

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Tablas:

Tabla 1. Factores de riesgo de la parálisis cerebral infantil.....	6
Tabla 2. Gross Motor Function Classification System.	11
Tabla 3. Functional Mobility Scale.	11
Tabla 4. Manual Ability Classification System.	13
Tabla 5. Escala modificada de Ashworth.....	14
Tabla 6. Calidad de la reacción muscular. Escala de Tardieu.	14
Tabla 7. Escala de O'Brien.	15
Tabla 8. Diagnóstico de la parálisis cerebral infantil.....	15
Tabla 9. Escala de PEDro.	27

Figuras:

Figura 1. Forma Rectangular de impulso positivo compensado por impulso negativo.....	21
Figura 2. Diagrama de flujo de la búsqueda realizada.....	25

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

PCI. Parálisis cerebral infantil.

SNC. Sistema nervioso central.

HTA. Hipertensión arterial.

RN. Recién nacidos.

SCPE. Surveillance of Cerebral Palsy in Europe.

CIF. Clasificación internacional del funcionamiento, de la discapacidad y de la salud.

OMS. Organización Mundial de la Salud.

GMFCS. Gross Motor Function Classification System.

FMS. Functional Mobility Scale.

MACS. Manual Ability Classification System.

GAS. Goal Attainment Scaling.

ROT. Reflejo osteotendinoso.

RTA. Reflejo tónico asimétrico.

EEII. Extremidades inferiores.

TB. Toxina botulínica.

BIT. Baclofeno intratecal.

Ff. Fórmula fundamental.

EV. Estimulación voluntaria.

EENM. Electroestimulación Neuromuscular.

Hz. Hercios.

µs. microsegundos.

a/d. activación/descanso.

mA. Miliamperios.

COPM. Canadian Occupational Performance Measure.

ICF-CY. International Classification of Functioning Child and Youth.

SCALE. Selective Control Assesment of the Lower Limb.

CBMS. Community Balance and Mobility Scale.

4SST. 4-Square Step Test.

ASAS. Australian Spasticity Scale.

GGI. Gillete Gait Index.

ICF. International Classification of Functioning Disability and Health.

JHFT. Jebsen Hand Function Test.

EMG. Electromiografía.

GMFM. Gross Motor Function Measurement.

US. Ultrasonido.

KT. Kinesio tape.

RESUMEN

Introducción: La parálisis cerebral infantil es una patología causada por una lesión cerebral fija y no progresiva, en el periodo prenatal, perinatal o postnatal dando lugar a una serie de manifestaciones clínicas que varían según el crecimiento del niño.

La electroestimulación neuromuscular es una técnica de electroterapia que consiste en aplicar corrientes de baja frecuencia a nivel muscular o nervioso con el objetivo de crear un estímulo sensorial o una contracción muscular.

Objetivo: Realizar una búsqueda bibliográfica, recogiendo toda la información relevante, sobre el uso y la efectividad de la electroestimulación en los niños con parálisis cerebral infantil.

Material y métodos: Se ha llevado a cabo una búsqueda de información durante los meses de septiembre, octubre y noviembre de 2018, a través de distintas bases de datos: PubMed, PEDro, Biblioteca Cochrane, Scielo y Dialnet. Los artículos incluidos fueron todos ensayos clínicos realizados en los últimos 10 años, que investigaban los efectos de la electroestimulación neuromuscular sobre distintos grupos musculares en población pediátrica con parálisis cerebral infantil.

Resultados: La electroestimulación neuromuscular resulta efectiva y beneficiosa en al menos un síntoma de todos los pacientes intervenidos.

Conclusiones: La electroestimulación neuromuscular es efectiva como tratamiento de la parálisis cerebral infantil, aunque sus beneficios son mayores al combinarla con otras terapias (fisioterapia convencional, terapia ocupacional, estiramientos, ejercicios de fortalecimiento, kinesio-taping). Sin embargo, debido a las limitaciones generales de los artículos analizados, se requieren futuras investigaciones con mayor rigor científico que aporten resultados más definitivos.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Parálisis cerebral infantil

La definición aceptada actualmente es la proporcionada por el Comité Ejecutivo Internacional para la Definición de la parálisis cerebral infantil (PCI) en el año 2005: “la parálisis cerebral infantil es un grupo de trastornos permanentes del desarrollo del movimiento y la postura que causan una limitación de la actividad, producidos por una lesión no progresiva en el cerebro del feto o lactante. Los trastornos motores de la PCI están frecuentemente acompañados por alteraciones en la sensibilidad, percepción, capacidad cognitiva, comunicación y comportamiento debido a epilepsia y otros problemas músculo-esqueléticos secundarios”.^{1,2}

La PCI debe cumplir una serie de criterios para ser aceptada como tal:¹

- La lesión causante en el cerebro debe ser fija y no progresiva. A veces resulta complicado diagnosticar la ausencia de progresión, puesto que las manifestaciones motoras sí que van cambiando, pero gracias a pruebas de imagen cerebral y a estudios genéticos esto ocurre cada vez menos.
- La lesión debe producirse de forma prenatal, perinatal o en el periodo postnatal. No hay un consenso sobre el límite del periodo postnatal hasta el cual pueda producirse la lesión pero es fundamental que ésta afecte el desarrollo del sistema nervioso central (SNC) de forma temprana, a pesar de que las manifestaciones clínicas a veces tardan en aparecer. Para proporcionar un diagnóstico definitivo el niño debe tener 4-5 años.
- Las manifestaciones clínicas deben ir cambiando a lo largo del tiempo. Estos niños presentan una disminución en la velocidad de mejoría de las habilidades motoras en comparación con otros niños no afectados.

1.1.1. Etiología y factores de riesgo

La etiología de la PC puede deberse a múltiples causas, que pueden darse a su vez dentro de tres periodos, el prenatal, el perinatal o el postnatal.

En base a esto los factores de riesgo se dividen según se muestra en la tabla 1^{3,4}.

Tabla 1. Factores de riesgo de la parálisis cerebral infantil. Fuente³.

FACTORES PRENATALES	Factores maternos	Alteraciones de la coagulación, enfermedades autoinmunes, HTA. Infección intrauterina, traumatismo, sustancias tóxicas, disfunción tiroidea.
	Alteraciones de la placenta	Trombosis en el lado materno, trombosis en el lado fetal.
	Factores fetales	Gestación múltiple, retraso crecimiento intrauterino. Polihidramnios, hidrops fetal, malformaciones.
FACTORES PERINATALES	Prematuridad, bajo peso. Fiebre materna durante el parto, infección SNC o sistémica. Hipoglucemia mantenida, hiperbilirrubinemia. Hemorragia intracraneal. Encefalopatía hipóxico-isquémica. Traumatismo, cirugía cardíaca.	
FACTORES POSTNATALES	Infecciones (meningitis, encefalitis). Traumatismo craneal. Estatus convulsivo. Parada cardio-respiratoria. Intoxicación. Deshidratación grave.	

Más de un 65% de los pacientes con PCI corresponden a partos a término, habiendo identificados 10 factores de riesgo significativos:¹

- Anomalías placentarias.
- Malformaciones mayores o menores asociadas.
- Recién nacidos de bajo peso.
- Aspiración de meconio.
- Partos instrumentados.
- Cesáreas urgentes.
- Asfixia neonatal.
- Convulsiones neonatales.
- Hipoglucemias.
- Infecciones neonatales.

1.1.2. Fisiopatología

La lesión producida en el SNC es definitiva y no progresiva, al contrario que las manifestaciones clínicas.

Normalmente la causa es una isquemia cerebral ocasionada por hipoxia e isquemia y, a veces, por hemorragias cerebrales. En el periodo perinatal esto se suele producir por la asfixia.

El desequilibrio de fuerzas que va apareciendo entre los distintos grupos musculares da lugar a deformidades óseas y articulares que se vuelven rígidas con el crecimiento del niño. Esto provoca una falta de congruencia articular y con ello un deterioro del cartílago hialino.

Las deformidades articulares también se ven favorecidas por la debilidad y las alteraciones sensoriales y de equilibrio.^{1,4}

Como resultado de la lesión en la corteza cerebral (haz piramidal) aparecerá la espasticidad, que consiste en una hiperactividad del arco reflejo miotático, dando lugar a hipertonia muscular, hiperreflexia e hiperactividad cinética voluntaria⁵.

