGE}(\text{lat}/\text{m}) = \frac{\text{FCf}-\text{FCr}}{v} \quad (3)$$

5.6.5. Escala de Marcha del Cuestionario de Evaluación Funcional Gillette (FAQ)

La escala FAQ es una herramienta que permite establecer el desempeño para caminar. Evalúa la funcionalidad de la marcha de los pacientes determinando el nivel mediante una escala ordinal. Se describen varios grados de movilidad, diferenciados en ambientes, terrenos u obstáculos. La escala va desde el valor 1 que significa que el niño no puede dar ningún paso, hasta 10 donde el niño camina, corre y escala pendientes y terrenos irregulares sin dificultades (Novacheck et al., 2000). Este reporte lo puede hacer el familiar o el paciente. Es fácil de usar y no se requiere entrenamiento. Esta escala puede detectar el cambio de la marcha en niños hospitalizados y se considera que una mejoría de 2 niveles es clínicamente relevante. Tiene una confiabilidad intra e interobservador casi perfecta y su aplicación ha sido validada en población de niños con varios tipos de desórdenes motores. Puede usarse para medir también cambios posteriores a intervenciones en pacientes no hospitalizados. En un estudio previo se consideró que con niveles de 1 a 5 se tenía una movilidad funcional dentro de un centro de rehabilitación y de 6 a 10 fuera del mismo, es decir una marcha en comunidad. (Ammann-Reiffer et al., 2019)

5.6.6. Pediatric Outcomes Data Collection Instrument (PODCI)

Para la evaluación del desempeño del niño con parálisis cerebral se han usado diferentes escalas, que al ser aplicadas al cuidador o al paciente brindan información complementaria sobre las actividades y la movilidad del paciente en su comunidad. Originalmente publicado en 1994 y actualizado en 2005, validada al español (Wren et al., 2008), es una escala aplicable para pacientes menores de 19 años para evaluar salud en general (específicamente condiciones osteomusculares, dolor y capacidad de participar en actividades de la vida diaria, así como actividades vigorosas asociadas con la edad). Comprende 5 escalas que dan una visión del estado físico, mental y psicosocial. Las escalas son: Extremidad superior y función física, transferencias y movilidad, funcionamiento físico/deportes, dolor/confort, expectativas de tratamiento, felicidad y satisfacción con los síntomas (Klepper, 2011). La subescala de transferencia y movilidad (11 ítems), que evalúa el desempeño motor grueso, fue usada en el presente trabajo. Ha demostrado ser un instrumento con confiabilidad, validez y sensibilidad al cambio, así como capacidad de discriminación en los niños con parálisis cerebral ambulantes (Barnes et al., 2008)

5.7. Índice de desviación de la marcha (GDI)

En un método de cuantificación de la marcha creado a partir de un sistema biométrico de reconocimiento facial. Al traducir este procedimiento al análisis de la marcha, la cara digitalizada se sustituye por gráficas cinemáticas (marcha digitalizada) y los niveles de escala de grises utilizados originalmente, se sustituyen por ángulos articulares de cadera y pelvis en los tres planos: flexo/extensión de rodilla, dorsi/plantiflexión del tobillo y progresión del pie.

Utilizando los métodos y medidas de proximidad del sistema original, se combinan los datos cinemáticos obtenidos en la evaluación tridimensional del análisis computarizado de la marcha, permitiendo su caracterización principalmente por el análisis de la calidad de los movimientos a través de estas 9 variables cinemáticas (Schwartz & Rozumalski, 2008).

Un valor de GDI igual o mayor de 100, indica la ausencia de alteraciones en la marcha. Cada 10 puntos por debajo de 100 corresponde a una desviación estándar respecto al patrón normal. Este índice es cuantitativo y provee una visión general de la cinemática, pero su uso está restringido a los laboratorios de análisis de marcha. (Filho et al., 2014)

El GDI está fuertemente correlacionado con los niveles FAQ y tiene la suficiente sensibilidad para diferenciar entre dos niveles de esta escala. (Schwartz & Rozumalski, 2008).

6. Metodología

6.1. Tipo de estudio

Retrospectivo, descriptivo. En el Instituto Roosevelt, desde el año 2015 se registran de manera sistemática en formato electrónico todos los pacientes con PC a los que se les realiza análisis computarizado de la marcha. En este registro se incluyen variables sociodemográficas, clínicas y funcionales, las cuales se extrajeron para realizar el análisis estadístico.

6.2. Población y muestra

6.2.1. Población Diana

Pacientes con diagnóstico de PC tipo diplejía espástica evaluados en el Instituto Roosevelt desde enero de 2015 hasta marzo de 2019. Se toman los datos del análisis cinemático de la marcha para determinar el patrón de marcha de cada extremidad inferior mediante el cálculo del índice de acoplamiento.

6.2.2. Marco Muestral (Población accesible)

Base de datos del Instituto Roosevelt de pacientes con diagnóstico de PC que se encuentra dentro del software FileMaker®.

6.3. Criterios de Selección de la muestra

6.3.1. Criterios de Inclusión

Pacientes con diagnóstico de PC tipo diplejía espástica entre 4 y 17 años registrados en formato electrónico que cuenten con variables demográficas, clínicas, funcionales y análisis computarizado de marcha en el Laboratorio de marcha del Instituto Roosevelt con datos completos.

6.3.2. Criterios de exclusión

Pacientes con diagnóstico de PC tipo hemiplejía espástica, PC coreoatetósica, PC discinética.

Pacientes con alteración de la marcha por etiologías diferentes a PC.

Se excluyeron los niños que tenían PC tipo diplejía espástica que no tenían la capacidad de entender, seguir órdenes y que no colaboraron durante el estudio.

Se excluyeron además aquellos con el mismo diagnóstico que no cuentan con la totalidad del registro de las variables a evaluar o sin análisis computarizado de la marcha.

6.3.3. Muestreo

Se realizó un muestreo por conveniencia,

6.4. Instrumentos, recolección de la información

- a. Los datos fueron obtenidos del registro de pacientes con PC de la base de datos del Instituto Roosevelt que se encuentra en el software File Maker ®.
- b. Los resultados del análisis computarizado de marcha se tomaron del Software Smart Clinic®, de donde se obtuvieron las tablas de datos para alimentar el programa de análisis
- c. La gráfica de dispersión se obtuvo mediante un algoritmo diseñado en el software MATLAB (Mathworks®) licenciado para el Instituto Roosevelt.
- d. Se exportaron los datos de interés al programa estadístico SPSS 23 (IBM®), licenciado para la Unidad Académica Básica de Medicina Física y Rehabilitación de la Universidad Nacional de Colombia.

