

11222



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

FACULTAD DE MEDICINA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO  
CENTRO NACIONAL MODELO DE ATENCIÓN  
INVESTIGACIÓN Y CAPACITACIÓN PARA LA  
REHABILITACIÓN E INTEGRACIÓN EDUCATIVA  
"GABY BRIMMER" DEL SISTEMA NACIONAL PARA EL  
DESARROLLO INTEGRAL DE LA FAMILIA

BIORRETROALIMENTACIÓN EN EL MANEJO DE LA  
FUNCIÓN MANUAL EN NIÑOS CON HEMIPARESIA  
ESPÁSTICA SECUNDARIA A PARÁLISIS CEREBRAL

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**MÉDICO ESPECIALISTA EN  
MEDICINA DE REHABILITACIÓN**  
P R E S E N T A:  
**ITZEL FERNÁNDEZ CAMACHO**

ASESORES: DRA. VIRGINIA RICO MARTINEZ  
DRA. GRISEL LUPERCIO MORALES  
DR. ALEJANDRO MEDINA SALAS

**DIF**

MÉXICO, D. F.,

2005

0349517



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo ~~receptonal~~.

NOMBRE: Itzel Fernández  
Camacho

FECHA: 17-10-05

FIRMA: Itzel F. C.

## INVESTIGADOR

Itzel Fernández Camacho

Médico residente de tercer año

Especialidad en Medicina de Rehabilitación

## ASESORES



Dra. Virginia Rico Martínez

Médico Especialista en Medicina de Rehabilitación. Directora General del Centro Nacional Modelo de Atención, Investigación y Capacitación para la Rehabilitación e Integración Educativa "Gaby Brimmer"



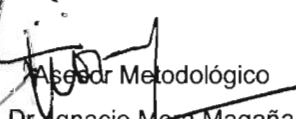
Dra. Griselda Lupercio Morales

Médico Especialista en Medicina de Rehabilitación. Coordinadora Técnica de Enseñanza e Investigación del Centro Nacional Modelo de Atención, Investigación y Capacitación para la Rehabilitación e Integración Educativa "Gaby Brimmer"



Dr. Alejandro Medina Salas

Médico Especialista en Medicina de Rehabilitación. Subespecialista en Rehabilitación Pediátrica. Jefe del Servicio de Rehabilitación del Instituto Nacional de Pediatría



Asesor Metodológico  
Dr. Ignacio Mera Magaña

Médico Especialista en Comunicación Humana. Maestro en Ciencias.



DIF

CENTRO NACIONAL MODELO  
DE ATENCIÓN, INVESTIGACIÓN Y  
CAPACITACIÓN PARA LA REHABILITACIÓN  
E INTEGRACIÓN EDUCATIVA  
" GABY BRIMMER "

EMILIANO ZAPATA 300, STA CRUZ ATOYAC  
BENITO JUÁREZ 03310,  
TEL 30 03 22 00 EXT. 6750

## **DEDICATORIAS**

*Les dedico este trabajo:*

*A ti papá, porque aunque no te pueda abrazar, siempre has estado y estarás en mí, nutriendo y engrandeciendo mis ilusiones. Te extraño.*

*A ti mamá, por ser la estructura que le da sostén a cada uno de mis sueños, por ser la salvía que le dio vida a mi vida y me ha hecho crecer y creer. Te quiero mucho.*

*A ti Enzo, por llenar mi cielo de estrellas, darle color y matiz a esta imagen que es la vida, por ser la más hermosa metáfora de mi realidad. Te amo.*

*Gracias:*

*A mi hermano Tona, por acompañarme y apoyarme en el camino, a veces, recto, a veces sinuoso. Te quiero mucho.*

*A mis tías Lola y Carmen por ser tan grandiosas personas, las adoro, a mi familia de Zacatecas, a mi hermoso Jamel, a los Fernández Meda, los Meda, a Norma y Gaspar, a mis amigas Gladys, Angélica, Anel, Lucy, Cynthia, Güita, Skarlett y Yolanda. Gracias a todos por estar siempre ahí, por todos ustedes sigo adelante.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*A todos mis lindos pacientes y sus papas por enseñarme a luchar cada día para alcanzar la cima, aunque no sepas si algún día vas a llegar.*