1.1.3. Epidemiología

La prevalencia de la PCI, tanto en países desarrollados como no desarrollados, oscila entre 2 y 3,5 casos por cada 1.000 recién nacidos (RN) vivos. En el caso de los RN con muy bajo peso o nacidos a pretérmino, estas cifras son mucho mayores, entre 40 y 100 por cada 1.000 nacidos vivos.^{1,4,6}

En cuanto a la incidencia, en los RN a término esta está comprendida entre 1 y 1,7 por 1.000 nacidos vivos, lo que puede no parecer muy frecuente, pero viendo las cifras reales, que ascienden a 120.000-217.600 nuevos casos cada año, es en cierta medida preocupante. La incidencia aumenta a 6,1 por cada 1.000 nacidos vivos en los gemelos, y hasta 18 por cada 1.000 nacidos vivos en el caso de los trillizos.^{1,4}

1.1.4. Clasificación

1.1.4.1. En función del trastorno motor predominante:⁴

- Parálisis cerebral espástica.⁷ Está caracterizada por una postura o patrón de movimiento anormal, el tono muscular está aumentado y hay presencia de hiperreflexia y/o clonus o Babinski (piramidalismo).¹ Es la forma más frecuente, hasta un 70-80% de los casos y se produce por una lesión de la motoneurona superior, en el haz piramidal.^{7,5} Los músculos afectados a lo largo del tiempo por la espasticidad van a ser los mismos, dando lugar a la aparición de deformidades ortopédicas.⁷ Puede ser:³
 - o Tetraplejía espástica: es la forma más grave, puesto que las cuatro extremidades se encuentran afectadas y generalmente los síntomas son visibles desde los primeros meses.
 - o Diplejía espástica: suelen afectarse sobre todo las extremidades inferiores, siendo la forma más frecuente de espasticidad y viéndose relacionada sobre todo con la prematuridad.
 - o Hemiplejía espástica: en este caso hay paresia de un hemicuerpo y suele deberse a causas prenatales.
- Parálisis cerebral discinética: al igual que en la PCI espástica, habrá un patrón de movimiento o postura anormal, pero lo que la diferencia es la presencia de movimientos involuntarios y reiterados de forma incontrolada. Estará afectado el sistema extrapiramidal, sobre todo los ganglios basales, y se da en un 10-20% de los casos. Puede ser a su vez:⁷
 - o Distónica: hay presencia de hipocinesia, que provocará que el movimiento sea más rígido e hipertonía con cambios rápidos y anormales del tono, especialmente de la musculatura extensora del tronco.
 - o Coreo-atetósica: es más frecuente que la forma distónica y al contrario que ésta, presenta hipercinesia e hipotonía. Los movimientos atetósicos son lentos, con actividad reptante de los dedos y en abanico, y además hay presencia de un elemento giratorio alrededor del eje de la extremidad. De forma antagónica, los movimientos coreicos se manifiestan de forma irregular, brusca y rápida.
 - o Existe también una forma mixta, en la que se combinan ambos tipos de PCI discinética.
- Parálisis cerebral atáxica: se caracteriza por la hipotonía y se divide a su vez en otras tres formas clínicas: diplejía atáxica, ataxia simple y el síndrome de desequilibrio.³ Además del patrón de movimiento o postura anormal característicos

de la PCI, la forma atáxica presenta una disminución de la coordinación muscular, dando lugar a una precisión, fuerza y ritmo anormales de los movimientos. Se da en un 5-10 % de los casos y es el cerebelo quien estará afectado. Suele haber hiperextensibilidad articular y el equilibrio al mantener una postura es insuficiente, presentándose como un vaivén.

- Parálisis cerebral hipotónica: es poco frecuente y se caracteriza por una disminución del tono muscular con hiperreflexia osteotendinosa añadida.³
- Parálisis cerebral mixta: la mayoría de los casos de PC presentan cuadros mixtos, puesto que las afecciones a nivel motor se solapan. Por ello, el trastorno motor predominante dictará en qué grupo deberá estar clasificado cada caso, según la Surveillance of Cerebral Palsy in Europe (SCPE).⁷

1.1.4.2. En función de la topografía:

Volpe y colaboradores proponen 5 tipos de lesión hipóxico-isquémica que tiene gran relación con el posterior desarrollo del paciente con PCI.⁶

- Lesión cerebral parasagital: consiste en una necrosis de la materia blanca de la corteza cerebral y suele afectar las funciones proximales de las extremidades.
- Leucomalacia periventricular: es la más común en RN prematuros y se produce por una lesión de la materia blanca cerebral. Suelen verse afectados sobre todo los miembros superiores y en ocasiones aparecen alteraciones asociadas visuales y cognitivas.
- Necrosis cerebral isquémica focal y multifocal: aparece un infarto con patrón vascular que lesiona todos los elementos celulares y suele afectar un hemisferio u otro.
- Estrato marmóreo: la lesión se produce en los ganglios basales y se manifiesta con alteraciones coreoatetósicas.
- Necrosis neuronal selectiva: es la lesión más común y suele asociarse a otras lesiones.

En base a esta clasificación, la PCI se puede simplificar en:

- Hemiplejía: solo un hemisferio se encuentra afectado y suele estar más afectada la extremidad superior.
- Diplejía: se da en un 80% de los RN prematuros con PCI y afecta las extremidades inferiores.

- Cuadruplejía: es la afección más grave y todas las extremidades se ven comprometidas.

Además, es importante considerar las posibles alteraciones del tronco y de los pares craneales.⁷

1.1.4.3. Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la discapacidad y de la salud (CIF):^{6,7}

Recientemente la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha propuesto una clasificación basada en un modelo bio-psico-social de la PCI que tiene en cuenta:

- El funcionamiento.
- La discapacidad.
- Los factores ambientales.
- Los factores personales.

Todos estos factores pueden interaccionar entre sí de forma positiva o negativa.

La novedad de esta clasificación es el hecho de centrarse en el funcionamiento de la patología y no tanto en las consecuencias de la misma. De igual manera, adquieren más importancia las condiciones ambientales que las limitaciones personales y cómo se ven afectadas las funciones diarias en vez de centrarse tanto en el trastorno motor y la afectación neurológica.

Por tanto, el abordaje sanitario de la PCI debería realizarse de manera multidisciplinar y con el objetivo de “promover la capacidad funcional de la persona en su ambiente habitual”.³

1.1.5. Alteraciones asociadas:^{2-4,7}

Estas alteraciones pueden ser de tipo:

- Sensorial: aparecen problemas de visión en hasta un 50% de los casos y déficits auditivos en un 20%. En los niños con diplejía espástica son también comunes las alteraciones visuoespaciales.
- Cognitivo: a nivel de rendimiento, estos niños pueden llegar a tener hasta en un 50%-70% retraso mental severo, más frecuente en casos de tetraplejía. Los niños

con predominancia discinética suelen tener más problemas de comunicación y lenguaje.

- Episodios de epilepsia: de nuevo, los niños con tetraplejia tienen también predominancia de epilepsia en el 70% de los casos, y en general esta afección se da en hasta el 50% de los niños con PCI.
- Otras complicaciones: las complicaciones más corrientes son las ortopédicas, aunque también pueden aparecer problemas digestivos, respiratorios, alteraciones buco-dentales, cutáneas y vasculares.

1.1.6. Escalas funcionales y valoración de los resultados:⁷

- **Escalas de función motora gruesa:**

Gros Motor Function Classification System (GMFCS)

Este sistema de clasificación valora el nivel funcional de la marcha de los niños y se divide en 5 niveles (tabla 2).

Tabla 2. Gross Motor Function Classification System.¹

Clasificación GMFCS	
Nivel I	Camina sin restricciones: tiene limitaciones en habilidades motrices más complejas.
Nivel II	Camina sin dispositivos de ayuda: tiene limitaciones para andar en exteriores y en la comunidad.
Nivel III	Camina utilizando un dispositivo manual auxiliar de la marcha. Limitado para andar fuera de casa y en la comunidad.
Nivel IV	Auto-movilidad limitada, es posible que utilice movilidad motorizada: se le transporta o usa silla de ruedas de autopropulsión en exteriores o en la comunidad.
Nivel V	Auto-desplazamiento muy limitado incluso utilizando tecnología autopropulsada.

Functional Mobility Scale (FMS)

Esta escala valora la habilidad del niño para deambular a una distancia de 5 metros (hogar), de 50 metros (escuela) y de 500 metros (comunidad) con el objetivo de clasificar la dependencia de distintos dispositivos de ayuda. Cuanto mejor sea la capacidad del niño para caminar, más puntuación obtendrá (entre 1 y 6 puntos) (tabla 3).

Tabla 3. Functional Mobility Scale. Fuente: elaboración propia.

Puntuación	Ayudas necesarias para caminar
6	Independencia en cualquier superficie: No necesita ninguna ayuda instrumental ni por parte de otra persona.
5	Independencia en superficies a nivel: Necesita ayuda para las escaleras.
4	Utiliza bastones (uno o dos): Sin ayuda de otra persona.
3	Utiliza muletas: Sin ayuda de otra persona.
2	Utiliza andador: Sin ayuda de otra persona.
1	Utiliza silla de ruedas: Puede dar algunos pasos o mantenerse de pie con ayuda de otra persona.

- Escalas de función motora fina:

Manual Ability Classification System (MACS)

Cataloga el uso de las manos en el manejo de objetos durante las actividades cotidianas. Se utiliza en niños de 4 a 18 años mediante encuestas a los padres y consta de 5 niveles, correspondientes con la GMFCS (tabla 4).

Tabla 4. Manual Ability Classification System. Fuente: elaboración propia.