6.5. Análisis estadístico.

Para la comparación de proporciones de cada uno de los niveles funcionales GMFCS entre cada patrón de marcha se utilizó el chi-cuadrado. Para las comparaciones de la edad y las medidas de capacidad (FAQ, velocidad de marcha, índice de costo fisiológico y prueba de 6 minutos) entre cada uno de los patrones de marcha se utilizó un análisis no paramétrico para muestras independientes (Kruskal-Wallis). En los casos en que se obtuvieron diferencias significativas ($p < 0,05$) se realizó un análisis de comparaciones múltiples de Dunn ($p < 0,015$). Para la evaluación de correlaciones se utilizó la prueba no paramétrica de Spearman.

7. Resultados

En el presente estudio se obtuvo una muestra total de 365 pacientes, de los cuales se escogieron los pacientes con el mismo patrón de marcha definido en las dos extremidades para un total de 173 pacientes analizados.

7.1. Características Generales de los Pacientes

Las características generales de los pacientes se presentan en la tabla 1. La figura 1 muestra que los niveles funcionales GMFCS están representados en proporciones similares en cada uno de los patrones de marcha ($p=0,5$). La edad es mayor en los pacientes con marcha agazapada ($p<0,0001$). Sin embargo, en el test de comparaciones múltiples de Dunn, solo se encontró una diferencia significativa de la edad entre el grupo 1 y 3 ($p<0,0001$) figura 2.

Tabla 1. Características generales de la población y resultados de pruebas funcionales. ^a Promedio (%); ^b Promedio(DE); ^c Mediana (Rango con Percentil 25 - percentil 75); Kg: Kilogramos; m: metros; cm: centímetros; 6MWT: Test de marcha en 6 minutos; lat: latidos; GDI: Índice desviación de la marcha; FAQ: Escala FAQ-Gillette.

Característica	Resultado
Masculino ^a	107 (61,84%)
Edad en años ^b	10,41 (DE=3,39)
IMC (Kg/m ²) ^b	17,15(DE=2,89)
Peso (Kg) ^b	32,30(DE=11,89)
Talla (cm) ^b	134,84(DE=18,30)
Cirugías Previas ^a	107 (61,84%)
GMFCS	
I ^a	55(31,80%)
II ^a	73(42,20%)
III ^a	45(26%)
Patrón de marcha	
Equino verdadero ^a	15(8,7%)
Rodilla en saltos ^a	29(16,8%)
Equino aparente ^a	24(13,9%)
Agazapada ^a	105(60,7%)

La edad promedio fue de 10,41(DE=3,39) años, con un peso promedio de 32,30Kg (DE=11,89), una talla promedio de 134,84cm (DE=18,30) y un índice de masa corporal de 17,15 kg/m² (DE=2,89).

La distribución según GMFCS evidencia que el 42,20% de los pacientes se encuentra en el nivel II, el 31,80% en el nivel I y el 26% en el nivel III.

Figura 2. Distribución de los niveles GMFCS en cada uno de los patrones de marcha. 0:equino verdadero; 1:rodilla en saltos 2: equino aparente; 3: marcha agazapada

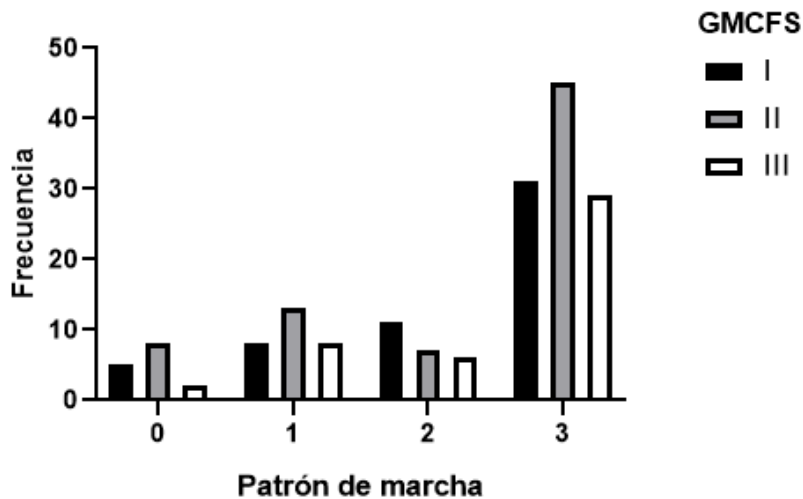


Figura 3. Gráficas de cajas y bigotes con mediana. mínimo y máximo de edad en cada uno de los patrones de marcha. Los bigotes representan los percentiles 5 y 95. 0:equino verdadero; 1:rodilla en saltos; 2: equino aparente; 3: marcha agazapada.

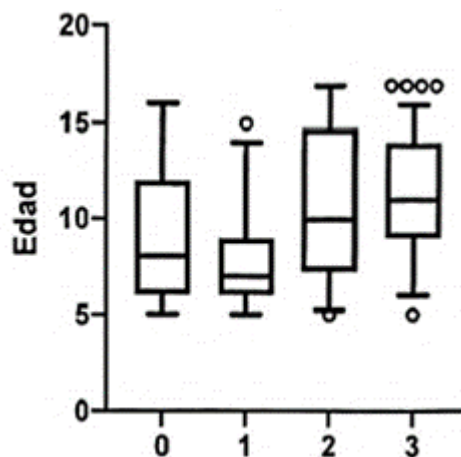


Tabla 2. Resultados de pruebas funcionales por patrón de marcha.

