



## Ejercicio físico en niños con parálisis cerebral

### *Exercise in children with cerebral palsy*

Cardona, C.<sup>1</sup>, Alcocer, A.<sup>3</sup>, Lerma, S.<sup>2</sup>, Martínez, I.<sup>2</sup>, Pérez Ruiz, M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Europea de Madrid (Madrid, España)

<sup>2</sup> Hospital Universitario Niño Jesús (Madrid, España)

<sup>3</sup> Universidad Autónoma de Yucatán (Mérida, México)

#### **Dirección de contacto:**

Claudia Cardona: [claudiaandrea.cardona@uem.es](mailto:claudiaandrea.cardona@uem.es)

Fecha de recepción: 11 de Abril de 2011

Fecha de aceptación: 22 de Junio 2011

#### **RESUMEN**

La parálisis cerebral (PC) es un término que incluye una serie de desórdenes crónicos no progresivos de la función motora que ocurren en niños como resultado de una lesión cerebral (Bax et al., 2005). La PC no tiene cura actual ni inminente, pero el ejercicio puede mejorar la calidad de vida de estos pacientes (Damiano et al., 1995). Los signos físicos más habituales incluyen un elevado tono muscular y espasticidad. Esto puede incrementar hasta en tres veces más el gasto energético de caminar respecto a los niños sanos (Campbell y Ball, 1978; Unnithan et al., 1996). Su mayor fatiga muscular es la principal causa de que su  $VO_2$  pico sea menor (Unnithan et al., 1998). Se ha sugerido que potencia anaeróbica sería la mejor medida de la capacidad funcional (Bar-Or, 1996). Las diferencias en flexibilidad fueron del 35-40% y superan el 50% en agilidad y estabilidad (Ahlborg et al. 2006, Cardona et al., 2011a). Parece necesario desarrollar mucho los aspectos neuromusculares antes de llegar a influir positivamente, por este orden, en los metabólicos, cardiorespiratorios o mecánicos (Cardona et al., 2011ab). Los programas de ejercicio parecen muy efectivos incluso por cortos períodos de tiempo (Mac Phail et al., 1995). Para resultar exitosos, dichos programas deben contar con una adecuada selección de ejercicios, supervisión y progresión, y centrarse inicialmente en los contenidos de fuerza, estabilidad y flexibilidad, pese a integrarse con trabajos de agilidad y resistencia.

**Palabras clave:** parálisis cerebral, entrenamiento, calidad de vida.

#### **ABSTRACT**

Cerebral Palsy (CP) refers to a series of chronic, non-progressive disorders at the motor function, occurring in children as a result of cerebral injury (Bax et al., 2005). CP has no imminent nor current cure, but exercise can enhance quality of life in these patients (Damiano et al., 1995). Typical signs include increased muscle tone and spasticity. This can

increase energy cost of walking up to three times more than in healthy children (Campbell y Ball 1978; Unnithan et al., 1996). The higher muscle fatigue is the main cause of a lower peak  $VO_2$  (Unnithan et al., 1998). It has been suggested that anaerobic power would be the best measure for functional capacity (Bar-Or, 1996). Differences in flexibility were around 35 to 40% and it was beyond 50% in agility and stability (Ahlborg et al., 2006; Cardona et al., 2011a). It seems necessary to produce a high development of neuromuscular factors before reaching a positive influence, in this particular order, in metabolic, cardiorespiratory o mechanical factors (Cardona et al., 2011ab). Exercise programs seem very effective even for short periods of time (Mac Phail et al., 1995). To be successful, these programs have to select properly the exercises, have a supervision and progression, and focus initially in strength stability and flexibility even if they are integrated with endurance or agility.

**Key words:** cerebral palsy, training, quality of life.

## I. ANTECEDENTES DE LA ENFERMEDAD

### 1.1 Definición y Etiología

La parálisis cerebral (PC) es un término que incluye una serie de desórdenes crónicos no progresivos de la función motora que ocurren en niños como resultado de una lesión cerebral. Se atribuye generalmente a problemas durante el desarrollo fetal del recién nacido, aunque podría ocurrir tanto de forma prenatal como perinatal, incluso hasta los 3 y 5 años de edad, pues sucede durante un período de rápido desarrollo cerebral. La tabla 1 muestra las posibles causas. Su incidencia es de entre 2 y 2,5 casos por cada 1000 nacimientos vivos. En la actualidad no existe un tratamiento etiológico que cure de forma definitiva la enfermedad, por lo que se desarrollan diferentes actitudes terapéuticas (tratamiento farmacológico, tratamiento quirúrgico y tratamiento rehabilitador) que ayudan a los pacientes a alcanzar la mayor autonomía posible, mejorando de forma directa su calidad de vida (Bax et al., 2005).

**Tabla 1. Posibles causas de la PC**

Adaptado de (Pascual, J. et al., 2003; Nelson KB et al. 1999; Reddihough, D.S. et al., 2003).

Prenatales (44%)	Trabajo de parto y parto (19%)	Perinatales (8%)	Niñez (5%)
1º trimestre: teratógenos Síndromes genéticos. Anormalidades cromosómicas 2º a 3º trimestre: Infecciones intrauterinas. Problemas de la función fetal/placentaria.	Pre-eclampsia. Partos distócicos.	Septicemia. Infecciones del S.N.C. Asfisia. Prematuros	Meningitis. Lesión cerebral traumática. Lesión cerebral por inmersión. Tóxicas.

### 1.3 Diagnóstico

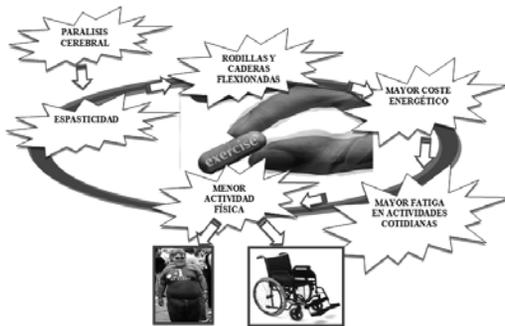
El diagnóstico de la Parálisis Cerebral es clínico. Los signos físicos más habituales incluyen un elevado tono muscular y espasticidad. Además de una pobre coordinación muscular, otras consecuencias pueden ser las contracturas, deformidades óseas, rigidez muscular.

Paradójicamente, poseen también una gran debilidad muscular. Esto comporta una mala coordinación entre agonistas y antagonistas (la llamada “co-contracción”) lo que, conjuntamente con la hipertonia y resto de alteraciones físicas comporta una inadecuada producción de fuerza (Wiley et al., 1998).

La historia natural de la marcha del niño con diplejia espástica es la marcha agachada, caracterizada por una excesiva flexión de rodilla y cadera, que implica debilidad en todos los extensores (Rodda y Graham, 2001). En consecuencia caminan despacio y tienen dificultades para subir o bajar escaleras y correr. Los niños con diplejia espástica pueden llegar a gastar el doble de energía a la misma velocidad que compañeros sanos (Damiano y Abel, 1998).

