

ANÁLISIS BIOMECÁNICO DEL SALTO VERTICAL CON CONTRAMOVIMIENTO EN PERSONAS CON PARÁLISIS CEREBRAL.

Gianikellis K.; Bote, A.; Pulido, J. M.^a y Pérez, A.**

Laboratorio de Biomecánica del Movimiento Humano y de Ergonomía
Facultad de CC. de la Actividad Física y del Deporte - Universidad de
Extremadura.**Asociación de Parálíticos Cerebrales – Cáceres (SPACE).

RESUMEN

El valor óptimo del impulso de aceleración en el salto vertical con contra - movimiento, es aproximadamente tres veces superior al impulso de “frenaje”. El objetivo de este estudio ha sido investigar el modo de actuación de la cadena biocinémica del tren inferior en el salto vertical con contra - movimiento para personas afectadas por parálisis cerebral, concretamente, tetraparesia con ataxia, tetraparesia con atetosis, tetraparesia con espasticidad, diplegia con espasticidad, hemiplegia izquierda y derecha, y finalmente, hemiparesia izquierda y derecha. Para ello, se han analizado las fuerzas de reacción de veintitrés sujetos que han realizado saltos con contramovimiento sobre una plataforma de fuerzas. El hallazgo de un valor medio de la ratio entre el impulso de “frenaje” y el de aceleración muy próximo al valor teórico para los veintitrés sujetos con diferentes síntomas de parálisis cerebral, confirma el principio de la fuerza inicial mientras que el alto coeficiente de variación de los parámetros utilizados en este estudio confirma la esperada falta de homogeneidad de la muestra.

PALABRAS CLAVES: parálisis cerebral, análisis biomecánico, salto vertical.

ABSTRACT

The main purpose of the study was to evaluate the patterns of the developed ground reaction forces in the two – legged countermovement jumping, performed by persons affected by tetraparesis with ataxia, tetraparesis with athetosis, tetraparesis with spasticity, diplegia with spasticity, right and left hemiplegia and, finally, right and left hemiparesis. After twenty subjects jumped on the surface of a force plate analysis of the ground reaction force – time trend took place. The obtained results confirm the accomplishment of the biomechanical principle of the initial force as in the case of persons not affected by neurological disorders. Finally the calculated ratio between the breaking impulse and the acceleration impulse is very near to optimum values.

KEY WORDS: cerebral palsy, biomechanics, countermovement jump.

INTRODUCCIÓN

Desde que N. Bernstein (1975) ha destacado la influencia de las fuerzas externas, gravitacionales e inerciales sobre la cinemática del movimiento, la biomecánica está orientada a reconocer las relaciones entre las cargas mecánicas en los movimientos multiarticulares, la cinemática del movimiento y las fuerzas y momentos de fuerzas que se desarrollan como causas. Mucho más tarde, G. Hochmuth (1981) definió la técnica deportiva como “una solución biomecánica A, a

un problema de movimiento específico, que también puede ser B, C, D, etc., en base a las condiciones y características de rendimiento del sistema biológico, las condiciones mecánicas del entorno, las reglas deportivas y las consideraciones tácticas”, y formuló los principios biomecánicos como un marco teórico de criterios generalizados que permiten reconocer las relaciones causa - efecto y evaluar el nivel de eficacia de la técnica deportiva. Si bien la aplicación de los Principios Biomecánicos no resuelve la totalidad de los problemas en la élite deportiva, constituyen una herramienta muy útil para analizar y evaluar la estructura biomecánica de los patrones motores. De acuerdo con el principio de la fuerza inicial, en los patrones motores con contramovimiento (bending–stretching) donde tiene lugar un cambio en la dirección del movimiento, se desarrolla una fuerza inicial positiva como consecuencia del impulso de “frenaje” al principio del movimiento de extensión. De modo que, se puede incrementar el impulso de aceleración en la extensión, con la condición de que la relación entre el impulso de “frenaje” y el impulso de aceleración sea óptima para cada deporte.

La parálisis cerebral, a su vez, como trastorno neurológico está caracterizada por la pérdida del control selectivo de los músculos, la aparición de movimientos espásticos y de patrones primitivos de contracción, induciendo a controversias respecto a la clasificación de atletas discapacitados en las competiciones. Rodríguez y Vives (2001) se refieren a la Parálisis Cerebral (PC) como a un grupo de trastornos motores no progresivos, que provocan anomalías del control postural de los movimientos, ocasionado por una lesión del sistema nervioso central (SNC) durante las etapas madurativas precoces del desarrollo cerebral, ya sea antes, durante o después del parto. Por tanto, esta alteración neurológica, causa un deterioro variable sobre la coordinación de la acción muscular, con la resultante incapacidad por parte del individuo para mantener su postura y realizar movimientos con normalidad.