Patrón	Parámetros						
		Velocidad (m/s)	FAQ Gillette	GDI	Índice Costo fisiol (lat/m)	% Distancia 6MWT	PODCI
Equino Verdadero	Mediana	0,94	8	77,45	0,81	53,35	88,64
	Rango	1,47	4	26,45	6,44	75,66	43,94
	Mínimo	0,21	6	67,8	0,33	14,09	56,06
	Máximo	1,68	10	94,25	6,77	89,75	100
	Percentil 25	0,69	8	75,4	0,59	42,76	73,48
	Percentil 75	1,09	9	86,95	1,72	62,77	94,7
Rodilla en saltos	Mediana	0,78	8	68,35	1,22	46,7	78,03
	Rango	1,25	5	36,25	4,91	66,92	71,21
	Mínimo	0,13	4	50,8	0,16	8,13	28,79
	Máximo	1,38	9	87,05	5,07	75,05	100
	Percentil 25	0,56	7	63,1	0,77	33,89	68,56
	Percentil 75	1,05	8	76,25	2,08	61,26	86,75
Equino aparente	Mediana	0,94	8	78,05	0,86	50,49	79,93
	Rango	1,15	3	70,7	4,22	72,69	71,21
	Mínimo	0,16	6	18,1	0,18	11,07	28,79
	Máximo	1,31	9	88,8	4,4	83,76	100
	Percentil 25	0,8	7	74,7	0,64	36,74	68,19
	Percentil 75	1,18	9	84,35	1,56	63,98	88,64
Agazapado	Mediana	0,91	8	73,2	1,08	48,25	82,58
	Rango	1,26	5	84,45	6,15	76,08	81,82
	Mínimo	0,18	5	10,5	0,15	8,66	18,18
	Máximo	1,44	10	94,95	6,3	84,74	100
	Percentil 25	0,67	7	66,4	0,72	34,16	67,61
	Percentil 75	1,13	9	79,44	1,61	58,18	91,67

7.2. Patrones de marcha y capacidad física

La comparación del FAQ, la velocidad de marcha, el índice de costo fisiológico y la prueba de 6 minutos entre cada uno de los patrones de marcha se observa en la figura 4. En la figura 5 se observa la misma comparación en pacientes sin intervenciones quirúrgicas, en ningún caso se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas.

En todas los patrones de marcha se evidenció un valor mayor que el límite superior de la población infantil con desarrollo normal (0,47 +/- 0,13 latidos/metro) (Rose et al.,2010).

Figura 4. Comparación de las medidas de capacidad física entre cada uno de los patrones de marcha. Los bigotes representan los percentiles 5 y 95. A: Escala de Gillette FAQ. B:

Velocidad de marcha. C: Índice de costo fisiológico. D: Prueba de 6 minutos. 0:equino verdadero; 1:rodilla en saltos; 2: equino aparente; 3: marcha agazapada.

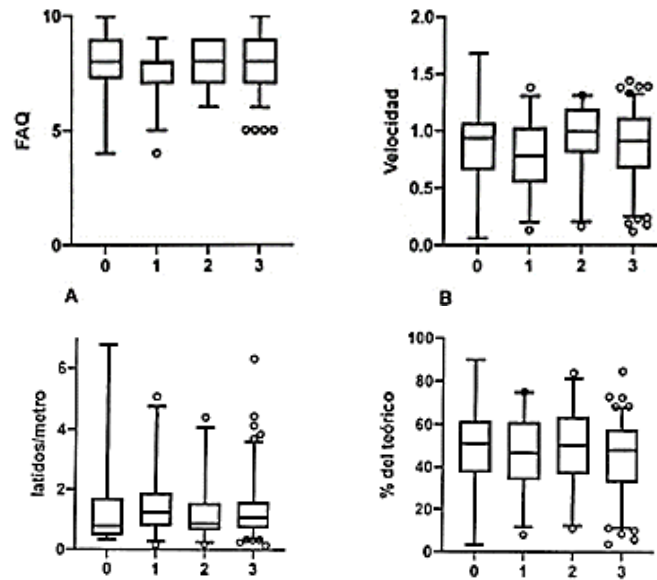
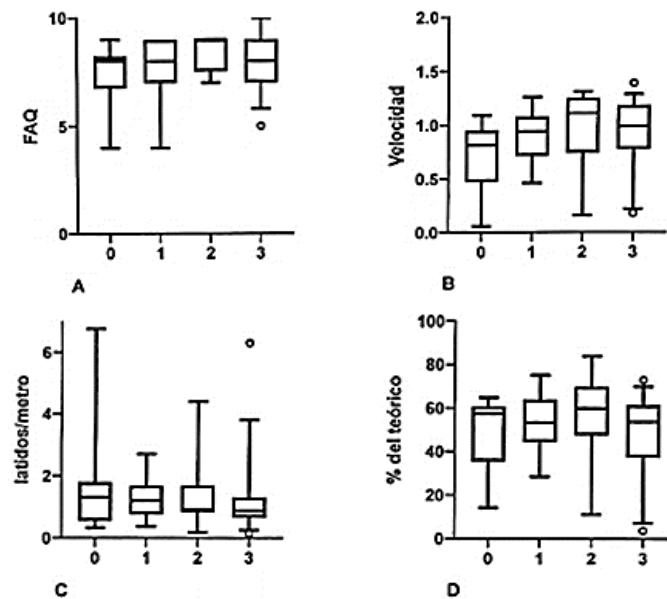


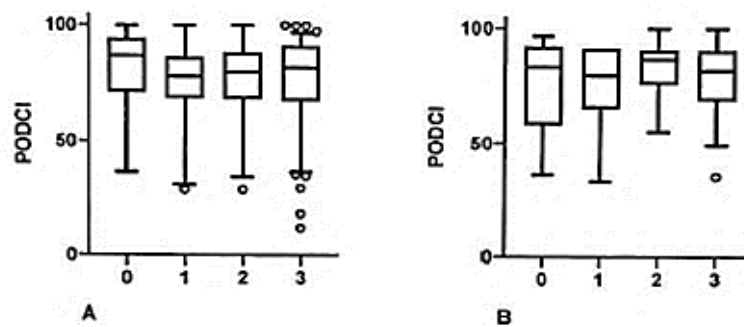
Figura 5. Comparación de las medidas de la capacidad física entre cada uno de los patrones de marcha en pacientes sin intervenciones quirúrgicas. Los bigotes representan los percentiles 5 y 95. A: Escala de Gillette FAQ. B: Velocidad de marcha. C: Índice de costo fisiológico. D: Prueba de 6 minutos. 0:equino verdadero; 1:rodilla en saltos 2: equino aparente; 3: marcha agazapada.



7.3. PODCI y patrones de marcha

Al comparar los resultados obtenidos en la subescala de movilidad y transferencia del PODCI, entre los diferentes patrones de marcha no se encuentra una diferencia estadísticamente significativa tanto para los grupos con y sin intervenciones quirúrgicas previas.

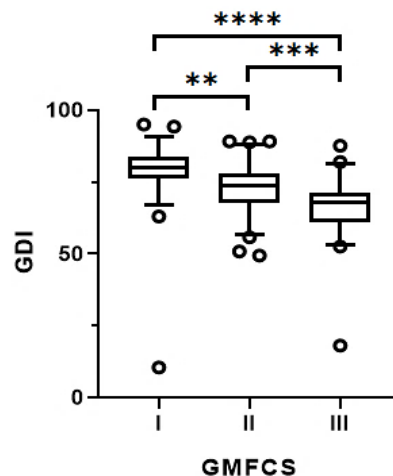
Figura 6. Comparación entre el puntaje del PODCI entre cada uno de los patrones de marcha en todos los pacientes (A) y en pacientes sin intervenciones quirúrgicas (B).