Nivel	Capacidad
Nivel I	Manipula objetos fácilmente y con éxito. Limitaciones en tareas manuales que requieran velocidad y precisión.
Nivel II	Manipula la mayoría de los objetos pero con menos calidad y/o velocidad del logro; pueden emplearse formas alternativas de ejecución de las actividades manuales, no hay restricciones en la independencia de la vida diaria.
Nivel III	Manipula los objetos con dificultad; necesita ayuda para preparar y/o modificar actividades.
Nivel IV	Manipula una limitada selección de objetos fácilmente manipulables en situaciones adaptadas. Requiere soporte continuo y asistencia y/o equipo adaptado para logros parciales.
Nivel V	No manipula objetos y tiene habilidad gravemente limitada incluso para ejecutar acciones sencillas.

- **Escalas de valoración de la espasticidad:**

Escala modificada de Ashworth

Valora el tono muscular durante la movilización pasiva y lo gradúa de 0 a 4 (tabla 5).

Tabla 5. Escala modificada de Ashworth. Fuente: elaboración propia.

Grado	Características
0	No hay cambios en el tono muscular en los movimientos de flexión o extensión.
1	Ligero aumento de tono del músculo al movimiento de flexión o extensión, visible con la palpación o relajación, o con solo mínima resistencia al final del arco de movimiento.
1+	Ligero aumento en la resistencia del músculo al movimiento de flexión o extensión seguido de una mínima resistencia en todo el resto del arco de movimiento (menos de la mitad).
2	Notable incremento en la resistencia del músculo durante la mayor parte del arco de movimiento articular, pero la articulación se mueve fácilmente.
3	Marcado incremento en la resistencia del músculo; el movimiento pasivo es difícil en flexión o extensión.
4	Las partes afectadas están rígidas en flexión o extensión cuando se mueven pasivamente.

Escala de Tardieu

A diferencia de la escala de Ashworth valora también la velocidad, adaptándose mejor a la definición de espasticidad (aumento de tono velocidad-dependiente). Se compone de tres variables:

1. Velocidad de estiramiento: V1 (lenta), V2 (a favor de la gravedad), V3 (rápida).
2. Calidad de la reacción muscular (tabla 6).
3. Rango dinámico articular: corresponde a la diferencia entre el rango articular obtenido a velocidad rápida (R1) y el rango obtenido a velocidad lenta (R2). La relación entre R1 y R2 es más importante que las mediciones individuales. Una amplia diferencia entre R1 y R2 indica la presencia de un componente dinámico muscular, mientras que una pequeña diferencia significa la presencia de una retracción muscular predominantemente fija, que puede ser, o no, secundaria a la espasticidad.

Tabla 6. Calidad de la reacción muscular. Escala de Tardieu. Fuente: elaboración propia.

Grado	Características
0	Movimiento sin resistencia.
1	Movimiento con ligera resistencia en un ángulo específico, sin agarrotamiento muscular.
2	Claro agarrotamiento en un ángulo específico, interrumpiendo el estiramiento, seguido por una relajación.
3	Clonus que aparece en un ángulo específico que dura menos de 10 segundos, mientras el evaluador está manteniendo la presión.
4	Clonus que aparece en un ángulo específico que dura más de 10 segundos, mientras el evaluador está manteniendo la presión.

- **Valoración de la marcha:**

Análisis observacional:

Es un análisis directo y rápido, que sin embargo cuenta con el inconveniente de que el ojo humano no es capaz de captar todos los matices de los movimientos que suceden en un ciclo de la marcha. Por ello, normalmente se lleva a cabo con ayudas de grabación simple con videocámara para observar de forma más detenida.

Para hacerlo de forma sistemática y reglada tenemos distintas escalas, la de Koman modificada y la Phisician Rating Scale, siendo la más completa la escala de Edimburgo.

Análisis instrumental de la marcha:

Es de gran valor como herramienta para describir la afectación de un determinado niño con PCI, planificar la intervención terapéutica y evaluar los resultados de la misma.

Dicho análisis se realiza en laboratorios especializados en el estudio de la marcha, donde se colocan unos marcadores en el cuerpo, que son detectados por sistemas electrónicos, y permiten determinar con exactitud los ángulos de las articulaciones, la velocidad lineal y angular, los patrones de aceleración e incluso la presión ejercida por los pies sobre el suelo.⁸

El gran inconveniente de esta técnica es el tiempo y material que requiere, además de la formación requerida en el personal.

- Escalas de valoración de los resultados:

Escala de O'Brien

Es una escala de valoración subjetiva de la mejoría, valorada por padre, terapeuta y médico (tabla 7).

Tabla 7. Escala de O'Brien. Fuente: elaboración propia.

Grado	Mejoría
-1	Empeoramiento leve.
0	Sin cambios.
1	Mejoría leve.
2	Mejoría moderada, sin cambios en la función.
3	Mejoría moderada de la función.
4	Mejoría marcada del tono y la función.

Escala Goal Attainment Scaling (GAS)

Valora si se han alcanzado los objetivos definidos y consensuados previamente entre el médico y los familiares o el paciente. Proporciona una medida de las mejoras concretas del paciente. Es sensible a los cambios concretos en actividades motoras.

1.1.7. Diagnóstico:

El diagnóstico se realiza principalmente con la exploración clínica (tabla 8) por parte del médico especialista en base a los signos y síntomas.

Tabla 8. Diagnóstico de la parálisis cerebral infantil.³

Tabla 8. Diagnóstico de la parálisis cerebral infantil
<ul style="list-style-type: none">• Historia clínica (factores de riesgo)• Valorar los ítems de desarrollo y la calidad de la respuesta• Observar la actitud y la actividad del niño (prono, supino, sedestación, bipedestación y suspensiones)• Observar los patrones motores (motricidad fina y amplia)• Examen del tono muscular (pasivo y activo)• Examen de los reflejos osteotendinosos (ROT), clonus, signos de Babinski y Rosolimo.• Valoración de los reflejos primarios y de reflejos posturales (enderezamiento cefálico, paracaídas y Landau)

- **Signos cardinales de la exploración sugestivos de PCI:**
 - **Retraso motor**
 - **Patrones anormales de movimiento**
 - **Persistencia de los reflejos primarios**
 - **Tono muscular anormal**

Todas las PCI tienen en común:⁴

- Retraso del desarrollo motor.
- Trastornos del tono.
- Retraso en la aparición de los reflejos posturales.

Hay una serie de signos precoces de la PCI que pueden ayudar al diagnóstico:¹

- Persistencia de los reflejos arcaicos.
 - Reflejo tónico-asimétrico (RTA) > 3 meses.
 - Marcha automática > 3 meses.
- Ausencia de reacciones de enderezamiento.
- Pulgar incluido en palma.
- Hiperextensión de ambas extremidades inferiores (EEII) al suspenderlo por axilas.
- Asimetrías (en la hemiplejía).
- Anomalías del tono muscular: hipertonía/hipotonía.
- Hiperreflexia, clonus, signo de Babinski, de Rosolimo.

1.1.8. Tratamiento:

El trastorno motor en los niños con PCI se abordará principalmente desde cuatro aspectos:

- **Fisioterapia:**^{4,9}

Método Doman-Delacato:

Este método se basa en imitar los patrones de movimiento de los anfibios y reptiles para que, según Doman y Delacato, las células nerviosas “silenciadas” por la lesión cerebral se estimulen y así puedan seguir su evolución natural.

Método Voita:

Se basa en estimular determinados reflejos posturales complejos con el objetivo de obtener movimientos coordinados. La reptación refleja y el volteo reflejo dan lugar a tres componentes inseparables e interdependientes: la reactividad postural (control automático del cuerpo en el tiempo y espacio), el mecanismo de enderezamiento y los movimientos fásicos. Por tanto, el principio terapéutico de este método consiste en desarrollar el primero de ellos para llegar a los otros dos.

Un inconveniente de este método es que provoca oposición y llanto en el niño.

Método Pëto:

El fisioterapeuta facilita las actividades diarias de los niños proporcionándoles las herramientas necesarias para resolver los posibles problemas que puedan encontrar, pero no da directamente las soluciones. Una técnica especial que se utiliza en este sistema es la intención rítmica, con la cual a través del lenguaje se consigue controlar el movimiento de forma intrínseca. El niño habla y canta durante el ejercicio, de forma que se crea una asociación entre el lenguaje y el movimiento que corrige su comportamiento y la concentración.

Método Bobath:

Consiste en dar al niño una experiencia sensorial y motriz normal del movimiento. Realizando los movimientos de forma reiterada e incorporándolos a las actividades cotidianas se pretende conseguir que el niño los automatice y los haga de forma espontánea.

El método define unos “puntos clave” de movimiento que permiten controlar y activar la sucesión de movimientos para que el niño pueda desenvolverse de forma más libre y activa. Estos puntos son la cabeza, los hombros, las caderas y cada articulación proximal.

Sistema Rood:

Este sistema parte de la premisa de que los patrones motores pueden ser modificados a través de la estimulación sensorial. Rood desarrolló un enfoque de tratamiento utilizando la estimulación sensorial para normalizar el tono. Una vez el tono se ha normalizado, el niño podrá cargar peso sobre sus extremidades afectadas y empezar a moverse en las secuencias de desarrollo del movimiento. Para Rood, la repetición del

movimiento es importante para el aprendizaje sensoriomotor, y las técnicas de facilitación e inhibición deben usarse dentro de las secuencias de movimiento.