Estos desórdenes motores de la PC son, a menudo, acompañados de problemas en los sentidos, cognitivos, de comunicación, percepción, y desórdenes en el comportamiento (Bax et al., 2005). Así mismo, parece que la menor movilidad hace que estas personas tengan especial tendencia a la depresión, algo que puede experimentarse ya sea por la propia severidad de la patología o conforme pasan los años (Kokkonen et al., 1998). Con los años de inactividad, las personas con PC están abocadas a sufrir los riesgos del sedentarismo como es el síndrome metabólico o poner en riesgo su independencia (Longmuir y Bar-Or, 2000). En resumen, aunque la PC no tiene cura actual ni inminente, el ejercicio puede mejorar la calidad de vida de

estos pacientes (Damiano et al., 1995). La figura 1 sintetiza los signos de la enfermedad y el papel potencial del ejercicio físico.



**Figura 1. Potencial del Ejercicio sobre los signos de la PC**

#### 1.4 Clasificación

La forma más habitual de PC es la espástica, que suele englobar entre 2/3 y 3/4 de los niños con PC. Son habitualmente lesiones a nivel piramidal, clasificándose de forma inicial en función del trastorno motor predominante y de la extensión de la afectación.

Para paliar la necesidad de un sistema estandarizado de medición de la severidad de la discapacidad respecto al movimiento, se han desarrollado clasificaciones de la función motriz. La más utilizada es la de Palisano y colaboradores (1997), conocida como Gross Motor Function Classification System (GMFCS) (figura 2). La escala original describe, por franjas de edad hasta los 12 años, 5 niveles de función motriz (I a V), siendo el nivel I el de mayor autonomía. Esta escala ha tenido gran uso durante años posteriores, siendo descritos su impacto y evidencias de sus propiedades de medida. Recientemente ha sido revisada en una versión del 2008 publicada en *Developmental Medicine & Child Neurology* por Palisano et al., donde amplía una franja de edad hasta los 18 años. La mayoría de estudios en relación al ejercicio se realizan con niños en los niveles I y II.

<b>Tipo I</b>		<b>GRANDE Nivel I:</b> El niño puede caminar sin asistencia, preferiblemente sobre superficies irregulares. Puede subir y bajar escaleras sin asistencia. Puede jugar al fútbol, al tenis y al tenis de mesa.
<b>Tipo II</b>		<b>GRANDE Nivel II:</b> El niño puede caminar con un bastón, con o sin asistencia. Puede subir y bajar escaleras con un bastón. Puede jugar al fútbol, al tenis y al tenis de mesa.
<b>Tipo III</b>		<b>GRANDE Nivel III:</b> El niño puede caminar con un bastón y asistencia sobre superficies irregulares. Puede subir y bajar escaleras con un bastón y asistencia. Puede jugar al fútbol, al tenis y al tenis de mesa.
<b>Tipo IV</b>		<b>GRANDE Nivel IV:</b> El niño puede caminar con un bastón y asistencia sobre superficies irregulares. Puede subir y bajar escaleras con un bastón y asistencia. Puede jugar al fútbol, al tenis y al tenis de mesa.
<b>Tipo V</b>		<b>GRANDE Nivel V:</b> El niño puede caminar con un bastón y asistencia sobre superficies irregulares. Puede subir y bajar escaleras con un bastón y asistencia. Puede jugar al fútbol, al tenis y al tenis de mesa.

**Figura 2. Sistema de clasificación de la función motora global (GMFCS).**

## 2. EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN FÍSICA EN NIÑOS CON PC

### 2.1 Resistencia Aeróbica y Anaeróbica

#### 2.1.1 Capacidad Funcional

Se reconoce que los niños con PC tienen menor  $VO_2$  max que los niños sanos (Hoofwijk et al., 1995). Ciertamente es que en niños con PC no podemos hablar de  $VO_2$  max, siempre serán pruebas pico, pues no alcanzan criterios de maximalidad (Unnithan et al., 1998). Puede que el  $VO_2$  pico no sea el limitante principal en su capacidad para realizar acciones de la vida diaria, por lo que se debería considerar como una variable más dentro de un conjunto de tests (Unnithan et al., 1998).

El menor  $VO_2$  pico puede ser debido a su peor eficiencia ventilatoria, pues muestran elevados equivalentes de oxígeno. La causa podría ser la espasticidad de los músculos respiratorios (Hoofwijk et al., 1995).

También se ha indicado que la fatiga muscular local puede explicar la finalización prematura del esfuerzo en las pruebas de valoración funcional, y con ello el bajo nivel de  $VO_2$  pico de los niños con PC. Las posibles explicaciones son de una parte el menor retorno venoso que conllevaría un menor volumen sistólico que condiciona un descenso del gasto cardiaco y además un sistema muscular que utiliza menos oxígeno como fuente energética a favor de la utilización de fuentes energéticas anaeróbicas junto a un alto tono muscular, y por otra parte los altos niveles de co-contracción que llevarían también a una pronta fatiga muscular (Unnithan et al., 1998).

Tobimatsu y colaboradores (1998) compararon adultos sanos y adultos con PC en tests máximos en ergómetro de brazos, así como sujetos con PC que caminan con otros en silla de ruedas. La conclusión fue que la capacidad funcional de los sujetos con PC no era diferente de la de los sujetos sanos, únicamente que los sujetos con PC se detienen antes en una prueba de esfuerzo por fatiga muscular, generando menos potencia.

En un estudio reciente, las mismas observaciones hemos realizado en un grupo de 40 niños con PC respecto a 40 niños sanos, hallando una diferencia de  $VO_2$  pico del 28%, consistente con la literatura previa (Cardona et al., 2011a).

Por todo ello parece que el  $VO_2$  pico en sí no es el factor más limitante de la capacidad de los niños con PC para ejercitarse en las actividades de la vida diaria (Maltais et al., 2005).

#### 2.1.2 Coste Energético de la Marcha

Una variable de especial interés es el coste energético de las actividades submáximas, como por ejemplo caminar. Las anomalías en la locomoción incre-

mentan tres veces más el gasto energético de caminar respecto a los niños sanos (Unnithan et al., 1998). Los mecanismos que se han argumentado para explicar el mayor coste energético en estos niños son tanto los movimientos involuntarios de las extremidades como la co-contracción de los músculos implicados en la marcha (Unnithan et al., 1998), o también la menor frecuencia cardíaca máxima (Van den Berg-Emons et al., 1996). Para una locomoción estable hace falta cierta co-contracción sobretodo en musculatura del tobillo y la rodilla, pero un exceso de ésta, eleva el coste energético (Unnithan et al., 1998).

Con posterioridad se ha indicado que las diferencias en potencia mecánica explican la mayor parte de la variabilidad de  $O_2$  en niños con PC en pruebas submáximas (Unnithan et al., 1999).

Para medir el coste energético de la marcha en niños con PC se han usado los cálculos indicados en la tabla 2.