7.4. GDI y nivel funcional GMFCS

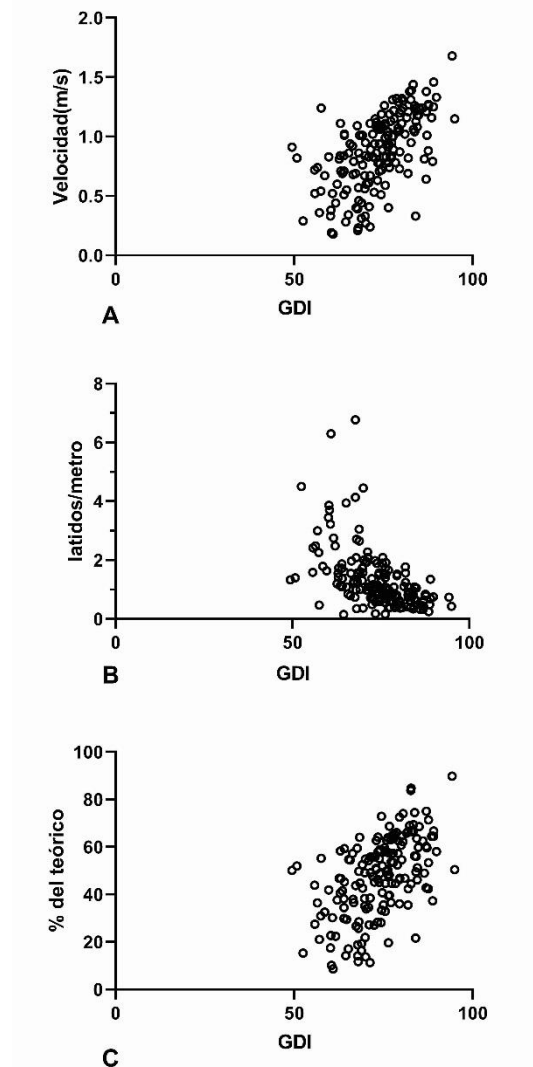
La figura 7 muestra las diferencias del GDI en cada uno de los niveles funcionales del GMFCS. Las diferencias del GDI entre los niveles funcionales del GMFCS fueron estadísticamente significativas

Figura 7. Comparación del GDI entre cada uno de los niveles del GMFCS. **p=0,0068 **** p<0,0001, ***p=0,0009



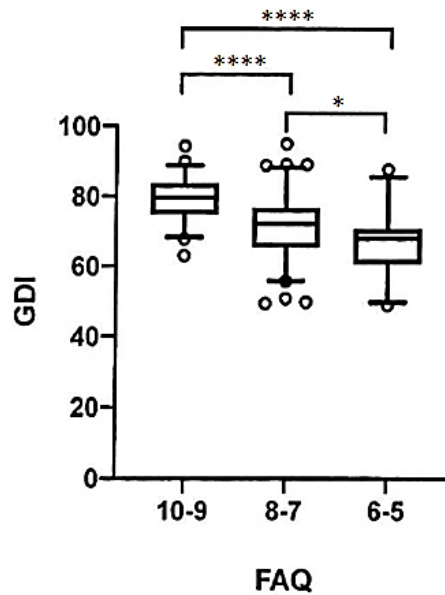
En la figura 8 se observan las correlaciones del GDI con la velocidad de marcha, la prueba de los 6 minutos y el índice de costo fisiológico, encontrándose diferencias estadísticamente significativas en todas.

Figura 8. Correlaciones del GDI con las medidas de capacidad: A: Velocidad de marcha ($r=0,63$ IC 95%=0,5321 a 0,7189); B: Costo fisiológico ($r=0,59$ IC 95%= -0,6901 a -0,4892); C: Prueba de 6 minutos ($r=0,57$ IC 95%= 0,4579 a 0,6695). En todas las correlaciones $p<0,0001$.



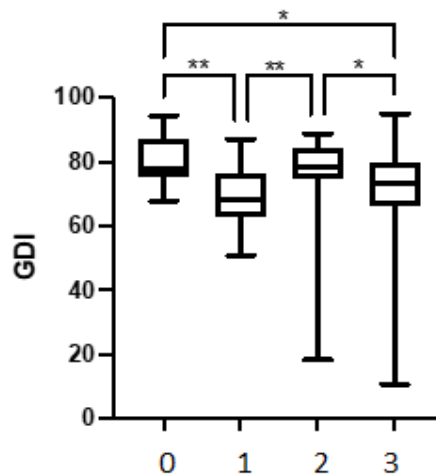
El GDI además mostró una correlación estadísticamente significativa con los resultados del cuestionario PODCI (movilidad básica y transferencias) ($r=0,38$ IC 95%=0,2422 a 0,5083). Así mismo, se encontró una diferencia estadísticamente significativa entre los niveles del FAQ y el GDI (Figura 9).

Figura 9. Comparación del GDI con niveles del cuestionario FAQ para el análisis estadístico se colapsaron en un solo grupo los niveles 10 y 9, 8 y 7, 6 y 5. **** $p > 0,0001$ y * $p = 0,04$.



Al correlacionar el resultado del GDI por tipo de marcha según Rodda (Figura 10) se encontró una significancia estadística general. Al realizar una comparación múltiple entre los diferentes tipos de marcha (equino verdadero, rodilla en saltos, equino aparente y agazapada), se encuentra una correlación estadísticamente significativa entre los patrones de equino verdadero y rodilla en saltos y rodilla en saltos con equino aparente.

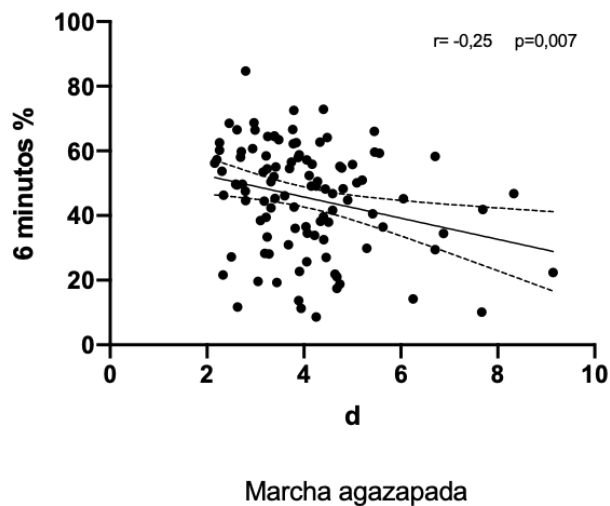
Figura 10. Comparación del GDI entre los patrones de marcha 0:equino verdadero; 1:rodilla en saltos 2: equino aparente; 3: marcha agazapada. ** 0-1 $p < 0,0016$ 1-2 $p < 0,0013$.