*A mis asesores muchísimas gracias por creer en mi.*

*A todos mis amigos de la especialidad, a los gus, por hacer que el trayecto fuera más sencillo, y especialmente a ti Yadira.*

*A Miguel, Karl y al personal del INP, gracias por el apoyo en este proyecto.*

*A todos los médicos de Zapata, INP; Iztapalapa, INNNC, Hospital Colonia, la Norte, el CNR, y a Lulú, gracias.*

**BIORRETROALIMENTACIÓN EN EL MANEJO DE LA FUNCIÓN MANUAL EN  
NIÑOS CON HEMIPARESIA ESPÁSTICA SECUNDARIA A PARÁLISIS  
CEREBRAL**

# ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	4
JUSTIFICACIÓN	41
OBJETIVOS	43
MATERIAL Y MÉTODOS	44
RESULTADOS	47
DISCUSIÓN	50
CONCLUSIONES	61
ANEXOS	62
CUADROS Y GRAFICAS	81
REFERENCIAS	92

## INTRODUCCIÓN

La parálisis cerebral (PC) es una patología que afecta de 2 de 3 por cada 1000 nacidos vivos a término en países desarrollados (1). En 1995 la Secretaría de Educación Pública junto con el DIF y el INEGI, registró a 70 mil presentaron trastornos motores (2). Se define como una lesión que ocurre en un cerebro en desarrollo, antes de los 5 años de edad, que resulta en un trastorno crónico, no progresivo en la postura y el movimiento (3, 4); aunque las lesiones neuropatológicas y la expresión clínica pueden cambiar a medida que el cerebro madura (5). Su origen puede ser prenatal, perinatal, postnatal o adquirida en etapas posteriores (6).

A pesar de los avances en el tratamiento y la prevención de eventos que predisponen a lesión cerebral, la PC continúa siendo la causa más frecuente de discapacidad en la infancia (7, 8). En el Centro Nacional Modelo de Atención, Investigación y Capacitación para la Rehabilitación e Integración Educativa "Gaby Brimmer" la PC ocupa el primer lugar como causa de discapacidad y la primera de consulta pediátrica. En el Instituto Nacional de Pediatría ocupa la 6ta causa de discapacidad (9, 10). La PC hemiparética es la forma más común de PC en niños nacidos a término y ocupa el 2do lugar después de la diparesia en niños prematuros (11, 12).

La deficiencia motora del hemicuerpo lesionado afecta la habilidad para realizar movimientos voluntarios adecuadamente, incluidos los del miembro superior distal en actividades uni o bimanuales, interfiriendo con el desempeño de las actividades personales, escolares y de la vida diaria (13, 14, 15).

Existe una gran variedad de tratamientos de rehabilitación para mejorar la función manual en niños con PC, a pesar de esto, la respuesta terapéutica no es en

todos los casos óptima, por lo que surge la necesidad de conocer la utilidad de otras opciones de tratamiento para favorecer funciones perdidas o no adquiridas.

La biorretroalimentación electromiográfica (BRA-EMG) es un método que puede ser utilizado como herramienta terapéutica complementaria en niños con PC, ya que favorece el movimiento voluntario facilitando el aprendizaje motor. Consiste en una técnica de retroalimentación que provee información directa al paciente acerca de mecanismos biológicos internos, normales y anormales, por medio de un dispositivo electrónico en forma de señales visuales y auditivas, para enseñar al paciente a manipular estos mecanismos (16, 17).

Desde 1960 ha sido investigada la utilidad de la BRA-EMG en el tratamiento del paciente adulto que ha sufrido EVC para mejorar funciones motoras perdidas en el hemicuerpo afectado. En pacientes pediátricos con PC existe poca experiencia en la utilidad de esta opción de tratamiento que permita determinar si la función del miembro superior distal mejora, ya que, las investigaciones se han dirigido predominantemente al miembro inferior, por lo que el objetivo de este estudio fue determinar si la función manual en niños con hemiparesia espástica secundaria a PC es favorecida con el empleo de BRA, a través del diseño de un estudio descriptivo, observacional, longitudinal, prospectivo y prolectivo, donde intervinieron 28 pacientes de entre 5 y 14 años de edad (18, 19,20).