**Tabla 2. Cálculo del coste energético de la marcha en niños con PC**

(Rose et al., 1989 ; Lusk 1928; Suzuki et al., 2001)

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Gross <math>VO_2</math> (ml/kg/m):</b> (<math>VO_2</math> (ml/kg/min) / velocidad caminar (m/min))</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b><math>VO_2</math> neto (ml/kg/m):</b> (<math>VO_2</math> caminar – <math>VO_2</math> reposo) (ml/kg/min) / velocidad caminar (m/min)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Índice de coste energético (<math>EEl_{HR}</math>) (pp / metro)*:</b> (FC caminar – FC reposo) (ppm) / velocidad caminar (m/min)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>El gasto energético (EE) <math>VO_2</math> (L) × (3,815 + 1,232 × RER)**</b> Para convertirlo de calorías a kilojoules (kJ), se multiplica por 4,186.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Eficiencia Energética de Caminar (WEE) (m/ pp)***:</b> velocidad caminar (m/min) / (FC caminar – FC reposo) (ppm) (es la inversa del <math>EEl_{HR}</math>)</li> </ul>

Con intención de evaluar la utilidad de la frecuencia cardíaca (FC) y el llamado Índice de Coste Energético de Rose y colaboradores (1989), Keefer y colaboradores (2004) estudiaron en niños con PC el coste energético. Observando un patrón discordante entre el  $VO_2$  neto y el  $EEl_{HR}$ , por lo que parece que debería tenerse cautela para estimar el coste energético a partir de este dato de la FC (Keefer et al., 2004), por lo que sería recomendable el uso de analizadores de gases y especialmente de  $VO_2$  para valorar el coste energético. Sin embargo un último estudio realizado en la India con un alto número de población y donde los medios tecnológicos escasean (tomaron el pulso manualmente) muestra una alta fiabilidad del método de la frecuencia cardíaca (Raja et al., 2007).

Para algunos grados de GMFCS, puede resultar imposible mantener una FC constante ante una carga de trabajo como caminar, por muy baja que sea la intensidad de dicho esfuerzo (Suzuki et al., 2001). Además, la FC es un indicador sencillo, y puede ser fiable pero no válido para medir, aunque sea indirectamente, el coste energético absoluto.

### 2.1.3 Resistencia Anaeróbica

Como se ha indicado, tanto en el coste energético como en la capacidad funcional existe una limitación multifactorial pero especialmente relacionada con factores periféricos neuromusculares. Así mismo se ha indicado que las diferencias en potencia mecánica explican la mayor parte de la variabilidad de  $O_2$  en niños con PC en pruebas submáximas (Unnithan et al., 1999).

Por ello, en niños con enfermedades del desarrollo neural, hay quien ha señalado que la potencia anaeróbica es considerada la mejor medida de la capacidad funcional (Bar-Or, 1996).

En cuanto a pruebas de resistencia anaeróbica, se realizan habitualmente pruebas de ida y vuelta en recorridos cortos. Un tipo de medición indirecta de la resistencia anaeróbica en pacientes con PC es el *Muscle Power Sprint Test*. Los sujetos son instruidos para completar 6 veces 15m a máxima velocidad con una pausa de 10 seg. En cada sprint se calculan los vatios. Tanto este test como su adaptación al tapiz rodante se han mostrado reproducibles para niños con PC (Verschuren et al., 2007b).

Nuestras observaciones entre niños con PC y sanos son que, tomadas en su conjunto, las diferencias metabólicas (coste energético y resistencia anaeróbica), son mucho mayores que las diferencias en umbrales fisiológicos,  $VO_2$  pico o potencia aeróbica pico (figura 3) (Cardona et al., 2011a).

## 2.2 Fuerza

Como se indicó anteriormente, los niños con PC se caracterizan por una gran debilidad muscular (Wiley et al., 1998), siendo la fuerza muscular del tren inferior muy baja para la actividad motora que tienen que desarrollar (MacPhail et al., 1995).

Las mediciones habituales en la fuerza han sido tests concéntricos de extensión o flexión de rodilla (Damiano et al., 1995; Healy, 1958; Morton et al., 2005), la dorsiflexión del tobillo (Dodd et al., 2003; Toner et al., 1998), tests isocinéticos de flexión o extensión de rodilla (MacPhail et al., 1995), tests isométricos de flexión de tronco, extensión de rodilla, extensión de cadera y abductores (Darrach et al., 1999), el test de sentarse-levantarse (*sit-to-stand*) con sobrecargas en un chaleco lastrado (Blundell et al., 2003; Liao et al.,

2007; Mc Burney et al., 2003), y el dinamómetro de mano (Rintala et al., 1998). Las diferencias que hemos observado con niños sanos en fuerza y potencia se aproximan al 60% (Cardona et al., 2011a), siendo difícil comparar entre estudios por la heterogeneidad de procedimientos utilizados.

### 2.3 Flexibilidad

Como se indicó anteriormente, entre los signos físicos más habituales se incluye un elevado tono muscular y espasticidad. Las dificultades para la flexibilidad con esta población se hallan también en su evaluación. Pese a su amplio uso, las escalas de espasticidad y flexibilidad de Ashworth y Tardieu modificadas por Bohannon y Smith 1987 y Gracies y colaboradores 2000, así como las medidas de rango de movimiento (ROM) pasivo, deben usarse con cautela para la evaluación en niños con PC, por su escasa reproductibilidad (Fosang et al., 2003). Estos investigadores recomiendan que el test de Ashworth lo realice un mismo evaluador para un determinado paciente, así evitamos errores de medición lo mismo ocurre para los test de Tardieu o ROM que precisan cierta experiencia para su correcta medición.

La evaluación de la flexibilidad se ha realizado con tests como el Sit & Reach o la flexión profunda por debajo de las piernas (Darrah et al., 1999; Mc Burney et al., 2003), y la flexión pasiva de flexores y extensores de rodilla (Morton et al., 2005). Las diferencias que hemos observado con niños sanos en ambos tipos de tests fueron del 35-40% (Cardona et al., 2011a).

### 2.4. Velocidad, Agilidad, y Capacidades Coordinativas

Se han realizado tests de velocidad y agilidad como el desplazamiento sobre 10 metros (Begnoche y Pitetti, 2007; Provost et al., 2007), 10x5 metros (Verschuren et al., 2007), el Time Up & Go (Ahlborg et al., 2006) o subir escaleras (Mc Burney et al., 2003). Las diferencias superan el 50% (Ahlborg et al., 2006, Cardona et al., 2011a).

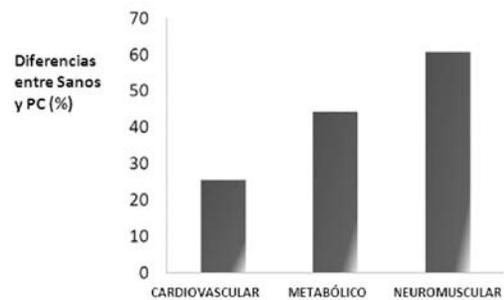
Las capacidades coordinativas se han evaluado de forma cualitativa (Begnoche y Pitetti, 2007; Bonnier et al., 2006; Rintala et al., 1998; Schallow et al., 2005; Toner et al., 1998).

La figura 3 sintetiza las diferencias metabólicas, cardiorespiratorias y neuromusculares entre niños sanos y niños con PC.