Actualmente, existe una amplia variedad de protocolos, procedimientos e instrumentos aplicados a la valoración funcional y clasificación de los parálisis cerebrales. Los mencionados procesos de evaluación, muchas veces han surgido ante necesidades específicas de los autores. De modo que, la bibliografía relacionada con la valoración funcional se encuentra dispersa y fragmentada, y tiene enfoques muy particulares, hecho que puede crear problemas a la hora de comunicarse entre diversas disciplinas profesionales implicadas en el área de la discapacidad y dificulta la comparación de los resultados de la investigación relacionados con el tema. En este contexto, es bien conocido que para los expertos, la evaluación de discapacidades como la hemiplejía, la paraplejía, etc., se hace de una forma ordinaria según las pautas del “International Muscle Testing” y el conocimiento de la fisiología de los músculos y sus inervaciones. Sin embargo, en el caso de la

parálisis cerebral, esta concepción analítica de la motricidad tiene un interés relativo, puesto que valora solamente la calidad del control voluntario y consciente de los patrones motores. Siendo consciente de esta situación Metayer (1992) propone una correcta clasificación de los deportistas con parálisis cerebral en función de los criterios tradicionales, en función de la calidad del control postural en condiciones de esfuerzo físico y en función de sus reacciones para reestablecer el equilibrio postural. Por otro lado, Kruimer (1992) propone un sistema funcional de clasificación basado en las habilidades de las personas con parálisis cerebral, mediante análisis biomecánico de diferentes aspectos de su motricidad (rango de movimiento para diferentes articulaciones, equilibrio, control y coordinación motora, etc.) para las modalidades deportivas de atletismo y natación.

Por último, la clasificación clínica tradicional de la parálisis cerebral se basa en la principal disfunción motriz, es decir, espasticidad, ataxia o distonía (atetosis), así como en su extensión, esto es, hemiplejía, diplejía, o cuadriplejía. El cuadro clínico de la espasticidad se caracteriza por la afección de los músculos que intervienen en los movimientos voluntarios, de modo que el tono muscular se encuentra siempre elevado y varía, según el caso, desde un discreto aumento a una rigidez manifiesta. La parálisis cerebral distónica o atetósica se caracteriza por presentar un tono muscular disminuido (distonía) y por la aparición de movimientos involuntarios (discinesia).

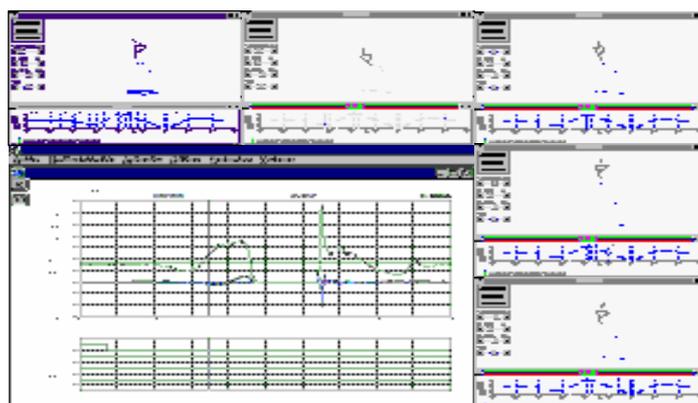


Figura 1. Curvas características obtenidas por la realización de un salto vertical con contra – movimiento. Representación de las componentes de las fuerzas de reacción

Por último, la parálisis cerebral atáxica se caracteriza por descoordinación de movimientos voluntarios y dificultad para mantener la postura. En general, la clasificación de la parálisis cerebral puede ser imprecisa respecto a la severidad de la

afección, puesto que no existe un solo tipo de parálisis cerebral, sino una combinación de espasticidad y distonía (Rosenbloom, 1995).

El objetivo de este estudio, que forma parte de un proyecto de investigación orientado al análisis de las capacidades motrices de discapacitados físicos, es investigar el modo de actuación de la cadena biocinemática del tren inferior en un salto vertical con contramovimiento realizado por personas con diferentes cuadros de parálisis cerebral, especialmente, para conocer si se cumple el principio de la “fuerza inicial”. En este sentido, cabe desatacar que las consideraciones metodológicas, mencionadas correctamente por Hatze (1998), respecto a la validez y fiabilidad del salto vertical con contra - movimiento, como prueba para evaluar la potencia muscular de la cadena biocinemática, no afectan para nada los objetivos y la calidad de los resultados de este estudio.