El equipo que fue utilizado es el Biofeedback BioGraph V2.1 ProCompt-Infinity System; el tratamiento fue aplicado a músculos de codo, muñeca y dedos en niños de entre 5 y 14 años de edad. El enfoque se basó en el aumento del arco de movilidad activo de supinación de codo, extensión de muñeca y dedos, con el objetivo de lograr o incrementar movimientos que se encontraban limitados y detectar los cambios que se pudieran reflejar en la función manual; esta fue evaluada por medio de la movilidad activa, dos escalas pediátricas de función bimanual, destreza manual unilateral con la escala de Jebsen-Taylor, calidad de la pinza fina y de manera asociada, el efecto en el grado de espasticidad por medio

de la escala de Ashworth modificada, después de la aplicación de 18 sesiones de BRA-EMG (Anexo 1,2).

El programa de tratamiento fue diseñado para la realización de esta investigación de acuerdo con los objetivos y grado de dificultad en tres: contracción, relajación y contracción-relajación (Anexo 3, 4), siguiendo una secuencia que llevara a lograr una tarea específica definida previamente, esta tarea fue simple y aislada lo que permitió que tuviera éxito con la posibilidad de poder aumentar posteriormente la complejidad.

El estudio mostró mejoría en la movilidad activa del codo, muñeca y dedos, manipulación bimanual, destreza unimanual, pinza fina y disminución de la espasticidad lo cual se puede englobar en mejor desempeño motor manual y en la posibilidad de realizar con mayor destreza actividades de vestido, higiene, alimentación y escolares.

La BRA-EMG es una opción terapéutica útil para mejorar la función manual en el lado afectado en pacientes con PC hemiparesia espástica de entre 5 y 14 años de edad; la respuesta fue independiente del género, grado de escolaridad, hemisferio afectado, causa de lesión y coeficiente intelectual.

## ANTECEDENTES

### EPIDEMIOLOGÍA

En 1995 la Secretaría de Educación Pública llevó a cabo conjuntamente con el DIF y el INEGI, el registro de menores con discapacidad; el cual identificó a más de 2 millones 700 mil niños con algún signo de discapacidad; de los cuales, 70 mil presentaron trastornos motores. La OMS define la PC como un síndrome caracterizado por anormalidad del sistema nervioso central inmaduro contenido dentro de la cavidad craneana con característica de irreversible y no progresivo que presenta alteraciones motoras, acompañado de manifestaciones perceptuales secundarias (2). La PC hemiparética por daño cerebral pre o perinatal se ha convertido en la forma más común de PC en niños nacidos a término y ocupa el 2do lugar después de la diparesia en niños prematuros (11). Dentro de la clasificación Estadística Internacional de Enfermedades (CIE 10) encontramos a la PC y otros síndromes paralíticos dentro de los cuales, el apartado G80.2 es la hemiplejía infantil. En la clasificación del año 2001 la PC hemiparética se incluye en la clasificación de las alteraciones de la postura y movimiento como hemiplejía/hemiparesia. La PC es el universo del cual la insuficiencia motora de origen central (IMOC) es la parte del padecimiento con problema motor pero sin alteraciones asociadas (deficiencia mental, déficit sensorial, problemas conductuales); tiene las mismas causas de origen pero se han preservado las facultades intelectuales para permitir una escolarización (21, 22).

Desde 1980 la prevalencia de la PC ha aumentado en países desarrollados en niños con peso menor de 2,500 gramos al nacimiento. En niños con muy bajo peso al nacimiento (menos de 1,500 gramos) se ha incrementado de 12.2% en 1960 a 27.2% en 1986. La incidencia de PC en niños con peso mayor de 2,500 gramos es de 1.3:1000, de 8.5:1000 en niños entre 1,501 y 2,499 gramos, y de 77:1000 en neonatos con peso menor a 1,500 grs. (3) pesar de fluctuaciones en la

frecuencia de la PC a través de los años, en las últimas cuatro décadas el rango ha permanecido entre 2 y 3 por 1000 nacidos vivos (2, 3).