## 3. PROGRAMAS DE ENTRENAMIENTO EN NIÑOS CON PC

### 3.1 Entrenamiento de Resistencia

Parece que los niños con PC, conforme están más



**Figura 3. Diferencias cardiorespiratorias, metabólicas y neuromusculares entre niños sanos y niños con PC (Cardona et al 2011a)**

acondicionados aeróbicamente, mejor se desenvuelven en las habilidades funcionales (Kramer y MacPhail, 1994).

Sorprende entonces que se hayan realizado pocos estudios de entrenamiento aeróbico. Más sorprendente aún es que éstos apenas hayan controlado el resto de variables dependientes de tipo fisiológico, realizándose a menudo mediciones indirectas (índices de frecuencia cardíaca) o puramente de rendimiento (tiempo en un recorrido) (Schlough et al., 2005).

Apenas 2 ensayos clínicos se han publicado con diseños controlados randomizados. Sin embargo, éstos muestran una gran entrenabilidad de las variables fisiológicas analizadas, con mejoras alrededor del 20-38% en la capacidad aeróbica (Van den Berg-Emons et al., 1998; Verschuren et al., 2007a). En contraste a estas mejoras, tras un entrenamiento de 2 años, otro estudio tan solo halló un 8% de mejora en el  $VO_2$  pico (en ejercicio de pedaleo de brazos), sin encontrar mejora alguna en la economía de la marcha (Bar-Or et al., 1976).

En cuanto a los efectos crónicos del ejercicio de resistencia, la revisión sistemática de 2008 indicó mejoras en 3 de los 5 estudios seleccionados (sólo uno fue randomizado controlado). En los 4 estudios seleccionados sobre entrenamiento combinado de fuerza y resistencia aeróbica, ningún estudio halló mejoras en ambas cualidades (Verschuren et al., 2008). En los últimos años sólo hemos encontrado otro estudio randomizado controlado sobre entrenamiento combinado, el citado estudio de Verschuren et al., (2007b), que sí ha hallado mejoras en ambas cualidades, además de beneficios funcionales.

En el entrenamiento de resistencia habitualmente se han entrenado las piernas, a excepción del uso del ergómetro de brazos y piernas (Air-Dyne o Schwinn Air-Dyne) o ergómetro de manivela (Arm Crank). Éste último ha mostrado peor o nula efectividad en diversos

trabajos donde se compara con el ejercicio de piernas (Bar-Or et al., 1976; Shinoara et al., 2003) o de piernas y brazos simultáneo (Fernández et al., 1993).

Aparte del ergómetro de manivela, los modos de ejercicio han sido tanto el caminar como el correr, bicicleta estática, elíptica, actividades coordinativas, y natación u otros ejercicios en medio acuático. Aunque apenas existen 3 trabajos publicados en el medio acuático (siendo dos de ellos casos de estudio de 1 sujeto y otro estudio que no fue un estudio randomizado controlado), este medio ofrece posibilidades interesantes para los niños con PC, como complemento a otros tipos de ejercicio. Entre estas ventajas destacan la flotación, la resistencia ofrecida por el agua para poder desarrollar la fuerza en todo tipo de movimientos, y la posibilidad de regular el impacto y soporte del peso corporal según la profundidad. Obviamente pueden existir limitaciones propias del acceso a las piscinas, así como la dificultad de lograr alta intensidad según la destreza y medios de entrenamiento (Kelly y Darrah, 2005).

Pero quizá el mayor problema en general, en los modos de ejercicio de resistencia, es que por el momento el efecto cruzado del entrenamiento en general en PC no está claro, al menos en adultos con PC (Fernández et al., 1993).

Por todo ello, hasta ahora, parece que caminar tiene más posibilidades de resultar efectivo, incluso cuando se realiza de forma adaptada, por ser el ejercicio específico de la vida cotidiana al que se deben orientar las mejoras (Chemg et al., 2007).

Las intervenciones han tenido duraciones desde 6 semanas a 16 meses, con frecuencias semanales de 2-4 días, volúmenes por sesión de 20-45', e intensidades entre 40% y 85%, estimadas de la FC máxima o VO2 pico (Schlouhg et al., 2005). Sólo un estudio ha individualizado la intensidad del ejercicio utilizando como prescriptor la FC al umbral anaeróbico (según metodología de la V-Slope) (Shinoara et al., 2003).

Parece que el mantenimiento de moderadas y altas intensidades durante cierto tiempo es necesario para provocar mejoras en la función cardiorrespiratoria en estos niños (Darrah et al., 1999).

### 3.2 Entrenamiento de Fuerza

Tal y como se ha indicado anteriormente, y a diferencia de otras patologías en las que habitualmente las primeras intervenciones se hicieron únicamente con entrenamiento de resistencia (Pedersen y Saltin, 2006), en la PC la fuerza estuvo presente desde mediados del s.XX en las primeras intervenciones con ejercicio realizadas en esta población (Healy, 1958; Verschuren et al., 2008).

Hoy día existen evidencias, soportadas por revisiones sistemáticas, de que el ejercicio de fuerza progresi-

vo puede incrementar la habilidad para generar fuerza en los niños con PC (Scholtes et al., 2010; Verschuren et al., 2008).

Varios estudios han usado el entrenamiento de fuerza para intentar reducir el coste energético en la locomoción de los niños con PC. Hay un artículo que analiza las adaptaciones de musculo normal al entrenamiento y como la tipología muscular cambia hacia una fibra más eficiente desde el punto de vista energético. Este tipo de estudios están limitados por la metodología de medida utilizada (Unithan et al., 2007)

En el entrenamiento de fuerza las respuestas no han sido especialmente evaluadas, pero sí se tienen datos de las adaptaciones logradas.

El entrenamiento con vibraciones puede ser una interesante vía de estudio en esta población, a tenor de las respuestas halladas en sujetos sanos en fuerza y flexibilidad (Marín, 2008). Un estudio reciente de nuestro grupo de investigación ha hallado mejoras significativas en el grupo que entrenó con vibraciones respecto a otro grupo que realizó los mismos ejercicios en el suelo (Cardona et al., 2011b).

Es importante indicar que no se han descrito efectos negativos en la espasticidad o movimientos anormales por hiperreflexia (Verschuren et al., 2008), aunque tampoco se han observado mejoras en la clasificación motriz (Scholtes et al., 2010).

Las adaptaciones al entrenamiento de fuerza pueden beneficiar a la cinemática de la marcha por la mejora conseguida en la longitud de paso (Blundell et al., 2003). Un trabajo de Morton y colaboradores (2005), mostró que el entrenamiento de fuerza aplicado durante tanto tiempo mejoraba principalmente la frecuencia de paso. Parece que otros factores además de la ganancia de fuerza están afectado a esta variable, entre estos factores destacamos las dimensiones corporales.

Como conclusión, parece que los trabajos que proponen desarrollar la fuerza en los niños con PC encuentran mejoras de la misma y dichas mejoras repercuten positivamente en actividades de la vida diaria, observando una mejora en la cinemática de la marcha, aunque no lleguen a mejorar su GMFCS (Scholtes et al., 2010).

En el entrenamiento de fuerza el objetivo principal ha sido el tren inferior, y en algunos estudios también se ha entrenado la musculatura del tronco. Se hace especial hincapié en los extensores de cadera, rodilla y tobillo (Verschuren et al., 2008). En particular, el refuerzo de los cuádriceps parece clave (Ahlborg et al., 2006).