Método Le Métayer:

Le Métayer basa su método en que la educación y el entrenamiento solo son posibles en la medida en que las zonas de asociación son capaces de funcionar. Partiendo de las reacciones neuromotrices del niño normal, intenta provocar en el niño con PC, lo antes posible, esquemas neuromotores normales.

Programa de MOVE:

Utiliza material adaptado para la movilidad, sedestación y bipedestación. El programa implica la realización de una especie de currículum para incorporar el aprendizaje de las habilidades motrices con educación y formación MOVE. El fisioterapeuta ejerce un papel importante en el apoyo a los educadores y ayuda a los niños a desarrollar movilidad de una forma funcional y segura.

- **Farmacoterapia:**^{3,4}

PC espástica: los fármacos más utilizados son el Baclofeno y el Diazepam, ambos por vía oral, pero debido a sus efectos secundarios (dependencia, debilidad, babeo, somnolencia, confusión y náuseas) no son muy útiles. Mediante inyección local se utiliza la toxina botulínica (TB) o el baclofeno intratecal (BIT) para tratar la espasticidad, aunque siempre deben formar parte de un tratamiento global.

PC discinética: en casos raros o con etiología desconocida se puede realizar un ensayo con L-dopa. También pueden ser útiles las benzodiazepinas a dosis bajas o el trihexifenidilo.

- **Tratamiento quirúrgico:**^{3,4}

Cirugía ortopédica: se emplea en el aparato locomotor y según la estructura intervenida pueden realizarse tenotomía, neurectomía, trasplante de tendones, alargamiento de unidades miotendinosas retraídas, osteotomías, artrodesis, reducción de luxaciones, fusiones vertebrales.

Neurocirugía: incluye dos tipos de intervenciones, la bomba de baclofeno intratecal (dispositivo que permite inyectar con precisión baclofeno dentro de la columna vertebral,

en el líquido cefalorraquídeo) y la rizotomía dorsal selectiva (interrupción de la conducción nerviosa de un músculo).

- **Órtesis.**

Las órtesis forman parte de las ayudas técnicas complementarias que pueden facilitar distintos aspectos en la vida de los pacientes con PCI, por ejemplo ayudas a la sedestación (asiento triangular, respaldos reforzados, cuñas, rodillos), ayudas a los desplazamientos (planos de arrastre, gateadores y cinchas graduables para la sujeción del tronco), ayudas a la bipedestación (plano ventral, bipedestador supino, standing, standing en abducción y ministanding) y ayudas para la marcha (barras paralelas, andadores, bastones, bastones ingleses, muletas, triciclo adaptado, sillas de ruedas).

El objetivo de las órtesis es principalmente evitar el progreso de la deformidad músculoesquelética, pero también se emplean para facilitar la deambulación y para estimular la propiocepción. Hay una gran variedad de órtesis empleadas en la PCI, como pueden ser órtesis de cadera, órtesis de columna vertebral, bitutores para extremidades inferiores, soportes plantares, órtesis para rodilla y para tobillo-pie (siendo las más utilizadas en niños con PCI las antiequinos).

1.2. Electroestimulación:

Para entender cómo funciona la electroestimulación se debe primero comprender cómo se produce la contracción muscular. Al realizar la contracción de forma voluntaria, el SNC envía una señal, llamada potencial de acción, que se transmite por el nervio motor a gran velocidad, invirtiendo su polaridad (pasa de tener carga negativa a tener carga positiva). Al llegar a la célula muscular, gracias a la acetilcolina, la información desencadena la contracción. De la misma forma que lo realiza el cerebro, la electroestimulación transmite impulsos eléctricos a células musculares o nerviosas produciendo potenciales de acción.¹⁰⁻¹²

El primero en emplear la electroestimulación para potenciar la musculatura fue M. Kotz con la aplicación de la corriente homónima en un atleta olímpico.^{10,13}

Gracias a fisiólogos como Lapicque y Weiss se conoce bajo forma matemática la relación entre la cantidad de corriente y la duración necesaria de aplicación de la electroestimulación para excitar los nervios motores.¹¹

Fórmula fundamental (Ff) de Weiss

Fórmula de Lapique derivada de la Ff

$$Q = I \times t$$

$$I = q/t + i$$

Q (cantidad de carga eléctrica), I (intensidad), t (tiempo), i (coeficiente de la Ff)

Lapique da el nombre de cronaxia a “la duración mínima durante la cual hace falta aplicar una corriente en que la intensidad sea el doble de la reobase para obtener la estimulación”, siendo la reobase un coeficiente (i) de la fórmula de Weis ^{10,11}.

Al seleccionar la zona de aplicación en los electroestimuladores actuales, en realidad estamos seleccionando la cronaxia, que se ajusta a unos grupos musculares o a otros para mayor precisión y comodidad del paciente.^{10,11}

1.2.1. Características del impulso óptimo:

- Forma de la corriente:

Hace referencia a la forma que se observa en una gráfica de amplitud de la corriente frente al tiempo, y normalmente éstas pueden ser rectangulares, triangulares o cuadradas.

Dado que el objetivo será utilizar el menor tiempo e intensidad posible para conseguir una mayor superficie de excitación, con la Ff se ha demostrado que la forma de impulso con mayor capacidad para aportar cargas bajo una intensidad mínima es el rectángulo. Figura 1.¹¹

- Duración del impulso eléctrico:^{10,11}

La energía eléctrica que pasa a la piel y los tejidos es mínima cuando la duración del impulso rectangular es igual al valor de la cronaxia.

Por lo tanto, la duración del impulso rectangular deberá, para reducir la energía eléctrica al mínimo, ser igual a la cronaxia de la estructura nerviosa que se va a excitar.

- Forma de compensación del impulso:

Cuando se quiere producir una excitación, se envía un impulso rectangular con una duración igual a la cronaxia de la estructura nerviosa que se desea estimular.

En la electroestimulación es necesario enviar varios impulsos, los cuales si no están compensados, generarán una polarización positiva que puede producir quemaduras y dolor en la piel. Para evitarlo, el impulso positivo debe compensarse con un impulso negativo del

mismo valor, consiguiendo que la carga eléctrica sea nula y eliminando cualquier riesgo de polarización y por tanto, también sus consecuencias.

Para conseguir el mismo valor de impulso negativo necesario para compensar el impulso positivo se ha demostrado que la corriente debe tener la misma forma, es decir, rectangular (figura 1).

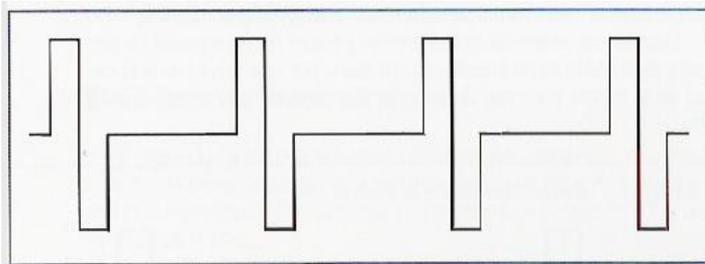


Figura 1. Forma Rectangular de impulso positivo compensado por impulso negativo.¹¹

1.2.2. Contracción voluntaria y electroinducida:^{11,14}

El cerebro recibe constantemente información sensitiva a través de la vía aferente sobre el estado del músculo, gracias al huso muscular y el órgano tendinoso de Golgi, ambos receptores neuromusculares. En una contracción voluntaria, a través de la vía eferente se envía un impulso eléctrico hacia la médula espinal y de ahí hacia el nervio motor correspondiente. Sin embargo, en la electroestimulación el impulso eléctrico se genera directamente en el nervio motor a través de los electrodos, que estarán colocados encima del punto motor, por lo que al cerebro llega directamente ese cambio del estado de contracción muscular, sin que haya enviado ninguna orden.

Por tanto, en la estimulación voluntaria (EV) nos encontraremos con el funcionamiento de dos vías, aferente y eferente, y en la electroestimulación, únicamente con la aferente.

- La capilarización en fibras rápidas:¹¹

Hidlicka ha demostrado que al estimular un músculo a frecuencias bajas, debido al fuerte aumento de flujo sanguíneo se desarrollan más los capilares sanguíneos alrededor de las fibras rápidas, efecto que no se produce con el entrenamiento voluntario. Esto se debe a que las fibras rápidas necesitan frecuencias muy elevadas de tetanización para activarse en la contracción voluntaria y, en cambio, con la electroestimulación neuromuscular (EENM) son suficientes frecuencias bajas, inferiores a 10 Hz.

1.2.3. Ventajas de la contracción con electroestimulación:^{11,12}

- Mayor refuerzo de los músculos sin tener efectos hipertróficos perjudiciales sobre la pared cardiaca.
- Menos lesiones y mayor trabajo técnico.
- Menor fatiga general (psíquica y física).