## ETIOLOGÍA

A pesar de todos los factores asociados, la etiología en muchos casos es desconocida. El 55% de los niños diagnosticados con PC tienen Apgar al minuto de 7 o mayor, y el 73% tiene ese mismo valor a los 5 minutos. Sólo en los niños que reciben un Apgar menor de 3 a los 20 minutos se puede esperar que tengan daño cerebral (3). Un Apgar de 3 a los 10 o 15 minutos presenta un riesgo de 10 a 15% de desarrollar PC, un Apgar de 3 o menor al minuto está asociado a una morbilidad de 1.7% al año de edad y con ese mismo puntaje a los 20 minutos la muerte se da antes del año en el 87% de los casos con morbilidad en el 36% de los sobrevivientes (9).

Los factores que incrementan el riesgo de PC son edad materna menor a 16 años, predisposición genética con antecedentes familiares, historia de embarazos anormales y pérdida de productos o muerte de éstos, factores socioeconómicos y cuidado prenatal tardío e inadecuado, agentes tóxicos o teratógenos ambientales o ingeridos por la madre, alcoholismo o tabaquismo en la madre, (9) retraso mental o epilepsia en la madre, la administración de estrógenos u hormonas tiroideas durante el embarazo, enfermedad cardiorrespiratoria materna severa, trauma abdominal durante el embarazo, infecciones maternas intrauterinas como toxoplasmosis, rubéola, citomegalovirus y herpes simple, complicaciones placentarias como corioamnioitis, inserción baja de placenta, infartos placentarios, sangrado en el último trimestre de embarazo, proteinuria severa en el último trimestre de embarazo con preeclampsia o eclampsia (3), embarazos múltiples, peso bajo al nacimiento, peso bajo para la edad gestacional, edad gestacional de 32 semanas o menor, retardo en el desarrollo intrauterino, malnutrición fetal, anoxia intrauterina crónica, hemorragia intraparto, periodo de dilatación prolongado, hospitalización neonatal prolongada malformaciones congénitas como microcefalia,

porencefalia primaria (9), hipoplasia o agenesia de un hemisferio (10), malformaciones o dismorfismos fuera del sistema nervioso central. La prematuridad es el antecedente más frecuente de PC. Las causas posnatales son la minoría; en el periodo neonatal, las complicaciones sistémicas que afecten la función pulmonar o circulatoria pueden llevar a hipoxia cerebral, la hemorragia intra o periventricular y los infartos hipóxicos que son frecuentes en los prematuros, la encefalopatía por bilirrubina secundaria a enfermedad hemolítica o isoimmunización, las infecciones neonatales con septicemia y la meningitis. Dentro de otras causas posnatales están los accidentes cerebrovasculares, encefalopatías, convulsiones, envenenamiento o patologías que se compliquen con anoxia, isquemia, hemorragia, u otro tipo de lesión neural no progresiva como el traumatismo craneoencefálico, incluido el secundario a abuso físico (8).

## ANATOMÍA

Las vías motoras descendentes o motoneurona superior está formada por una vía directa, el fascículo corticoespinal y vías indirectas. El fascículo corticoespinal o piramidal desciende desde la corteza cerebral, atraviesa la sustancia blanca subcortical, es decir, la corona radiada, la cápsula interna en su brazo posterior, el pedúnculo cerebral, la porción basilar del puente y la pirámide del bulbo raquídeo; se decusa entre el 75 al 80% de sus fibras con el fascículo del lado contrario en la parte baja del bulbo raquídeo y desciende en las columnas anterior y posterolateral de la sustancia blanca de la médula espinal. La pirámide bulbar contiene cerca de un millón de axones que se originan de las células de Betz (23), aunque de éstas, sólo entre el 3 y 4% se origina directamente en la corteza motora y premotora (áreas 4 y 6 de Brodmann), el resto se originan de la corteza motora complementaria, corteza sensitiva-somática primaria (áreas 3, 1 y 2) y en la parte superior del lóbulo parietal (áreas 5 y 7) (24). Terminan en neuronas internunciales en la zona intermedia de la sustancia gris espinal y solo 10 a 20% de los axones corticoespinales establecen conexiones sinápticas directas con las grandes motoneuronas de las astas anteriores. Conforme este fascículo desciende,

envían colaterales al cuerpo estriado, el tálamo, el núcleo rojo, el cerebelo y la formación reticular. Este fascículo tiene una organización somatotópica; los grupos musculares contralaterales de la cara, brazo, tronco y pierna están representados en la corteza motora primaria. Las vías indirectas son los fascículos corticorubroespinal, corticoreticulospinal, corticovestibulospinal y corticotectospinal los cuales no corren por la pirámide.