MATERIAL Y MÉTODOS

Veintitrés sujetos afectados por tetraparesia con ataxia, tetraparesia con atetosis, tetraparesia con espasticidad, diplegia con espasticidad, hemiplegia izquierda y derecha, hemiparesia izquierda y derecha, han realizado saltos con contramovimiento sobre una plataforma de fuerzas, saltando tan alto como les era posible, y con las manos colocadas en las caderas (Figura 2).

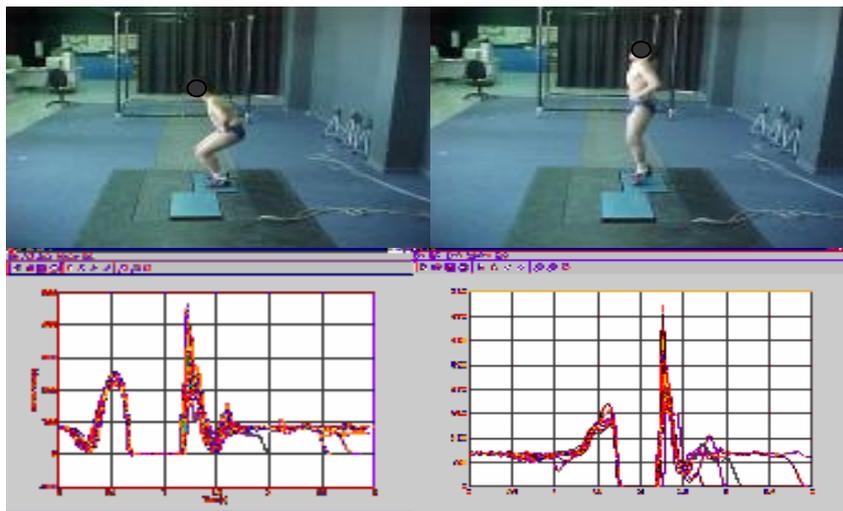


Figura 2. Representación gráfica de la fuerza vertical en el salto con contramovimiento donde se observa la variabilidad en la ejecución entre una persona discapacitada y una persona que no sufre ningún problema de coordinación neuromuscular

Las fuerzas de reacción fueron registradas con una plataforma de fuerzas extensométrica (DINASCAN 600M) con una frecuencia de muestreo de 500 Hz. El error estimado, con respecto al registro de las componentes de la fuerza de reacción es inferior al 2%. La evolución temporal de la componente vertical de la fuerza de reacción (Figura 3) se ha parametrizado en términos de i) *tiempo hasta el despegue*, ii) *intervalos de las partes del impulso mecánico*, iii) *instante de máxima fuerza*, iv) *valor máximo de la fuerza*, v) *gradiente de la fuerza*, vi) *velocidad de despegue*, vii) *valor medio de la fuerza normalizado durante el impulso de aceleración*, viii) *valor de las tres partes del impulso mecánico que se desarrollan (impulso negativo - impulso de "frenaje" - impulso de aceleración)*, ix) *valor medio de la ratio entre el impulso de "frenaje" y x) impulso de aceleración*.