1.3. Justificación del trabajo

La PCI es la causa más común de discapacidad física grave en la infancia⁴. Además, cada año aparecen entre 120.000 y 217.600 nuevos casos, siendo unas cifras bastante elevadas.

Estos niños padecen no solamente alteraciones del desarrollo motor, sino que otros muchos aspectos de su vida se ven afectados, por ejemplo el ámbito cognitivo, el sensorial, el psicológico, el social, el educativo y de la comunicación.

Para paliar los síntomas de esta patología se han descrito varios métodos que abordan el tratamiento fisioterápico con distintos enfoques. Debido a ello he decidido buscar también otras terapias no tan convencionales que puedan ser de ayuda, como es el caso de la electroestimulación, que es una técnica en auge en los últimos cinco años. Gracias a los estudios que se han llevado a cabo recientemente y a la evidencia disponible sobre la mejora del entrenamiento físico en el ámbito deportivo, se ha podido aplicar esta técnica no solamente a individuos sanos sino también a individuos con distintas patologías, con el objetivo de rehabilitar, como es el caso de la PCI.

Por ello considero interesante buscar las evidencias sobre la terapia con estimulación eléctrica que puede ayudar al tratamiento de los trastornos que engloba esta discapacidad.

2. OBJETIVOS:

2.1. Objetivo principal:

Realizar una búsqueda bibliográfica, mediante la recopilación de información relevante, sobre el uso y la efectividad de la electroestimulación en los niños con parálisis cerebral infantil.

2.2. Objetivos específicos:

Determinar el grado de efectividad de la electroestimulación en niños con parálisis cerebral infantil sobre distintos grupos musculares:

- Extremidades superiores.
- Extremidades inferiores.
- Tronco.

Analizar los cambios que han podido ocurrir en las alteraciones asociadas en los niños con PCI.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Estrategia de búsqueda:

Para la realización de esta revisión bibliográfica se ha llevado a cabo una búsqueda de información durante los meses de septiembre, octubre y noviembre de 2018, a través de distintas bases de datos.

Las bases de datos consultadas fueron Pubmed, la Biblioteca Cochrane Plus, PEDro (Physiotherapy Evidence Database), Scielo y Dialnet. Además, se realizó una búsqueda manual en varios libros de texto.

Los términos empleados fueron “electrical stimulation”, “children” y “cerebral palsy”, todos ellos unidos por el operador booleano AND.

Pubmed: se obtienen 344 resultados, al aplicar el criterio de ensayo clínico quedan en 77 resultados, tras acotar el periodo de búsqueda a los últimos 10 años y añadir idioma inglés o español, aparecen 30 artículos.

De estos 30 artículos, después de leer los títulos y los abstract se seleccionan 13 artículos.

PEDro: aparecen 41 artículos, tras aplicar el filtro de los últimos 10 años aparecen 22 artículos, de los cuales nos quedamos con 13 después de leer los títulos y abstract. 10 artículos son repetidos, con lo cual quedan 3 artículos.

Cochrane: aparecen 82 artículos, tras aplicar el filtro de los últimos 10 años, los resultados obtenidos son 49. Tras leer los títulos y abstract quedan 24 resultados, de los cuales 5 se eliminan por ser protocolos o revisión sistemática, y otros 2 por ser estudios piloto en proceso de realización, sin resultados. Obtenemos un total de 17 artículos, 16 de ellos repetidos, y nos quedamos por tanto, con 1 artículos de esta base de datos, que no se pudo obtener.

Scielo: aparecen 2 artículos, de los cuales tras leer el título se descarta 1, y el artículo que permanece es repetido, por lo que también es descartado.

Dialnet: aparecen 2 artículos, ambos sin guardar relación con el tema propuesto. Se descartan ambos.

En resumen, tras llevar a cabo la búsqueda bibliográfica se obtuvo un total de 471 publicaciones. Una vez aplicados los criterios de inclusión, se descartaron aquellos que no los cumplieran (368) y la cifra se redujo a 103 publicaciones obtenidas. Después de analizar el título y el *abstract* de los 103 artículos, en las distintas bases de datos, se descartaron 51 publicaciones que no guardaban relación con el tema propuesto, quedando 52 artículos válidos, de los cuales 36 eran repetidos. Por tanto, el número total de artículos analizados en esta revisión bibliográfica fue de 16 ensayos clínicos.

En la siguiente figura (figura 2) se detalla la búsqueda realizada y la selección de los artículos en un diagrama de flujo:

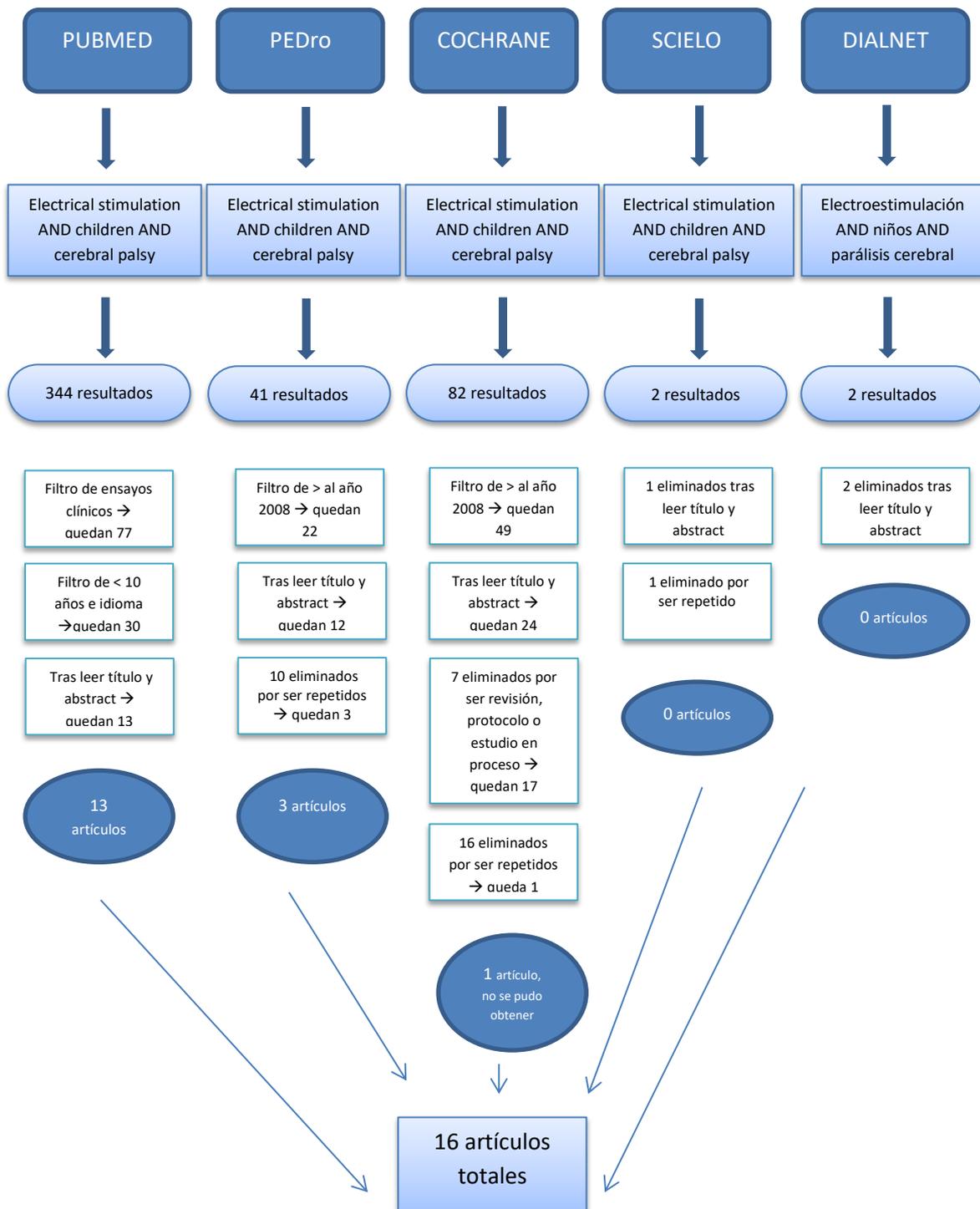


Figura 2. Diagrama de flujo de la búsqueda bibliográfica. Fuente: elaboración propia.

3.2. Criterios de selección:

- A. Criterios de inclusión: publicaciones en inglés o español, pacientes humanos pediátricos, de ambos sexos con diagnóstico de PCI, que fueran solamente ensayos clínicos, publicaciones con una antigüedad igual a 10 años, aplicación de la electroestimulación neuromuscular como método de tratamiento.
- B. Criterios de exclusión: publicaciones en las que no se relacione la electroestimulación con la PCI, población adulta, publicaciones en las que el método de intervención fuera electroestimulación transcutánea, puesto que no persigue el mismo objetivo que la electroestimulación neuromuscular.

3.3. Evaluación de la calidad científica:

Se ha utilizado la escala PEDro (ANEXO I) para ver la calidad metodológica que tienen los artículos (tabla 9).