7.5. Distancia d_{PFKE} y marcha agazapada

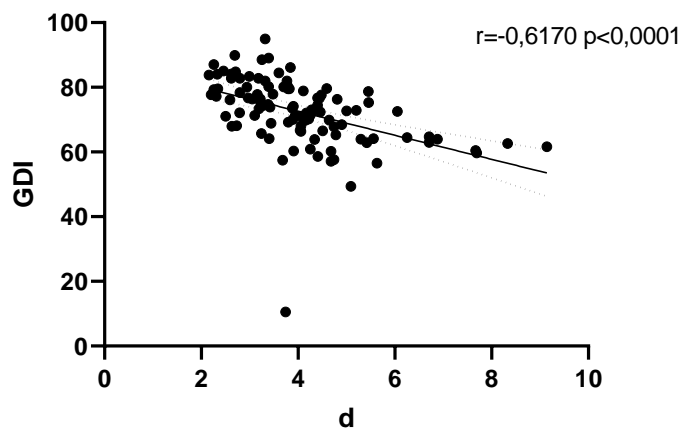
Además del patrón de marcha, el algoritmo de clasificación establece la magnitud de anormalidad dentro del cuadrante, definido como distancia d_{PFKE} . Al comparar el valor de este parámetro con respecto al resultado de la prueba de 6 minutos en los pacientes con marcha agazapada (figura 11) se encontró una relación inversa con $r=-0,25$ y $p=0,007$.

Figura 11. Correlación de d_{PFKE} con porcentaje alcanzado de distancia en 6 minutos en grupo de marcha agazapada.



Igualmente al comparar dentro de este grupo la distancia d_{PFKE} con el resultado del GDI se encontró una correlación negativa con un $r=-0,65$ con una $p<0,0001$ estadísticamente significativa (Figura 12).

Figura 12. Correlación de d_{PFKE} con el GDI en grupo de marcha agazapada.



8. Discusión

En el presente estudio se realizó un análisis de resultados de parámetros cinemáticos en el plano sagital de la rodilla y el tobillo relacionados a través del índice PFKE planteado por Sangeux (Sangeux et al., 2015), clasificando los diferentes patrones de marcha en pacientes con PC tipo diplejía espástica según Rodda y Graham (J. M. Rodda et al., 2004), con el fin de que estos sean relacionados con el desempeño en pruebas funcionales y así determinar el comportamiento de los resultados en dichas pruebas con la naturaleza de la progresión de la marcha en estos pacientes en las categorías: equino verdadero, rodilla en saltos, equino aparente y agazapado.

El estudio muestra que los patrones de marcha identificados mediante el algoritmo, no tienen un significado funcional en las medidas de capacidad física evaluadas. Los pacientes con marcha agazapada tienden a ser mayores en comparación a los otros tres grupos de pacientes. Este hallazgo ha sido observado en otros estudios (Rozumalski & Schwartz, 2009). De igual manera se encontró que todos los patrones de marcha estuvieron representados en los tres niveles funcionales del GMFCS en proporciones similares, lo que indica que no existe una relación entre el peor patrón de marcha con un nivel funcional más bajo.

Sin embargo, los pacientes con marcha agazapada no presentaron una capacidad funcional diferente a los otros grupos. Se considera que la marcha agazapada es el nivel más grave y avanzado de la enfermedad. Una posibilidad es que las anomalías cinemáticas en sí mismas no alcanzan a tener expresión en las pruebas funcionales. Las pruebas funcionales tales como velocidad de marcha y prueba de 6 minutos, no son lo suficientemente sensibles para reflejar patrones cinemáticos de severidad diferente.

Esta explicación es controvertida por el hecho de que el GDI sí tiene una clara correlación con la funcionalidad. Los pacientes con peores resultados en el GDI mostraron las capacidades funcionales más bajas. El GDI involucra un análisis cinemático más completo (incluyendo el análisis en los tres planos de las articulaciones de cadera y movimientos en rodilla, tobillo y pie) que el algoritmo de clasificación usado. Éste finalmente, solo tiene en cuenta la función del acoplamiento, flexión plantar y extensión de rodilla en el plano sagital.

Otra posible explicación es que el algoritmo de clasificación incluye dentro de cada grupo, pacientes ubicados en coordenadas muy diversas. Las alteraciones cinemáticas dentro de cada uno de los cuatro grupos son muy variables, por lo que la sola clasificación no es suficiente para discriminar pacientes con capacidades y desempeños diferentes, lo que podría explicar que no se hayan encontrado correlaciones con todas las pruebas funcionales analizadas.

La distancia d_{PFKE} del algoritmo indica la ubicación de un patrón de marcha respecto a las demás clasificaciones en el diagrama de dispersión, de manera que cuanto más grande sea su valor, más específico es el patrón de marcha al que pertenece. Esto se evidenció en el grupo de marcha agazapada, ya que los pacientes con mayores valores de este parámetro presentaron menor desempeño en la prueba de 6 minutos, lo que significa que un paciente con más características de marcha agazapada tendrá menor desempeño funcional en esta prueba, resultados similares a los encontrados por Rozumalski. (Rozumalski & Schwartz, 2009). Además se encontró una correlación negativa con el GDI lo que habla de una mayor alteración en el patrón de marcha respecto a la normal cuanto mayor es este parámetro

Por otro lado, el GDI, el cual también se basa en análisis cinemático de la marcha, mostró una correlación significativa con las medidas de capacidad (Velocidad de marcha, costo fisiológico y prueba de 6 minutos) y desempeño (FAQ y PODCI). En la transcripción original del GDI también se utilizó la escala FAQ y de igual forma se encontraron diferencias entre cada uno de sus niveles (Rozumalski & Schwartz, 2009).