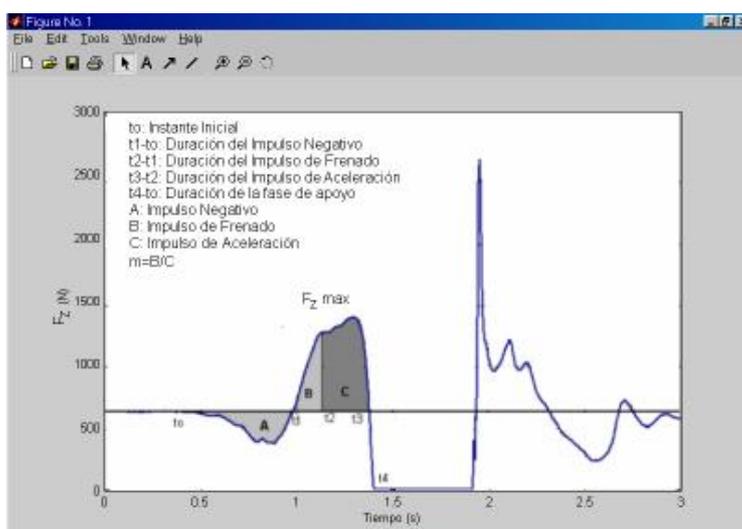


Figura 3. Definición de los parámetros de estudio

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El salto vertical con contra - movimiento, donde tiene lugar un ciclo de estiramiento-acortamiento (strech-shortening cycle), con un inversión inmediata en el movimiento, está presente al inicio, una fuerza inicial positiva (en la posición más baja del centro de gravedad), debido al impulso de "frenaje" que se desarrolla en el movimiento de estiramiento (Figura 1). La presencia de una fuerza inicial al principio del movimiento de extensión capacita para desarrollar un mayor impulso de aceleración, si la ratio entre el impulso de "frenaje" y el impulso de aceleración tiene un valor óptimo entre 0.3 y 0.4, alcanzando la velocidad de despegue valores

máximos. Esta ratio de los impulsos de “frenaje” y de aceleración se han confirmado experimentalmente con datos dinamométricos e implican una transición controlada desde el comienzo del contramovimiento hasta el despegue.

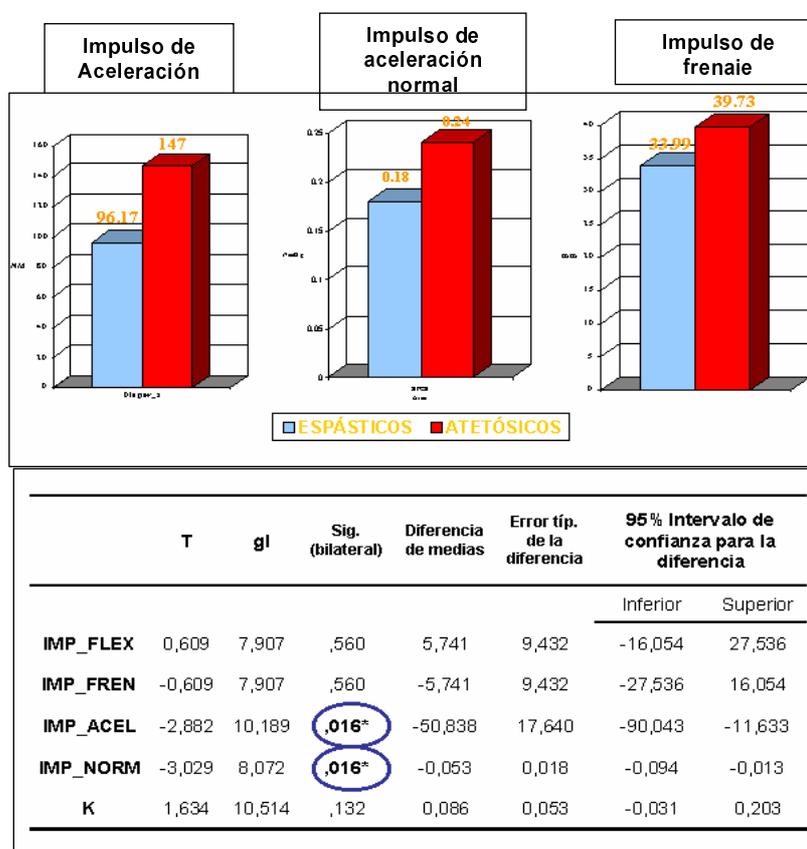
Los resultados obtenidos confirman el principio biomecánico de la “fuerza inicial” a pesar de la variedad de los trastornos y patologías motoras de los sujetos sometidos a estudio, (tetraparesia con ataxia, tetraparesia con atetosis, tetraparesia con espasticidad, diplegia con espasticidad, hemiplegia izquierda y derecha, y finalmente, hemiparesia izquierda y derecha). Este hallazgo es muy interesante dado que actualmente se considera que las personas con este tipo de discapacidad motriz no son capaces de realizar contracciones musculares coordinadas en el tiempo, debido a la pérdida de coordinación, además de que no pueden relajar o contraer los músculos de forma rápida, originándose una co-contracción de los músculos antagonistas.