Esta escala está basada en la lista Delphi, desarrollada por Verhagen y colaboradores, y que a su vez está basada en el consenso de un grupo de expertos. Su objetivo es identificar los ensayos clínicos aleatorios con suficiente validez interna (criterios 2-9) y suficientes datos estadísticos (10-11) para hacer que los resultados sean interpretables.

El ítem numero 1 no se tiene en cuenta para la puntuación total.

Tabla 9. Escala de PEDro. Fuente: elaboración propia.

Autor/año	1*	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Total
Pool et al. 2015 ¹⁵	1	1	1	1	-	1	-	-	-	1	1	6
Qi et al. 2017 ¹⁶	-	1	-	1	1	-	-	1	-	1	1	6
Pool et al. 2015 ¹⁷	1	1	1	1	-	-	1	-	1	1	1	7
Karabay et al. 2016 ¹⁸	1	1	-	1	1	-	-	1	1	-	1	6
Dayna Pool et al. 2015 ¹⁹	1	1	1	1	1	-	1	1	1	1	1	9
Khalili et al. 2008 ²⁰	1	1	1	1	1	-	1	-	1	1	1	8
Hamed et al. 2016 ²¹	1	1	-	1	-	-	1	1	1	-	-	5
Xu et al. 2015 ²²	1	1	1	-	1	-	-	1	1	1	1	7
Karabay et al. 2015 ²³	1	1	-	1	-	-	-	1	1	1	1	6
Yyldizgören et al. 2014 ²⁴	1	1	-	1	1	-	-	-	1	1	-	5
Arya et al. 2012 ²⁵	1	1	-	1	-	-	1	1	1	1	1	7
AlAbdulwahab. 2011 ²⁶	1	1	1	1	-	-	1	1	1	1	1	8
Xu et al. 2011 ²⁷	1	1	-	1	-	-	1	-	1	1	1	6
Karabay et al. 2012 ²⁸	1	1	1	1	-	-	-	1	1	1	-	6
AlAbdulwahab et al. 2009 ²⁹	1	1	-	1	-	-	-	1	-	-	1	4
Linden et al. 2008 ³⁰	1	1	-	1	-	-	-	-	1	1	1	5

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Todos los artículos incluidos en esta revisión son ensayos clínicos aleatorizados.

En cuanto al número de sujetos sobre los cuales se realizaron las distintas intervenciones, éste es muy variable de un artículo a otro, habiendo muestras de entre 10 y 100 participantes. Las edades de los niños están comprendidas entre 2 y 14 años.

En general, los niños incluidos en los estudios padecían bien parálisis cerebral espástica dipléjica, o bien parálisis cerebral hemipléjica, excepto en el artículo de Hamed et al²¹, en el que los pacientes tenían parálisis cerebral cuadripléjica.

La EENM se aplicó con distintos parámetros en la extremidad inferior, presentando variabilidad tanto entre los distintos artículos, como entre los grupos musculares implicados en un mismo artículo^{17,19,21,23,28,30}. Qi et al¹⁶ no indicaron los parámetros utilizados.

Los parámetros utilizados en el tibial anterior^{17-19,23,25,30} fueron de entre 20 y 40 hercios (Hz) de frecuencia, amplitud de pulso de 100-200 microsegundos (μ s), y la duración de las sesiones fue de 20-30^{23,25}, 60 minutos³⁰ y 6 horas^{15,17,19} al día, 5-6 días a la semana a lo largo de 4 u 8 semanas^{15,17-19,23,25,30}.

Los parámetros empleados en el cuádriceps tenían una frecuencia de 30-40 Hz y amplitud de pulso de 150-200 μ s, a lo largo de 4 y 8 semanas.^{20,25,30}

Los parámetros utilizados en los aductores y el glúteo medio fueron de 20 Hz de frecuencia y 50 μ s de amplitud, con una duración diaria de las sesiones de 15 minutos tres veces, durante una semana.^{26,29}

Los parámetros empleados en la EENM de la extremidad superior fueron de entre 30-50 Hz de frecuencia, 300 μ s de amplitud de pulso^{22,24,27} y ciclo a/d de 12:12^{22,27} y 12:5²⁴. En cuanto a la duración del tratamiento, este fue de 2^{22,27} y 6²⁴ semanas, 5 veces por semana y con sesiones de 20 y 30 minutos respectivamente.^{22,24,27}

Los parámetros utilizados en la musculatura del tronco^{18,21,28}, abdominales y paravertebrales de la zona lumbar, fueron los mismos, la frecuencia de 25 Hz, amplitud de pulso de 250 μ s, la intensidad entre 20-30 miliAmperios (mA) y un ciclo a/d de 10:12 o 10:10 segundos. La duración de los estudios varió, pues en el de Karabay et al¹⁸ solo se empleó la EENM 4 semanas (4 veces por semana), en cambio en los otros dos estudios^{21,28} la duración fue mucho mayor, de 3 y 4 meses respectivamente, con 3 y 5 aplicaciones por semana. Las sesiones eran de 30 minutos en los tres estudios.

Las variables medidas en los distintos artículos fueron:

- Satisfacción y autopercepción sobre la efectividad del tratamiento, medidas con la Canadian Occupational Performance Measure (COPM).¹⁵
- La mejora de la movilidad, medida con la International Classification of Functioning Child and Youth (ICF-CY).¹⁵
- El volumen muscular, medido a través de resonancia magnética por imagen.¹⁷
- La fuerza muscular en la flexión dorsal del tobillo, a través de un dinamómetro.¹⁷
- El control motor selectivo, evaluado la escala ordinal de Boyd y de Graham y con la Selective Control Assessment of the Lower Limb (SCALE), y con la dorsiflexión de tobillo.^{17,23}
- Análisis de la marcha por cámara video (velocidad de la marcha, longitud de paso), evaluado a través de la ICF-CY y con platillo de Kistler.^{16,19,24,29,30}
- Biomecánica de las extremidades inferiores, evaluada con la Community Balance and Mobility Scale (CBMS) y el 4-Square Step Test (4SST).¹⁷
- El rango de movimiento, evaluado con goniometría de la flexión dorsal de tobillo.¹⁷
- Espasticidad y tono muscular, evaluada con la Australian Spasticity Scale (ASAS), con la escala modificada de Ashworth, con la Comprehensive Spasticity Scale (CSS), con el sistema de clasificación de Zancolli.^{16,19,20, 22-24,26,29}
- Función motora gruesa, evaluada con la Gross Motor Function Capacity Scale (GMFCS).^{16,23}
- Índice de coste fisiológico.²⁵
- Desviación de la marcha, evaluada con el Gillette Gait Index (GGI).³⁰
- Destreza en la marcha.²⁶
- Posición de la rodilla.²⁶
- Presencia de contracturas, evaluadas a través de goniometría de la extensión máxima de rodilla.²⁰
- Capacidad funcional de la mano y desempeño bimanual, evaluados con la International Classification of Functioning Disability and Health (ICF), con el Jebsen Hand Function Test (JHFT).^{22,24}
- Rango activo de extensión de la muñeca, evaluado con goniómetro.^{22,24}
- Fuerza de agarre, evaluada con esfigmomanómetro.^{22,27}
- Reclutamiento y coordinación muscular, evaluadas con electromiografía (EMG) de superficie.²⁷
- Habilidades manuales, evaluadas con el test Abillhand Kids.²⁴

- Equilibrio en sedestación, evaluado con la Gross Motor Function Measurement (GMFM).^{18,28} (5, 16)
- Grado de cifosis dorsal, evaluado a través de radiografía lateral con el método Cobb.^{18,21,28}
- Grado de escoliosis, evaluado con el método Cobb.²¹
- Asimetría del tronco en sedestación.²¹

- **Extremidades inferiores**

Dayna Pool et al^{15,17,19} llevaron a cabo tres estudios basados en la misma muestra de niños e intervención, pero midiendo distintas variables en cada estudio. Se aplicó la ENMS sobre el tibial anterior y otros flexores dorsales de tobillo.

Los resultados del primer estudio de Pool et al¹⁵ muestran que la autopercepción sobre la efectividad de la EENM fue significativamente mayor en el grupo de tratamiento que en el grupo control tras las 8 semanas de intervención, aunque no hubo diferencias entre los grupos al realizar el posterior seguimiento tras 6 semanas. Sin embargo, la puntuación de satisfacción de los pacientes permaneció significativamente mayor en el grupo de tratamiento tanto al realizar el ensayo como al finalizar el seguimiento. De la misma manera, la movilidad del tobillo mejoró en mayor grado en el grupo de tratamiento, debido probablemente a la falta de uso de órtesis, además de la mejora muscular tras la EENM.

El segundo estudio de Pool et al¹⁷ valora el volumen y fuerza muscular a la dorsiflexión del tobillo, obteniendo un resultado significativamente mayor en el grupo de tratamiento que en el grupo control, donde hay un incremento de hasta el 23 % del volumen muscular, aunque tras las 6 semanas de seguimiento las mejoras no se mantuvieron. Pool^{15,17,19} defiende que al aplicar la EENM sobre distintos músculos mientras se realizan actividades de la vida diaria, la intensidad necesaria para desencadenar una contracción muscular es menor, y por tanto, menos molesta, de ahí que se observaran resultados tan positivos.