Estudios previos han encontrado que existe una correlación fuerte entre el Functional Mobility Scale (FMS) y el FAQ con el cambio en el puntaje del Functional Independence Measure (FIM) para niños. El estudio de Novacheck (Novacheck et al., 2000) es la referencia más importante en la literatura que soporta la validez y confiabilidad de este cuestionario. Günel y colaboradores encontraron asociaciones con significancia estadística entre el FAQ y los niveles del GMFCS, presentando una fuerte correlación negativa entre estos dos, ya que las mejores habilidades para caminar estaban relacionadas con el nivel de función motora gruesa y el bajo gasto energético, de lo cual se deduce que el FAQ es efectivo en la diferenciación de los niveles motores (Amichai et al., 2009) (Novacheck et al., 2000).

El FAQ también se asoció con las dimensiones de transferencia y locomoción de la escala The Functional Measure for Children (WeeFIM) y las dimensiones de pararse, caminar-correr-

saltar del Gross Motor Performance Measure (GMPM), concluyendo que la escala Gillette FAQ es altamente compatible con la funcionalidad y los niveles de desempeño motor (Günel et al., 2010).

Varios estudios han intentado establecer la relación entre la cinemática articular de la marcha con medidas de desempeño y capacidad. Los índices de movilidad cinemática han sido comparados con la clasificación topográfica de PC: hemiplejía, diplejía y cuadriplejía. En la evaluación de estos índices no se han evaluado medidas de desempeño o capacidad, excepto en los trabajos mencionados (Romei et al., 2004);(Schutte et al., 2000).

La clasificación obtenida mediante el método estadístico cluster, descrito por Wong, mostró una relación entre los grupos obtenidos y la velocidad de marcha (Wong et al., 1983). Este autor incluyó pacientes con PC de distribución unilateral.

8.1. Evolución del patrón de marcha

La evolución del patrón de marcha de manera secuencial, tal como lo sugieren las clasificaciones de Rodda y Amsterdam no fue demostrada en este estudio.

Otras investigaciones han intentado establecer una historia natural de la marcha agazapada. De acuerdo a la clasificación de Amsterdam, un patrón de marcha tipo II (hiperextensión de rodilla, levantamiento normal del talón) es un patrón más leve que el patrón tipo III (hiperextensión de rodilla, levantamiento prematuro del talón). En el siguiente nivel (tipo IV) la rodilla no se extiende en el apoyo. Este patrón, en teoría precede a la marcha agazapada (tipo V) (Becher, 2002). En la clasificación de Rodda, el patrón de rodilla en saltos equivale al tipo IV de la clasificación de Amsterdam (equino del tobillo y flexión de la rodilla en el apoyo) y evoluciona a un equino aparente y luego a marcha agazapada.

De acuerdo a nuestros datos y los resultados obtenidos se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el patrón de rodilla en saltos y el agazapado. Es posible que el equino aparente sea un estadio inicial de la marcha agazapada. Esto sugiere que, si bien las clasificaciones propuestas intentan describir la evolución de la marcha de manera jerárquica, hay una pobre correlación biomecánica y funcional de la clasificación.

En el estudio actual, dada sus características retrospectivas, no fue posible hacer un seguimiento longitudinal a aquellos pacientes sin intervenciones quirúrgicas, de manera que

no se pudo establecer si los cambios que se presentan, tanto biomecánica como funcionalmente, siguen un orden jerárquico y repercuten en la funcionalidad de los pacientes.

8.2. Complicaciones de la marcha agazapada

Ninguna de las secuencias propuestas (clasificación de Amsterdam o clasificación de Rodda) ni su significado funcional han sido completamente estudiadas. Lo único claro en los dos sistemas de clasificación y en los estudios de marcha en niños con PC, es que la marcha agazapada representa la fase más avanzada de la enfermedad.

Aunque los patrones identificados no tienen un significado funcional, las implicaciones en el manejo son diferentes y así mismo los resultados quirúrgicos finales. La marcha agazapada requiere un manejo quirúrgico más complejo y los resultados no son tan buenos como los obtenidos con los otros patrones de marcha. Así mismo, las complicaciones a largo plazo pueden ser diferentes. En la presente investigación no hubo diferencias significativas entre el desempeño funcional en las pruebas aplicadas entre los niños con y sin intervenciones quirúrgicas.

Si bien el algoritmo de clasificación de los patrones de marcha descritos por Rodda, aunque no tienen significado funcional pueden tener aplicación en el manejo (J. Rodda & Graham, 2001).

En la literatura, la mayor parte de los estudios, han descrito el desempeño de los pacientes con relación a los niveles de clasificación GMFCS y no con los patrones de marcha, encontrándose peores resultados a medida que aumenta el nivel funcional. Secundario a las alteraciones anatómicas y biomecánicas que se presentan, los pacientes pueden desarrollar mecanismos compensatorios para mejorar el desempeño en pruebas como la velocidad de marcha y la distancia recorrida en 6 minutos.

Damiano *et al.* (Damiano & Abel, 2008), encontraron que la cadencia de la marcha es un fuerte predictor del puntaje en el GMFM, además de que las restricciones de la longitud del paso debido a contracturas dinámicas o estáticas, típicas en esta población, que producen disminución de la velocidad de marcha, son moduladas primariamente por la cadencia. Sin embargo, estas compensaciones no explican completamente el comportamiento del desempeño funcional según la clasificación de Rodda.

Otras investigaciones han relacionado variables específicas como el análisis visual de la marcha de Edimburgo con el test de Up and go y el GDI, (Folle et al., 2016), asimismo la espasticidad de grupos musculares particulares de miembros inferiores con análisis cinemático de la marcha (Domagalska et al., 2013) y parámetros cinéticos y cinemáticos en el plano sagital con la eficiencia de la marcha (costo energético) (Noorkoiv et al., 2019), encontrándose correlaciones débiles entre estos parámetros. Ninguno describe específicamente su relación con los patrones de marcha propuestos por diferentes autores.

Aunque existen anomalías primarias en niños con PC por alteraciones en el sistema nervioso central (aumento del tono muscular, actividad refleja anormal, pérdida del control motor selectivo y espasticidad), o efectos secundarios (defectos y deformidades por el crecimiento anormal de músculos y huesos), la marcha patológica adicionalmente se da por mecanismos compensatorios denominados efectos terciarios (Domagalska et al., 2013). Estos mecanismos pueden aportar información importante sobre la funcionalidad, pero en su análisis deben ser relacionados con los datos cinemáticos obtenidos.