Tabla 1. Estadísticos de los parámetros medidos. Donde $t_4 - t_0$, $t_1 - t_0$, $t_2 - t_1$, $t_3 - t_2$ es el tiempo total, impulso negativo, impulso de frenado e impulso de aceleración, respectivamente; $t_{max} - t_0$, instante de máxima fuerza; F_{Zmax} , fuerza máxima; A, impulso negativo; B, impulso de frenado; C, impulso de aceleración y $m=B/C$, ratio entre el impulso de frenado y el impulso de aceleración

	Media	Error estándar	Desviación típica	Coefficiente de variación
$(t_4 - t_0)(s)$	0,69	0,048	0,215	0,31
$(t_1 - t_0)(s)$	0,31	0,025	0,111	0,36
$(t_2 - t_1)(s)$	0,15	0,014	0,063	0,43
$(t_3 - t_2)(s)$	0,07	0,013	0,058	0,80
$(t_{max} - t_0)(s)$	0,53	0,047	0,212	0,40
F_{Zmax} (N)	1311,42	94,569	422,924	0,32
Gradiente de la fuerza	3625,46	512,968	2294,063	0,63
Velocidad de despegue (m/s)	1,82	0,096	0,428	0,24
C (N.s)/ peso (N)	4,64	0,230	1,029	0,22
A (N.s)	37,04	3,444	15,401	0,42
B (N.s)	37,04	3,444	15,401	0,42
C (N.s)	106,01	9,656	43,183	0,41
m (B/C)	0,35	0,015	0,067	0,19

Los estadísticos descriptivos (Tabla 1) permiten conocer, por primera vez, el orden de magnitud de los parámetros cinéticos en el salto vertical para parálíticos cerebrales. El coeficiente de variación indica la esperada ausencia de homogeneidad de la muestra para todos los parámetros. De modo que, el coeficiente de variación para el tiempo total asciende a 31%, para el valor del impulso de aceleración normalizado respecto al peso a 22% y para el valor de la ratio entre el impulso de “frenaje” y el impulso de aceleración a 19%. Con respecto a esta ratio, el valor medio hallado de .3535 para los veintitrés con diferentes síntomas de parálisis cerebral, confirma por completo el principio de la fuerza inicial. Los sujetos atetósicos han demostrado un mayor nivel de potencial neuromuscular comparados con los espásticos ($p < .016$) (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados t-test para el salto vertical entre sujetos espásticos y atetósicos



CONCLUSIONES

Este estudio aporta información objetiva y relevante acerca de la dinámica de la fuerza vertical en el salto con contramovimiento realizado por personas afectadas por parálisis cerebral y confirma que se cumple el principio de la fuerza inicial al funcionar la cadena biocinématica de las extremidades inferiores de modo similar que para personas no afectadas por trastornos neurológicos. Concluyendo, los resultados obtenidos sugieren la realización de otros estudios para analizar la coordinación muscular y su relación con la fuerza en movimientos cotidianos y en la bipedestación.

REFERENCIAS

- BERNSTEIN, N.A. (1975). *Bewegungsphysiologie*. J. A. Barth Leipzig.
- BOBBERT, M.F; VAN INGEN SCHENAU, G. (1989). Coordination in vertical Jumping. *Journal of Biomechanics*, 21(3), 249 – 262.
- GAGE, J.R. (1991). *Gait analysis in Cerebral Palsy*. Mac Keith Press.
- HATZE, H. (1998). Validity and Reliability of Methods for Testing Vertical Jumping Performance. *Journal of Applied Biomechanics*, 14, 127 – 140.
- HOCHMUTH, G. (1981). *Biomechanik sportilicher Bewegungen*. Sportverlag, Berlin.
- KRUIMER, A. (1992). *General medical classification in cerebral palsied*. In Proceedings of I Paralympic Congress, Barcelona '92, 508 - 529. Barcelona
- METAYER, M. L. (1992). *Certain Neurophysiology and Biomechanical aspects of Athletes with cerebral palsy*. In Proceedings of I Paralympic Congress, Barcelona '92, 455. Barcelona
- PANDY, M. ET AL. (1990). An optimal control model for maximum-height human jumping. *Journal of Biomechanics*, 23(12), 1185 – 1198.
- RAVN, S. ET AL. (1999). Choise of jumping strategy in two standard jumps, squat and countermovement jump-effect of training background or inherited preference?. *Scan. J. Med Sci. Sports*, 9, 201 – 208.
- RODRIGUEZ BARRIONUEVO, A.C y VIVES SALAS, M.A (2001). Clínica de la parálisis cerebral infantil. *Revista de neurología clínica*; 2(1); 225 – 235.
- ROSENBLOOM, L (1995). Diagnosis and management of cerebral palsy. *Archives of Diseases in Childhood*, 72, 350-354
- VAN INGEN SCHENAU, G. (1989). From rotation to translation: constraints on multi-joint movements and the unique action of bi-articular muscles. *Human Movement Science*, 8, 301 – 337.