Los medios de entrenamiento utilizados han sido tanto las máquinas sencillas o isocinéticas como los ejercicios con autocarga, ligeras sobrecargas añadidas a una extremidad (tobilera lastrada), o a todo el peso

corporal (como chalecos lastrados). Sólo un estudio ha sido publicado utilizando plataformas de vibración en PC (de movimiento vertical, NEMES-LSC Hengelo, Ned), siendo adultos los sujetos participantes de dicho estudio (Ahlborg et al., 2006). También se ha usado en niños, mostrando resultados superiores a los mismos ejercicios sin vibraciones (Cardona et al., 2011b).

En cuanto a las dosis de ejercicio de fuerza, se observan intervenciones de 6 a 8 semanas habitualmente (el estudio de 9 meses de Patikas y colaboradores es una notable excepción). La frecuencia es muy constante en los estudios considerando la necesidad de al menos 3 días a la semana, las series por ejercicio de 3 a 4, y las repeticiones de 5 a 12 (Verschuren et al., 2008).

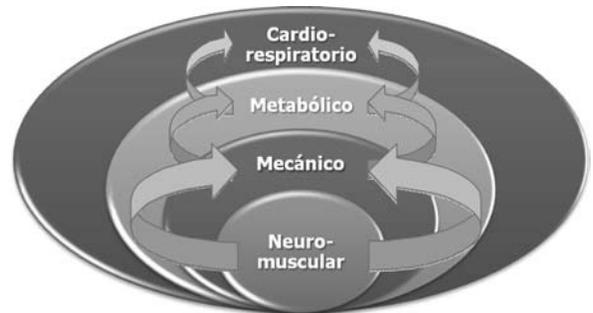
La intensidad del esfuerzo no siempre ha sido descrita con precisión. En algunos casos se refiere en forma de % de un máximo (habitualmente la estimación de 1 RM desde cargas submáximas) (Damiano et al., 1998; Mc Phail et al., 1995; Morton et al., 2005), indicándose en algunos la llegada al fallo muscular de forma explícita (Mc Phail et al., 1995). Destaca el uso de sobrecargas elevadas (80 y 90%) en un par de estudios (Mc Phail et al., 1995). Sólo un estudio se describe la velocidad o ritmo de ejecución en las fases concéntrica y/o excéntrica (Patikas et al., 2006), si bien no era un estudio donde hubiera supervisión directa de los investigadores, sino de los padres.

La organización del entrenamiento es habitualmente en circuito. Cabe destacar que en el trabajo de Unger y colaboradores (2006) se especifica que de un total de 28 ejercicios se seleccionaban entre 8 y 12 de forma individualizada para cada niño, de acuerdo a sus características motrices limitadas. Esta aproximación, pese a que tiene claras limitaciones para el rigor investigador, es muy interesante en la aplicación práctica y la posibilidad de hallar mejoras transferibles a otras cualidades, como especialmente el descenso del coste energético.

De hecho, las limitaciones de estos niños son muy variadas en cuanto a qué músculos están más afectados y en qué grado. Afortunadamente, pese a la debilidad y espasticidad de algunos músculos en particular, parece que todos los músculos pueden mejorar su fuerza si se seleccionan los ejercicios adecuados (Engsberg et al., 2006).

Algunos trabajos que no han hallado mejoras en las funciones motrices o en el coste energético pese a encontrar mejoras en fuerza argumentan como causa más probable la poca variedad de ejercicios o la poca especificidad de los mismos (Ahlborg et al., 2006; Mac Phail et al., 1995) otros han hallado mejoras pero sugieren que los resultados encontrados reflejan la especificidad de los ejercicios, de limitada transferencia (Dodd y Graham 2003). A tenor de nuestros resultados, las

mejoras en el coste energético parecen supeditadas al logro de unos niveles de fuerza y potencia mayores, a partir de los cuales se empiezan a ver modificaciones mecánicas, y todo ello permitiría influir, en última instancia, en variables como el  $VO_2$  pico (figura 4).



**Figura 4. Jerarquía de los sistemas en relación al entrenamiento físico en niños con PC (Cardona et al., 2011c)**

### 3.3 Entrenamiento Combinado de Fuerza y Resistencia Aeróbica

Probablemente por su estrecha relación en las limitaciones al esfuerzo de estos niños, desde hace años se indica que lo más interesante es el entrenamiento combinado de fuerza y resistencia (Hutzler et al., 1998; Verschuren et al., 2008).

Las intervenciones que se han realizado en esta línea han tenido duraciones desde 4 a 10-15 semanas (alguna de 6 meses, como Hutzler et al., 1998), con frecuencias semanales de 2-3 días y duraciones por sesión de 30-60' (Blundell et al., 2003; Darrah et al., 1999; Rintala et al., 1988).

Este tipo de entrenamiento combinado (conocido como "entrenamiento concurrente" en el entrenamiento deportivo), se muestra como una opción muy interesante en mayores, personas con fibromialgia y personas sanas jóvenes poco acondicionadas, pues permite incluso algunas mejoras superiores a las logradas por la suma de cada cualidad por separado, especialmente mejoras funcionales (Sillanpää et al., 2008; Valkeinen et al., 2008).

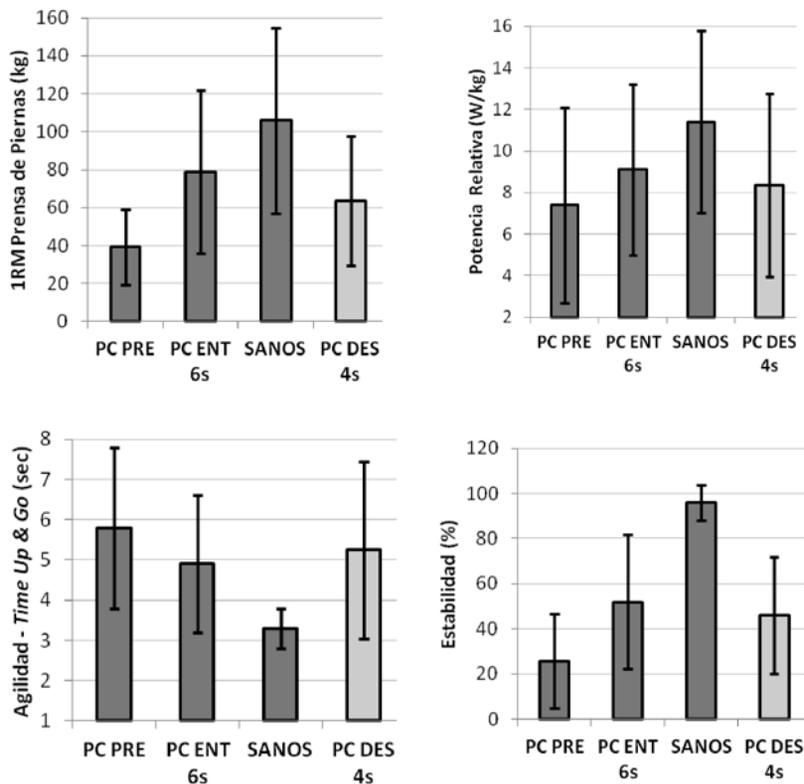
Posiblemente el estudio de entrenamiento más completo publicado hasta la fecha sea el de Verschuren y colaboradores (2007a). De 86 niños y jóvenes con PC seleccionados inicialmente, finalizaron el estudio 32 en el grupo experimental y 33 en el grupo control. Se les entrenó en sus centros educativos durante 8 meses con una frecuencia semanal de 2 días por semana, en sesiones de 45' donde los contenidos mezclaban ejercicio de fuerza con ejercicio anaeróbico de agilidad y

aeróbico, a modo de circuito, siendo todos ejercicios con tareas orientadas a la especificidad, tales como cambios de dirección en carrera, subir un escalón, subir y bajar escaleras, o salvar obstáculos. Los autores hallaron mejoras en todas las variables físicas entrenadas, así como en el GMFM en la dimensión de estar de pie, y diversas variables como la percepción de calidad de vida, competencia motriz y autonomía.