9. Conclusiones

La clasificación de los patrones de marcha de Rodda en pacientes con PC diplejía espástica, utilizando el índice PFKE, no mostró una correlación con el resultado de las medidas de capacidad física evaluadas, lo que sugiere que no tienen un significado funcional ni cinemático por lo cual se deberían tener en cuenta tanto los aspectos biomecánicos como funcionales para poder establecer una relación jerárquica.

El GDI por sus características, se correlaciona con el resultado de pruebas funcionales y de desempeño, como se evidenció en el presente estudio, de manera que podría ser usado como una herramienta de seguimiento funcional en este tipo de pacientes, para la toma de decisiones terapéuticas.

Bibliografía

- Álvarez, L. M. O., Universidad Nacional de Colombia, Castro, D. C. H., Valencia, D. V., Universidad Nacional de Colombia, & Universidad Nacional de Colombia. (2016). Valores de referencia del test de marcha a en 6 minutos para niños y adolescentes sanos colombianos de 7 a 17 años de edad. In *Revista Colombiana de Medicina Física y Rehabilitación* (Vol. 26, Issue 1, pp. 19–29). <https://doi.org/10.28957/rcmfr.v26n1a2>
- Amichai, T., Harries, N., Dvir, Z., Patish, H., & Copeliovitch, L. (2009). The effects of femoral derotation osteotomy in children with cerebral palsy: an evaluation using energy cost and functional mobility. *Journal of Pediatric Orthopedics*, 29(1), 68–72.
- Ammann-Reiffer, C., Bastiaenen, C. H. G., & Van Hedel, H. J. A. (2019). Measuring change in gait performance of children with motor disorders: assessing the Functional Mobility Scale and the Gillette Functional Assessment Questionnaire walking scale. In *Developmental Medicine & Child Neurology* (Vol. 61, Issue 6, pp. 717–724). <https://doi.org/10.1111/dmcn.14071>
- ATS Committee on Proficiency Standards for Clinical Pulmonary Function Laboratories. (2002). ATS statement: guidelines for the six-minute walk test. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 166(1), 111–117.
- Barnes, D., Linton, J. L., Sullivan, E., Bagley, A., Oeffinger, D., Abel, M., Damiano, D., Gorton, G., Nicholson, D., Romness, M., Rogers, S., & Tylkowski, C. (2008). Pediatric outcomes data collection instrument scores in ambulatory children with cerebral palsy: an analysis by age groups and severity level. *Journal of Pediatric Orthopedics*, 28(1), 97–102.
- Becher, J. G. (2002). Pediatric Rehabilitation in Children with Cerebral Palsy: General Management, Classification of Motor Disorders. In *JPO Journal of Prosthetics and Orthotics* (Vol. 14, Issue 4, pp. 143–149). <https://doi.org/10.1097/00008526-200212000-00004>
- Bell, K. J., Öunpuu, S., DeLuca, P. A., & Romness, M. J. (2002). Natural Progression of Gait in Children With Cerebral Palsy. In *Journal of Pediatric Orthopaedics* (Vol. 22, Issue 5, pp. 677–682). <https://doi.org/10.1097/01241398-200209000-00020>
- Butland, R. J., Pang, J., Gross, E. R., Woodcock, A. A., & Geddes, D. M. (1982). Two-, six-, and 12-minute walking tests in respiratory disease. *British Medical Journal*, 284(6329), 1607–1608.
- Butler, P., Engelbrecht, M., Major, R. E., Tait, J. H., Stallard, J., & Patrick, J. H. (1984).

- Physiological cost index of walking for normal children and its use as an indicator of physical handicap. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 26(5), 607–612.
- Damiano, D. L., & Abel, M. F. (2008). Relation Of Gait Analysis To Gross Motor Function In Cerebral Palsy. In *Developmental Medicine & Child Neurology* (Vol. 38, Issue 5, pp. 389–396). <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.1996.tb15097.x>
- Davids, J. R., Cung, N. Q., Chen, S., Sison-Williamson, M., & Bagley, A. M. (2019). Control of Walking Speed in Children With Cerebral Palsy. In *Journal of Pediatric Orthopaedics* (Vol. 39, Issue 8, pp. 429–435). <https://doi.org/10.1097/bpo.0000000000000978>
- Domagalska, M., Szopa, A., Syczewska, M., Pietraszek, S., Kidoń, Z., & Onik, G. (2013). The relationship between clinical measurements and gait analysis data in children with cerebral palsy. *Gait & Posture*, 38(4), 1038–1043.
- Filho, M. C. de M., de Moraes Filho, M. C., Kawamura, C. M., Lopes, J. A. F., Neves, D. L., de Oliveira Cardoso, M., & Caiafa, J. B. (2014). Most frequent gait patterns in diplegic spastic cerebral palsy. In *Acta Ortopédica Brasileira* (Vol. 22, Issue 4, pp. 197–201). <https://doi.org/10.1590/1413-78522014220400942>
- Fitzgerald, D., Hickey, C., Delahunt, E., Walsh, M., & O'Brien, T. (2016). Six-Minute Walk Test in Children With Spastic Cerebral Palsy and Children Developing Typically. *Pediatric Physical Therapy: The Official Publication of the Section on Pediatrics of the American Physical Therapy Association*, 28(2), 192–199.
- Folle, M. R., Tedesco, A. P., & Nicolini-Panisson, R. D'. (2016). CORRELATION BETWEEN VISUAL GAIT ANALYSIS AND FUNCTIONAL ASPECTS IN CEREBRAL PALSY. In *Acta Ortopédica Brasileira* (Vol. 24, Issue 5, pp. 259–261). <https://doi.org/10.1590/1413-785220162405162986>
- Graham, H. K., Kerr Graham, H., & Selber, P. (2008). Local and distant effects of isolated calf muscle lengthening in children with cerebral palsy and equinus gait. Lofterød B, Terjesen T. *Journal of Children's Orthopaedics* 2008;1:55–62. In *Journal of Children's Orthopaedics* (Vol. 2, Issue 4, pp. 321–322). <https://doi.org/10.1007/s11832-008-0116-y>
- Graham, H. K., & Selber, P. (2003). MUSCULOSKELETAL ASPECTS OF CEREBRAL PALSY. In *The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume* (Vol. 85-B, Issue 2, pp. 157–166). <https://doi.org/10.1302/0301-620x.85b2.14066>
- Günel, M. K., Tarsuslu, T., Mutlu, A., & Livanelioğlu, A. (2010). Investigation of interobserver reliability of the Gillette Functional Assessment Questionnaire in children with spastic diparetic cerebral palsy. *Acta Orthopaedica et Traumatologica Turcica*, 44(1), 63–69.
- Johnson, D. C., Damiano, D. L., & Abel, M. F. (1997). The evolution of gait in childhood and adolescent cerebral palsy. *Journal of Pediatric Orthopedics*, 17(3), 392–396.