El hecho de que los resultados no se mantuvieran tras las semanas de seguimiento indica que los cambios musculares obtenidos tras EENM son uso-dependientes, por lo una alternativa futura de tratamiento consistiría en variar periodos de uso de EENM con periodos de descanso.

El control motor selectivo, sin embargo, mantuvo la mejoría obtenida en el grupo de tratamiento tanto después de la aplicación de la EENM como tras las semanas de seguimiento.¹⁷

La estimulación del tibial anterior tiene claros beneficios para la marcha, como queda demostrado en los estudios de Pool et al (6), Qi et al¹⁶, Arya et al²⁵, Linden et al³⁰ y Abdulwahab et al²⁹, que obtuvieron resultados positivos tanto en la velocidad, el ritmo, como en la longitud de paso, y también con la mejora de la dorsiflexión máxima del tobillo. Esto se traduce en una reducción del arrastre del pie durante la fase de oscilación. Linden et al³⁰ observaron una ligera disminución en la velocidad de marcha, tras su análisis tri-dimensional, lo cual se pudo deber a un patrón de marcha más controlado, gracias a un mejor contacto del pie con el suelo como resultado de la intervención sobre el tibial anterior, hecho que se aprecia también en el estudio de Pool et al¹⁹.

Otra variable del tibial anterior estudiada fue su tamaño, que Karabay²³ et al analizaron a través de ultrasonidos (US), obteniendo mejores resultados en el grupo tratado con ENMS. Una observación interesante es que esa mejoría era mayor cuanto más bajo el nivel funcional del niño (GMFCS 4-5). Lo cual concuerda con los resultados que en el mismo estudio se obtuvieron al evaluar la espasticidad del tibial anterior. No se obtuvo cambio alguno tras el tratamiento, lo cual pudo deberse bien al reducido tamaño de la muestra, bien a la corta duración del tratamiento (cuatro semanas) o bien por el uso de órtesis en flexión dorsal de tobillo, que provoca un acortamiento mantenido del músculo.

Un dato interesante es que el índice fisiológico, que mide de manera indirecta el consumo de oxígeno, evaluado en el tibial anterior por Arya et al²⁵ se vio disminuido tras la aplicación de la EENM. Esto indica que la marcha de los niños pasó a ser más eficiente en cuanto a que el gasto energético necesario para la marcha era menor tras la intervención y por tanto, causaba menor fatiga.

Respecto a los gastrocnemios, Pool et al^{17,19} obtuvieron diferencias en cuanto a la fuerza muscular entre el medial y el lateral tras las semanas de seguimiento, lo que puede indicar que al utilizar la EENM solamente en un grupo muscular que interviene en una articulación, es probable que aparezca un desequilibrio sobre la misma. Sin embargo, Pool et al también aportan que si la EENM se aplica a músculos agonistas y antagonistas sobre la articulación del tobillo, proporciona una activación muscular más coordinada debido a la deficiencia de la inhibición recíproca, observada con frecuencia en el tobillo al realizar la marcha.^{17,19} En cuanto al tamaño de los gastrocnemios tras aplicar la terapia con EENM, Karabay et al²³ observaron un aumento evaluado a través de US tras finalizar el tratamiento. En los gastrocnemios también se midió la espasticidad, que disminuyó del 2 al

1 en la escala ASAS en el estudio de Pool et al¹⁹. La mejora de ambas variables indica que la EENM es efectiva en este grupo muscular.

En cuanto al cuádriceps, según Arya et al²⁵, la aplicación de la EENM provoca una tendencia hacia la disminución, tanto de su tono muscular como del tamaño. La explicación para este fenómeno puede ser debida a una reducción de la espasticidad del músculo. Linden et al³⁰ también aporta resultados positivos tras aplicar la EENM en el cuádriceps, aunque sin significancia estadística. Esto es probablemente debido a la intolerancia de la mitad de la muestra del estudio a la intensidad necesaria de EENM para provocar contracción muscular. A pesar de ello, sí hubo beneficios sobre la flexión de rodilla, que se vio ligeramente disminuida tras la intervención, en la que además de estimularse el cuádriceps, también se estimuló el tibial anterior. El tono muscular del cuádriceps también se vio mejorado en el estudio de Khalili et al²⁰, de forma que la extensión pasiva de rodilla aumentó tras el tratamiento. Ese mismo estudio midió también el grado de espasticidad de los isquiotibiales, que se vio significativamente disminuido tras la intervención, lo que también intervino positivamente en el grado de extensión pasiva de la rodilla.

Respecto a los aductores y abductores de cadera, los trabajos de Abdulwahab^{26,29} demostraron que su estimulación mejora la longitud y velocidad de paso en el grupo de tratamiento. Igualmente se demostró también una disminución de la espasticidad en estos músculos. Todo ello llevó a una mejora de la posición de la rodilla, que se desplazó hacia lateral 2 cm, disminuyendo el valgo de rodilla. Los beneficios obtenidos se debieron a la activación de la inhibición recíproca entre aductores y abductores, a la propiocepción ofrecida por los electrodos, y también al incremento del aporte sanguíneo.^{26,29}

Qi et al¹⁶ obtuvieron igualmente los mismos resultados obtenidos por Abdulwahab, sin embargo al comparar la EENM con otros ejercicios de fortalecimiento, observaron que los beneficios son mayores utilizando ambas técnicas de forma combinada. Además, demostraron que la mejora de la circulación sanguínea y linfática del músculo ayuda a preservar la glucosa y proteínas del mismo, lo cual atrasa la atrofia y previene los espasmos musculares.

- **Extremidades superiores**

En los dos estudios que realizaron Xu et al^{22,27} se comparaba la EENM con la terapia restrictiva, que consiste en limitar el uso del brazo sano para inducir una mayor actividad del brazo afecto. Para ello, se colocaba una férula en la mano no implicada,

desde el codo hasta las puntas de los dedos. Xu et al^{22,27} observaron una ligera mejora de la función manual de la extremidad implicada y del desempeño bimanual tras combinar la terapia restrictiva con la EENM, que se mantuvo tras el periodo de seguimiento (6 meses). El autor²⁷ defiende que este beneficio puede ser debido al principio de sobrecarga, en el cual se obtiene una fuerza muscular mucho mayor al incrementar el área de intersección del músculo y el reclutamiento selectivo de las fibras tipo II, causando mayor eficiencia de la sinapsis neuro-muscular. Sin embargo, se sabe que en la parálisis cerebral hemipléjica, la función manual puede mejorar con el crecimiento del niño, por lo que, debido al largo periodo de seguimiento, el mantenimiento de la mejora pudo deberse también a esa causa. Otros parámetros medidos por Xu et al, como el tono muscular, la habilidad de agarre y el rango activo de movimiento no sufrieron cambios significativos. En su publicación posterior, Xu et al²² comprobó su teoría a través de un análisis electromiográfico, que relacionaba de forma considerada el aumento del reclutamiento muscular tras la aplicación de EENM con la mejora de la función global de la mano afecta, lo cual fue también la causa de mejora de la coordinación y el control aislado de ambas manos que se obtuvo en el grupo de tratamiento tras la intervención.

Yildizgören et al²⁴ también obtuvieron resultados positivos en la extremidad superior, ya que hubo una mejora de 34.6° en la extensión activa de muñeca en el grupo tratado con EENM, además de una disminución de la espasticidad de la mano implicada, debida a que la EENM estimula la contracción muscular de los agonistas e inhibe la musculatura espástica antagonista a través del arco reflejo. Los valores del test Abillhand Kids aumentaron de manera significativa en el grupo de tratamiento, por lo que la destreza en las habilidades manuales también se vio mejorada.

- **Tronco**

En cuanto al tronco, en los estudios realizados se intervino sobre todo la musculatura abdominal y la musculatura paravertebral de la zona lumbar.

Karabay et al²⁴ compararon la EENM con el kinesio-tape (KT), obteniendo resultados significativamente mayores en el grupo tratado con EENM en cuanto al equilibrio en sedestación. El mismo estudio indica también una reducción del ángulo de cifosis dorsal de 15.3°, al igual que también observó Hamed²¹ et al en su estudio, en el que además, obtuvieron una reducción del grado de escoliosis (4°), que disminuyó la asimetría del tronco en sedestación. Estos resultados se deben a que la EENM proporciona

reeducación muscular, propiocepción cutánea y fortalecimiento muscular, estimulando los músculos agonistas e inhibiendo los antagonistas a través del arco reflejo. En otra publicación, Karabay et al²⁸ obtienen resultados positivos sobre el control del tronco, debido a que la EENM tiene efectos beneficiosos sobre la fuerza, volumen, contracción y aporte de flujo sanguíneo.

Todos los estudios muestran resultados positivos tras la aplicación de la EENM, pero hay grupos musculares que han sido más estudiados y sobre los que ha tenido más beneficios. En el caso de las extremidades inferiores, el músculo que más se ha estudiado y que mejores resultados ha obtenido tras la intervención ha sido el tibial anterior. Por el contrario el cuádriceps, a pesar de obtener también beneficios con la EENM, no han sido estadísticamente significativos, por lo que haría falta llevar a cabo más investigaciones que aporten datos más concluyentes.