Las actividades cotidianas de los niños tienen componentes aeróbicos, anaeróbicos y precisan fuerza mus-

### 3.4 Flexibilidad

La flexibilidad es otra cualidad limitante en estos niños, que lógicamente debe ayudarles a combatir la espasticidad y las cualidades coordinativas, si bien sorprende la escasa atención, más allá de su evaluación, en los diversos estudios de entrenamiento. Esto puede ser debido a que se haya considerado elemento propio de las terapias de los fisioterapeutas o bien que exista riesgo de incrementar la exagerada respuesta del reflejo miotático en los pacientes espásticos. Pero el



**Figura 5. Efectos de 6 semanas de entrenamiento y 4 semanas de desentrenamiento en niños con PC (Cardona C, datos sin publicar).**

Leyenda: PC PRE: Datos Pre-Entrenamiento, PC ENT 6s: datos a las 6 semanas de entrenamiento, SANOS: Nivel de los niños control Sanos, PC DES: Nivel de los niños con PC a las 4 semanas de no realizar el entrenamiento

cular. Probablemente los estudios donde se combinen estos tres tipos de entrenamiento pueden ser los más apropiados para la mejora de la actividad de la vida diaria en estos niños con PC (Verschuren et al., 2008). Nuestro trabajo reciente ha mostrado que esas diferencias con los niños sanos, tras un programa integrado de fuerza, agilidad, flexibilidad y estabilidad acortaba las diferencias tras 6 semanas y permitía mantener buena parte de las mejoras durante al menos las siguientes 4 semanas de desentrenamiento (figura 5) (datos sin publicar).

rango de movimiento pasivo se ha visto incrementado en vez de disminuido en sujetos con PC (Healy, 1958; Horvat, 1987). Ciertamente es que el primero es un caso de estudio y el segundo un trabajo con 5 sujetos y el más antiguo de los estudios realizados con PC.

No existe por tanto ningún trabajo controlado randomizado sobre efectos del ejercicio en general o de entrenamiento en particular sobre la flexibilidad. Sólo un estudio hace referencia a una menor resistencia al estiramiento con el entrenamiento (Morton et al., 2005).

En el estudio de entrenamiento de fuerza con plataformas de vibración de Ahlborg y colaboradores (2006) encontraron disminuciones de la espasticidad de los músculos agonistas en el grupo de entrenamiento con vibraciones. No se realizaron, sin embargo, tests de flexibilidad. En nuestro estudio hallamos mejoras significativas en el Sit & Reach entre el pre- y el desentrenamiento a favor del grupo que entrenaba con vibraciones (Cardona et al., 2011b).

### 3.5 Agilidad y Capacidades Coordinativas

Dadas las dificultades de los niños con PC para cambiar de posición con rapidez, el entrenamiento de agilidad parece especialmente interesante (Verschuren et al., 2007a). Y ya se indicó que en niños con enfermedades del desarrollo neural la potencia anaeróbica es considerada la mejor medida de la capacidad funcional (Bar-Or, 1996). Sin embargo, no hay estudios que se hayan centrado en estas cualidades, a lo sumo, en el desarrollo de las habilidades coordinativas. Pero tanto en los resultados obtenidos por el entrenamiento de resistencia como especialmente en los estudios de entrenamiento de fuerza, se ha hecho hincapié en la necesidad de la selección de ejercicios que tengan mejor transferencia a las actividades de la vida cotidiana.

Una esperanzadora terapia es la que propone el Prof Schalow, conocida como "Terapia de las dinámicas de la coordinación" (Coordination Dynamics Therapy). Esta terapia tiene por objetivo restablecer la estimulación de las motoneuronas a través del aprendizaje. Se realiza desarrollando coordinaciones basadas en los giros, cuadrupedias, ponerse de pie, caminar, saltar, correr y subir escaleras, así como otros movimientos en un equipamiento especial, con registros de EMG de superficie (Schalow et al., 2005).

Otra metodología que ha resultado exitosa, aunque sólo se ha hecho en el miembro superior, ha sido la de restricción del uso de la extremidad no afectada por la PC. Esta terapia tiene sus orígenes en 1950 por Taub, e inicialmente experimentada en monos (Taub, 1977). El axioma de base es muy sencillo: "aprendes aquello que practicas". Cabe destacar el trabajo de Bonnier y colaboradores (2006) en adolescentes con PC, donde se lograron mejoras significativas en numerosas actividades funcionales tras un estudio de 2 semanas de duración, 5 días por semana, 7 horas al día. Más interesante aún es que el estudio incluyó la medición de seguimiento a los 5 meses, manteniéndose dichas adaptaciones. Es muy importante indicar que en este estudio no se realizó una restricción completa sino temporal, progresiva y con un guante rígido que permitía usar la mano sana pero no agarrar. (Bonnier et al., 2006).

## 4. PERSPECTIVAS FUTURAS

Parece existir una jerarquía entre los sistemas por la cual es preciso desarrollar mucho los aspectos neuromusculares antes de llegar a influir positivamente, por este orden, en los metabólicos, cardiorespiratorios o mecánicos (Cardona et al., 2011a). Con esta perspectiva, el entrenamiento de fuerza y estabilidad parecen absolutamente claves para las mejoras funcionales en esta patología. No parece que los mecanismos de desarrollo de estas cualidades sean distintos a los de niños sanos (Mac Phail et al., 1995), simplemente más prioritarios, al igual que ocurre en la población infantil en general, en los que otros autores denominan "primal strength" y "entrenamiento neuromuscular integrador" (Myer et al., 2011).

Los próximos años deberán aportar estudios donde se integren las cualidades físicas y se desarrollen programas mucho más sistemáticos.

Parece que se lograrán mayores efectos siempre que un programa cumpla con una serie de características: En primer lugar que sea seguro, y para ello se requiere de un trabajo interdisciplinar con médicos y fisioterapeutas. Debe ser atractivo, divertido para los niños, y en el que los padres se comprometan a la asistencia. Debe diseñarse con cautela, atendiendo a criterios de selección de ejercicios adecuados, medios de entrenamiento adecuados, y progresión. La supervisión parece clave para obtener beneficios, incluso en cortos períodos de tiempo, y los licenciados en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte deberían jugar un papel protagonista.