- Klepper, S. E. (2011). Measures of pediatric function: Child Health Assessment Questionnaire (C-HAQ), Juvenile Arthritis Functional Assessment Scale (JAFAS), Pediatric Outcomes Data Collection Instrument (PODCI), and Activities Scale for Kids (ASK). In *Arthritis Care & Research* (Vol. 63, Issue S11, pp. S371–S382). <https://doi.org/10.1002/acr.20635>
- Maher, C. A., Williams, M. T., & Olds, T. S. (2008). The six-minute walk test for children with cerebral palsy. In *International Journal of Rehabilitation Research* (Vol. 31, Issue 2, pp. 185–188). <https://doi.org/10.1097/mrr.0b013e32830150f9>
- Mylius, C. F., Paap, D., & Takken, T. (2016). Reference value for the 6-minute walk test in children and adolescents: a systematic review. *Expert Review of Respiratory Medicine*, 10(12), 1335–1352.
- Noorkoiv, M., Lavelle, G., Theis, N., Korff, T., Kilbride, C., Baltzopoulos, V., Shortland, A., Levin, W., & Ryan, J. M. (2019). Predictors of Walking Efficiency in Children With Cerebral Palsy: Lower-Body Joint Angles, Moments, and Power. *Physical Therapy*, 99(6), 711–720.
- Novacheck, T. F., Stout, J. L., & Tervo, R. (2000). Reliability and validity of the Gillette Functional Assessment Questionnaire as an outcome measure in children with walking disabilities. *Journal of Pediatric Orthopedics*, 20(1), 75–81.
- Odding, E., Roebroek, M. E., & Stam, H. J. (2006). The epidemiology of cerebral palsy: incidence, impairments and risk factors. *Disability and Rehabilitation*, 28(4), 183–191.
- Ortíz, F. (2017). *Texto de Medicina Física y Rehabilitación*. Editorial El Manual Moderno Colombia S.A.S.
- O’Sullivan, R., Horgan, F., O’Brien, T., & French, H. (2018). The natural history of crouch gait in bilateral cerebral palsy: A systematic review. *Research in Developmental Disabilities*, 80, 84–92.
- Rodda, J., & Graham, H. K. (2001). Classification of gait patterns in spastic hemiplegia and spastic diplegia: a basis for a management algorithm. *European Journal of Neurology: The Official Journal of the European Federation of Neurological Societies*, 8 Suppl 5, 98–108.
- Rodda, J. M., Graham, H. K., Carson, L., Galea, M. P., & Wolfe, R. (2004). Sagittal gait patterns in spastic diplegia. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume*, 86(2), 251–258.
- Romei, M., Galli, M., Motta, F., Schwartz, M., & Crivellini, M. (2004). Use of the normalcy index for the evaluation of gait pathology. In *Gait & Posture* (Vol. 19, Issue 1, pp. 85–90). [https://doi.org/10.1016/s0966-6362\(03\)00017-1](https://doi.org/10.1016/s0966-6362(03)00017-1)
- Rose, J., Gamble, J. G., Burgos, A., Medeiros, J., & Haskell, W. L. (2010). ENERGY EXPENDITURE INDEX OF WALKING FOR NORMAL CHILDREN AND FOR CHILDREN

- WITH CEREBRAL PALSY. In *Developmental Medicine & Child Neurology* (Vol. 32, Issue 4, pp. 333–340). <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.1990.tb16945.x>
- Rosenbaum, P. L., Palisano, R. J., Bartlett, D. J., Galuppi, B. E., & Russell, D. J. (2008). Development of the Gross Motor Function Classification System for cerebral palsy. *Developmental Medicine and Child Neurology*, *50*(4), 249–253.
- Rozumalski, A., & Schwartz, M. H. (2009). Crouch gait patterns defined using k-means cluster analysis are related to underlying clinical pathology. *Gait & Posture*, *30*(2), 155–160.
- Rozumalski, A., & Schwartz, M. H. (2011). The GDI-Kinetic: a new index for quantifying kinetic deviations from normal gait. *Gait & Posture*, *33*(4), 730–732.
- Saad, H. B., Ben Saad, H., Prefaut, C., Missaoui, R., Mohamed, I. H., Tabka, Z., & Hayot, M. (2009). Reference equation for 6-min walk distance in healthy North African children 6-16 years old. In *Pediatric Pulmonology* (Vol. 44, Issue 4, pp. 316–324). <https://doi.org/10.1002/ppul.20942>
- Sangeux, M., Rodda, J., & Graham, H. K. (2015). Sagittal gait patterns in cerebral palsy: the plantarflexor-knee extension couple index. *Gait & Posture*, *41*(2), 586–591.
- Schwartz, M. H., & Rozumalski, A. (2008). The gait deviation index: A new comprehensive index of gait pathology. In *Gait & Posture* (Vol. 28, Issue 3, pp. 351–357). <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2008.05.001>
- Stavsky, M., Mor, O., Mastrolia, S. A., Greenbaum, S., Than, N. G., & Erez, O. (2017). Cerebral Palsy-Trends in Epidemiology and Recent Development in Prenatal Mechanisms of Disease, Treatment, and Prevention. *Frontiers in Pediatrics*, *5*, 21.
- Sutherland, D. H., & Davids, J. R. (1993). Common gait abnormalities of the knee in cerebral palsy. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, *288*, 139–147.
- Winters, T. F., Jr, Gage, J. R., & Hicks, R. (1987). Gait patterns in spastic hemiplegia in children and young adults. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*, *69*(3), 437–441.
- Wong, M. A., Simon, S., & Olshen, R. A. (1983). Statistical analysis of gait patterns of persons with cerebral palsy. *Statistics in Medicine*, *2*(3), 345–354.
- Wren, T. A. L., Sheng, M., Bowen, R. E., Scaduto, A. A., Kay, R. M., Otsuka, N. Y., Hara, R., & Chan, L. S. (2008). Concurrent and Discriminant Validity of Spanish Language Instruments for Measuring Functional Health Status. In *Journal of Pediatric Orthopaedics* (Vol. 28, Issue 2, pp. 199–212). <https://doi.org/10.1097/bpo.0b013e318165216d>
- Yokochi, K. (2001). Gait patterns in children with spastic diplegia and periventricular leukomalacia. *Brain & Development*, *23*(1), 34–37.