En cuanto a las extremidades superiores, no hay muchos estudios en la bibliografía que apliquen la EENM, sin embargo, los pocos que hay han mostrado beneficios significativos. Aun así, también harían falta más estudios, con más rigor científico.

Respecto al tronco, al igual que las extremidades superiores, no cuenta con un gran número de estudios realizados con la EENM como intervención, pero las mejoras obtenidas sobre todo en la reducción del ángulo de cifosis dorsal y el ángulo de escoliosis son esperanzadoras. Además, esto indica que la EENM se puede aplicar de forma efectiva también a otras patologías de la población pediátrica que impliquen deformidades de la columna vertebral.

En general, casi todos los estudios cuentan con las mismas limitaciones:

- Número reducido de las muestras.
- Corta duración del tratamiento y del posterior seguimiento.
- Falta de un grupo experimental tratado solamente con EENM, pues todos los grupos intervenidos con EENM tenían simultáneamente otros tipos de terapias (estiramientos, ejercicios de fortalecimiento, terapia restrictiva, terapia de neurodesarrollo, terapia ocupacional, fisioterapia convencional).

En cuanto a la revisión bibliográfica, también presenta una serie de limitaciones:

- Un gran número de variables medidas, muchas de ellas de forma individual en cada estudio.
- Reducción de la información recogida solamente a ensayos clínicos.

5. CONCLUSIONES:

- La electroestimulación neuromuscular puede considerarse como una herramienta eficaz en el tratamiento de la parálisis cerebral infantil, presentando beneficios tanto a nivel estructural como a nivel psicosocial.
- Todos los pacientes con parálisis cerebral infantil tratados mediante electroestimulación neuromuscular han experimentado mejoría en alguno de sus síntomas.
- La electroestimulación neuromuscular aumenta sus efectos al combinarla con otras terapias.
- La electroestimulación neuromuscular aplicada a flexores dorsales y flexores plantares de tobillo es efectiva.
- La electroestimulación neuromuscular aplicada a aductores y abductores de cadera es efectiva.
- Utilizada en el músculo cuádriceps, la electroestimulación neuromuscular aporta ligeros beneficios.
- La aplicación de la electroestimulación neuromuscular en los flexores y extensores de muñeca es efectiva.
- Los efectos de la electroestimulación neuromuscular sobre el tronco son beneficiosos.
- La electroestimulación neuromuscular es uso-dependiente, por lo que se propone alternar periodos de aplicación (6-8 semanas) con periodos de descanso (6-8 semanas), de forma que el músculo no se habitúe.
- La electroestimulación neuromuscular aporta beneficios sobre las complicaciones asociadas.
- Se necesita más investigación al respecto.

6. BIBLIOGRAFÍA

1. De Sena de Cabo L, Doménech Fernández P. Definición, etiología, fisiopatología y epidemiología. En: Martínez Caballero I. Abad Lara JA. Parálisis cerebral infantil. Madrid: ERGON; 2016. p. 1-4.
2. Vega M et al. Déficit cognitivos y abordajes terapéuticos en parálisis cerebral infantil. *Acción Psicológica*. 2014; 11 (1): 107-120.
3. Póo Argüelles P. Parálisis cerebral infantil. En: Narbona García J, Casas Fernández C. Protocolos diagnósticos y terapéuticos en pediatría. 2ª edición. Madrid: Asociación Española de Pediatría; 2008. p. 271-277
4. Gómez López S et al. Parálisis cerebral infantil. *Archivos venezolanos de puericultura y pediatría*. 2013; 76 (1): 30-39
5. García Díez E. Fisioterapia de la espasticidad: técnicas y métodos. *Fisioterapia*. 2004; 26 (1): 25-35.
6. Vázquez Vela CC, Vidal Ruiz CA. Parálisis cerebral infantil: definición y clasificación a través de la historia. *Rev Mex de Ort Ped*. 2014; 16 (1): 6-10.
7. Viosca Herrero E et al. Clasificaciones, escalas funcionales y medición de resultados en parálisis cerebral infantil. En: Martínez Caballero I. Abad Lara JA. Parálisis cerebral infantil. Madrid: ERGON; 2016. p. 5-14.
8. Bermejo Franco A. Ayudas para la marcha. *Revista Internacional de Ciencias Podológicas*. 2012; 6 (1): 9-24
9. Macías Merlo ML. Parálisis cerebral. En: Pastallé N. Fisioterapia en pediatría. 1ª edición. Madrid: McGraw-Hill Interamericana; 2002. p. 151-233
10. Gianpaolo Boschetti. ¿Qué es la electroestimulación? Teoría, práctica y metodología del entrenamiento. 2ª ed. Barcelona: Editorial Paidotribo; 2004.
11. Pombo Fernández M, Rodríguez Barnada J, Brunet Pàmies X, Requena Sánchez B. La electroestimulación: entrenamiento y periodización. 1ª ed. Barcelona: Editorial Paidotribo; 2004
12. Alegría Rivera D. La electroestimulación neuromuscular y su aplicación en el desarrollo de la fuerza en el deporte. Universidad del Valle. Santiago de Cali: 2011
13. Benito Martínez EM, Martínez López EJ. Electroestimulación neuromuscular en el deporte: programación del entrenamiento. 1ª ed. Sevilla: Wanceulen Editorial Deportiva; 2013
14. Walsh DM. Introducción a las corrientes de baja frecuencia. En: López Collado E. Electroterapia. Práctica basada en la evidencia. 12ª edición. Barcelona: ELSEVIER; 2009. p.203-210.
15. Pool D et al. Daily functional electrical stimulation during everyday walking activities improves performance and satisfaction in children with unilateral spastic cerebral palsy: a randomized control trial. *Archives of Physiotherapy*. 2015; 5: 5-15
16. Qi YC et al. Therapeutic effect evaluation of neuromuscular electrical stimulation with or without strengthening exercise on spastic cerebral palsy. *Clinical Pediatrics*. 2017; 00 (0): 1-4.
17. Pool D et al. Neuromuscular electrical stimulation-assisted gait increases muscle strength and volume in children with unilateral spastic cerebral palsy. *Developmental medicine and child neurology*. 20015. 58: 492-501.
18. Karabay I et al. Training postural control and sitting in children with cerebral palsy: kinesio taping vs. Neuromuscular electrical stimulation. *Complementary therapies in clinical practice*. 2016; 24: 67-72.

19. Pool D et al. The orthotic and therapeutic effects following daily community applied functional electrical stimulation in children with unilateral spastic cerebral palsy: a randomized controlled trial. *BMC Pediatrics*. 2015; 15: 154-164.
20. Khalili MA et al. Electrical stimulation in addition to passive stretch has a small effect on spasticity and contracture in children with cerebral palsy: a randomized within-participant controlled trial. *Australian Journal of Physiotherapy*. 2008; 54: 185-189.
21. Hamed SA et al. Effect of functional electrical stimulation on trunk curvature in spastic quadriplegic cerebral palsied children. *International Journal of PharmTech Research*. 2016; 9 (5): 31-36.
22. Xu K et al. Muscle recruitment and coordination following constraint-induced movement therapy with electrical stimulation on children with hemiplegic cerebral palsy: a randomized controlled trial. *PLOS ONE*. 2015
23. Karabay I et al. Short-term effect of neuromuscular electrical stimulation on muscle architecture of the tibialis anterior and gastrocnemius in children with cerebral palsy. *Am. J. Phys. Med. Rehabil.* 2015; 94 (9): 728-733.
24. Yildizgören MT et al. Effects of neuromuscular electrical stimulation on the wrist and finger flexor spasticity and hand functions in patients with unilateral cerebral palsy. *Pediatric neurology*. 2014;
25. Arya BK. Surface EMG analysis and changes in gait following electrical stimulation of quadriceps femoris and tibialis anterior in children with spastic cerebral palsy. *34th Annual International Conference on the IEEE EMBS*. 2012. 5726-5729.
26. Abdulwahab SS. Electrical stimulation improves gait in children with spastic diplegic cerebral palsy. *NeuroRehabilitation*. 2011; 29: 37-43.
27. Xu K et al. Efficacy of constraint-induced movement therapy and electrical stimulation on hand function of children with hemiplegic cerebral palsy: a controlled clinical trial. *Disability and Rehabilitation*. 2012; 34 (4): 337-346.
28. Karabay I et al. Effects of functional electrical stimulation on trunk control in children with diplegic cerebral palsy. *Disability and Rehabilitation*. 2012; 34 (11): 965-970.
29. Abdulwahab SS et al. Neuromuscular electrical stimulation of the gluteus medius improves the gait of children with cerebral palsy. *NeuroRehabilitation*. 2009; 24: 209-217.
30. Linden et al. Functional electrical stimulation to the dorsiflexors and quadriceps in children with cerebral palsy. *Pediatric physical therapy*. 2008; 20: 23-29.