Todo ello parece que aproxima los niveles de condición física de los niños con PC a los de los niños sanos. Parece que el entrenamiento de fuerza y flexibilidad variado, que incluya el uso de plataformas de vibración, puede permitir mayores mejoras o mejor mantenimiento de las mismas (Cardona et al., 2011b), y que incluso cortos períodos de entrenamiento a lo largo del año pueden ser muy beneficiosos para mejorar o mantener los niveles de condición física y, por ende, de calidad de vida (Mac Phail et al., 1995).

## 5. CONCLUSIONES

El ejercicio es un complemento crucial al tratamiento de la PC, mejorando la calidad de vida y previniendo los efectos del desacondicionamiento. Incluso cortos períodos de entrenamiento pueden afectar positivamente para el mantenimiento de las mejoras. El desarrollo de la fuerza y el desarrollo de las habilidades motrices básicas deben ser el objetivo inicial, antes de obtener mejoras metabólicas o cardiovasculares posteriores.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Ahlborg, L., Andersson, C., Julin, P. (2006). Whole-body vibration training compared with resistance training: effect on spasticity, muscle strength and motor performance in adults with cerebral palsy. *J Rehabil Med*, 38, 302-308.
- Bar-Or, O., Inbar, O., Spira, R. (1976). Physiological effects of a sports rehabilitation program on cerebral palsied and post-poliomyelitic adolescents. *Med Sci Sports*, 8, 157-161.
- Bar-Or, O. (1996). Role of exercise in the assessment and management of neuromuscular disease in children. *Med Sci Sports Exerc*, 28, 421-427.
- Bax, M., Goldstein, M., Rosenbaum, P. et al. (2005) Proposed definitions and classification of cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*, 47, 571-576.
- Begnoche, D.M., Pitetti, K.H. (2007). Effects of traditional treatment and partial body weight treadmill training on the motor skills of children with spastic cerebral palsy. *Pediatr Phys Ther*, 19, 11-19.
- Blundell, S.W., Shepherd, R.B., Dean, C.M., Adams, R.D., Cahill, B.M. (2003). Functional strength training in cerebral palsy: a pilot study of a group circuit training class for children aged 4-8 years. *Clin Rehabil*, 17, 48-57.
- Cardona, C., Alcocer, A., Lerma, S., Pérez, M., Martínez-Caballero, I., Faigenbaum, A.D., Esteve-Lanao, J. (2011a). Metabolic, Cardiorespiratory, and Neuromuscular Fitness Performance in Children and Adolescents with Cerebral Palsy: A Comparison with Healthy Youth (en proceso).
- Cardona, C., Alcocer, A., Lerma, S., Pérez, M., Martínez-Caballero, I., Faigenbaum, A.D., Esteve-Lanao, J. (2011b). Vibration Training enhances strength and flexibility in Cerebral Palsy Children: a randomized controlled trial (en proceso).
- Cheng, R.J., Liu, C.F., Lau, T.W., Hong, R.B. (2007). Effect of treadmill training with body weight support on gait and gross motor function in children with spastic cerebral palsy. *Am J Phys Med Rehabil*, 86, 548-555.
- Damiano, D.L., Abel, M.F. (1998). Functional outcomes of strength training in spastic cerebral palsy. *Arch Phys Med Rehabil*, 79, 119-125.
- Damiano, D.L., Kelly, L.E., Vaughn, C.L. (1995). Effects of quadriceps femoris muscle strengthening on crouch gait in children with spastic diplegia. *Phys Ther*, 75, 658-667.
- Darrah, J., Wessel, J., Nearinburg, P., O'Connor, M. (1999). Evaluation of a community fitness program for adolescents with cerebral palsy. *Ped Phys Ther*, 11, 18-23.
- Dodd, K.J., Taylor, N.F., Damiano, D.L. (2002). A systematic review of the effectiveness of strength-training programs for people with cerebral palsy. *Arch Phys Med Rehabil*, 83, 1157-1164.
- Engsberg, J.R., Ross, S.A., Collins, D.R. (2006). Increasing Ankle Strength to Improve Gait and Function in Children with Cerebral Palsy: A Pilot Study. *Pediatr Phys Ther*, 18, 266-275.
- Fernandez, J.E., Pitetti, K.H. (1993). Training of ambulatory individuals with cerebral palsy. *Arch Phys Med Rehabil*, 74, 468-472.
- Healy, A. (1958). Two methods of weight training for children with spastic type of cerebral palsy. *Res Q*, 29, 389-395.
- Fosang, A.L., Galea, M.P., McCoy, A.T., Reddihough, D.S., Story, I. (2003). Measures of muscle and joint performance in the lower limb of children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*, 45, 664-670.
- Hoofwijk, M., Unnithan, V., Bar-Or, O. (1995). Maximal treadmill performance of children with cerebral palsy. *Pediatr Exerc Sci*, 7, 305-313.
- Hutzler, Y., Chacham, A., Bergman, U., Szeinberg, A. (1998). Effects of a movement and swimming program on vital capacity and water orientation skills of children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*, 40, 176-181.
- Keefer, D.J., Tseh, W., Caputo, J.L., Apperson, K., McGreal, S., Morgan, D.W. (2004). Comparison of direct and indirect measures of walking energy expenditure in children with hemiplegic cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*, 46, 320-324.

- Kelly, M., Darrach, J. (2005). Aquatic exercise for children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*, 47, 838-842.
- Kokkonen, E.R., Kokkonen, J., Saukkonen, A.L. (1998). Do neurological disorders in childhood pose a risk for mental health in young adulthood? *Dev Med Child Neurol*, 40, 364-368.
- Liao, H.F., Liu, Y.C., Liu, W.Y., Lin, Y.T. (2007). Effectiveness of loaded sit-to-stand resistance exercise for children with mild spastic diplegia: a randomized clinical trial. *Arch Phys Med Rehabil*, 88, 25-31.
- Longmuir, P., Bar-Or, O. (2000). Factors influencing the physical activity levels of youths with physical and sensory disabilities. *Adapt Phys Educ Q*, 17, 40-53.
- MacPhail, H.E., Kramer, J.F. (1995). Effect of isokinetic strength-training on functional ability and walking efficiency in adolescents with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*, 37, 763-775.
- Maltais, D.B., Pierrynowski, M.R., Galea, V.A., Matsuzaka, A., Bar-Or, O. (2005a). Habitual physical activity levels are associated with biomechanical walking economy in children with cerebral palsy. *Am J Phys Med Rehabil*, 84, 36-45.
- Marín, P. (2008). *Efectos Neurofisiológicos y de Rendimiento de una serie de Intervenciones con Estimulación Neuromuscular Mecánica*. Tesis Doctoral. Universidad Europea de Madrid.
- McBurney, H., Taylor, N.F., Dodd, K.J., Graham, H.K. (2003). A qualitative analysis of the benefits of strength training for young people with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*, 45, 658-663.
- Morton, J.F., Brownlee, M., McFadyen, A.K. (2005). The effects of progressive resistance training for children with cerebral palsy. *Clin Rehabil*, 19, 283-289.
- Myer, G.D., Faigenbaum, A.D., Ford, K.R., Best, T.M., Bergeron, M.F., Hewett, T.E. (2011). When to Initiate Integrative Neuromuscular Training to Reduce Sports-Related Injuries and Enhance Health in Youth? *Curr Sports Med Rep*, 10, 155-166.
- Palisano, R., Rosenbaum, P., Barlett, D., Livingston, M. (2008). *Gross Motor Function Classification System Expanded and Revised*. Can Child Centre for Childhood Disability Research. [www.canchild.ca](http://www.canchild.ca).
- Palisano, R., Rosenbaum, P., Walter, S., Russell, D., Wood, E., Galuppi, B. (1997). Development and validation of a gross motor function classification system for children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*, 39, 214-223.
- Patikas, D., Wolf, S.I., Armbrust, P., Mund, K., Schuster, W., Dreher, T., Döderlein, L. (2006). Effects of a postoperative resistive exercise program on the knee extension and flexion torque in children with cerebral palsy: a randomized clinical trial. *Arch Phys Med Rehabil*, 87, 1161-1169.
- Pedersen, B.K., Saltin, B. (2006). Evidence for prescribing exercise as therapy in chronic disease. *Scand J Med Sci Sports*, 16, 3-63.
- Provost, B., Dieruf, K., Burtner, P.A., Phillips, J.P., Bernitski-Beddingfield, A., Sullivan, K.J., Bowen, C.A., Toser, L. (2007). Endurance and gait in children with cerebral palsy after intensive body weight-supported treadmill training. *Pediatr Phys Ther*, 19, 2-10.
- Raja, K., Joseph, B., Benjamin, S., Minocha, V., Rana, B. (2007). Physiological cost index in cerebral palsy: its role in evaluating the efficiency of ambulation. *J Pediatr Orthop*, 27, 130-136.
- Rintala, P., Lyytinen, H. (1988). De effecten van lichamelijke activiteiten op de lichamelijke conditie en motorische vaardigheden bij kinderen met infantiele encephalopathie. *Bewegen Hulpverlening*, 3, 201-207.
- Rodda, J., Graham, H.K. (2001). Classification of gait patterns in spastic hemiplegic and spastic diplegia: a basis for a management algorithm. *Eur J Neurol*, 8 (5), 98-108.
- Rose, J., Gamble, J.G., Medeiros, J. (1989). Energy cost of walking in normal children and in those with cerebral palsy: comparison of heart rate and oxygen uptake. *J Pediatr Orthop*, 204, 276-279.
- Schalow, G., Jaigma, P. (2005). Cerebral palsy improvement achieved by coordination dynamics therapy. *Electromyogr Clin Neurophysiol*, 45, 433-445.

- Schlough, K., Nawoczenski, D., Case, L.E., Nolan, K., Wigglesworth, J.K. (2005). The effects of aerobic exercise on endurance, strength, function and self-perception in adolescents with spastic cerebral palsy: a report of three case studies. *Pediatr Phys Ther*, 17, 234-250.
- Schmidt, R.A. (1988). *Motor control and learning: a behavioral emphasis*. Champaign, Ill: Human Kinetics Publishers.
- Scholtes, V.A., Becher, J.G., Comuth, A., Dekkers, H., Van Dijk, L., Dallmeijer, A.J. (2010). Effectiveness of functional progressive resistance exercise strength training on muscle strength and mobility in children with cerebral palsy: a randomized controlled trial. *Dev Med Child Neurol*. Jan 28. [Epub ahead of print].
- Sillanpää, E., Häkkinen, A., Punnonen, K., Häkkinen, K., Laaksonen, D.E. (2009). Effects of strength and endurance training on metabolic risk factors in healthy 40-65-year-old men. *Scand J Med Sci Sports*, 19, 885-895.
- Shinohara, T.A., Suzuki, N., Oba, M., Kawasumi, M., Kimizuka, M. (2003). Effect of exercise at the AT point for children with cerebral palsy. *Bull Hosp Jt Dis*, 61, 63-67.
- Suzuki, N., Oshimi, Y., Shinohara, T., Kawasumi, M., Mita, K., Bulletin. (2001). Exercise intensity based on heart rate while walking in spastic cerebral palsy. *Bull Hosp Jt Dis*, 60, 18-22.
- Taub, E. (1977). Movement in non-human primates deprived of somatosensory feedback. *Exercise Sports Sci Rev*, 4, 335-374.
- Tobimatsu, Y., Nakamura, R., Kusano, S., Iwasaki, Y. (1998). Cardiorespiratory endurance in people with cerebral palsy measured using an arm ergometer. *Arch Phys Med Rehabil*, 79, 991-993.
- Toner, L.V., Cook, K., Elder, G.C. (1998). Improved ankle function in children with cerebral palsy after computer-assisted motor learning. *Dev Med Child Neurol*, 40, 829-835.
- Valkeinen, H., Alén, M., Häkkinen, A., Hannonen, P., Kukkonen-Harjula, K., Häkkinen, K. (2008). Effects of concurrent strength and endurance training on physical fitness and symptoms in postmenopausal women with fibromyalgia: a randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil*, 89, 1660-1666.
- Unger, M., Faure, M., Frieg, A. (2006). Strength training in adolescent learners with cerebral palsy; a randomized controlled trial. *Clin Rehabil*, 20, 469-477.
- Unnithan, V.B., Clifford, C., Bar-Or, O. (1998). Evaluation by exercise testing of the child with cerebral palsy. *Sports Med*, 26, 239-251.
- Unnithan, V.B., Dowling, J.J., Frost, G., Bar-Or, O. (1999). Role of mechanical power estimates in the O<sub>2</sub> cost of walking in children with cerebral palsy. *Med Sci Sports Exerc*, 31, 1703-1708.
- Van den Berg-Emons, R.J., Saris, W.H., Barbanson, B.C., Westerterp, K.R., Huson, A., Van Baak, M.A. (1995). Daily physical activity of schoolchildren with spastic diplegia and of healthy control subjects. *J Pediatr*, 127, 578-584.
- Van den Berg-Emons, R.J.G., Van Baak, M.A., De Barbanson, D.C. (1996). Reliability of tests to determine peak aerobic power, anaerobic power and isokinetic muscle strength in children with spastic CP. *Dev Med Child Neurol*, 38, 1117-1125.
- Verschuren, O., Ketelaar, M., Takken, T., Helders, P.J., Gorter, J.W. (2008). Exercise programs for children with cerebral palsy: a systematic review of the literature. *Am J Phys Med Rehabil*, 87, 404-417.
- Verschuren, O., Ketelaar, M., Gorter, J.W., Helders, P.J., Uiterwaal, C.S., Takken, T. (2007a). Exercise training program in children and adolescents with cerebral palsy: a randomized controlled trial. *Arch Pediatr Adolesc Med*, 161, 1075-1081.
- Verschuren, O., Takken, T., Ketelaar, M., Gorter, J.W., Helders, P.J.M. (2007b). Reliability of running tests for measuring agility and anaerobic muscle Pediatric power in children with cerebral palsy. *Phys Ther*, 19, 108-115.
- Wiley, M., Damiano, D. (1998). Lower-extremity strength profiles in spastic cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*, 40, 100-107.