Las lesiones que afectan sólo la corteza motora producen hipotonía y debilidad de músculos distales de las extremidades. La lesión de la corteza premotora ocasiona debilidad, espasticidad y aumento de los reflejos de estiramiento (23).

La neurona motora central envía incitaciones para la motilidad voluntaria, en tanto que inhibe la motilidad refleja, somática, estática, y automática (21). La corteza motora y premotora sintetizan acciones agonistas en una variedad infinita de patrones de graduación fina, muy diferenciados, discretos, fásicos y distales. Se encuentran bajo la información sensitiva visual, táctil y propioceptiva, y reciben el apoyo de mecanismos posturales. La corteza motora está organizada en movimientos, es decir, en contracción coordinada de grupos musculares, no en músculos individuales (23).

## CLASIFICACIÓN TOPOGRÁFICA DE LA PARÁLISIS

La vía corticoespinal puede lesionarse en cualquier punto de su trayectoria causando un síndrome de neurona motora central (23). La parálisis se distribuye de manera diferente dependiendo el sitio de la lesión, la monoplejía/monoparesia afecta solo una extremidad, la paraplejía/paraparesia afecta ambos miembros inferiores, la diplejía/diparesia afecta las cuatro extremidades con predominio en miembros inferiores, la triplejía/triparesia afecta a tres extremidades, la tetraplejía/tetraparesia y la doble hemiplejía afecta las cuatro extremidades y la hemiplejía/hemiparesia que es la forma más común de parálisis, afecta el miembro

superior, inferior y en ocasiones la cara de un lado del cuerpo, en la mayoría de los casos, es atribuible a lesión del sistema corticoespinal en el lado opuesto de la parálisis (24). Una lesión antes de la zona de decusación causa un síndrome de neurona motora central contralateral (21).

Las lesiones de la motoneurona superior tienen en común, que siempre afectan grupos musculares, nunca músculos individuales, nunca abarcan todos los músculos de un lado del cuerpo, y los movimientos invariablemente bilaterales como los de los ojos, faringe, laringe, cuello, diafragma y abdomen se afectan poco o permanecen indemnes (24).

## FISIOPATOLOGÍA

La lesión cerebral por hipoxia-isquemia es un problema neurológico importante propio del periodo perinatal. Esta importancia se relaciona con la gravedad de las lesiones y con el número alto de lactantes afectados. Los déficits neurológicos que causa son principalmente parálisis cerebral, con déficits cognitivos y crisis convulsivas acompañantes o sin ellos (25).

La encefalopatía por hipoxia-isquemia neonatal conlleva a la aparición final de isquemia, esto es, disminución del flujo sanguíneo hacia el cerebro, por lo general, pero no necesariamente precedida o acompañada por hipoxemia, esto es, decremento en la cantidad de oxígeno. La hipoxemia da pie a lesión cerebral al causar alteración miocárdica y pérdida de la autorregulación cerebrovascular; la isquemia es la principal consecuencia. Las características temporales y la gravedad de la hipoxemia y de la isquemia, así como la edad gestacional, son los principales determinantes en la neuropatología. En el caso de la hemiparesia/hemiplejía, la necrosis cerebral isquemia focal o multifocal es la base anatomopatológica. Afecta más a la extremidad superior que a la inferior, el sitio de lesión, es habitualmente, la distribución de la arteria cerebral media. La hemiparesia sucede en un 25% de los lactantes a término con infarto cerebral

unilateral. La probabilidad de hemiparesia depende de la magnitud de la lesión o de la presencia de afección, aunque no grave, del hemisferio contralateral o ambas. De este modo, la posibilidad de hemiparesia es de cerca del 100% si está afectada la distribución del tallo de la arteria cerebral media, esto es, la corteza cerebral, la sustancia blanca, los ganglios basales y el extremo posterior de la cápsula interna. Si están afectadas las distribuciones de una rama cortical o únicamente los vasos lenticuloestriados, la probabilidad de hemiparesia es de menos del 10%. Cuando hay afección del hemisferio contralateral al infarto, incluso si es leve, la hemiparesia puede presentarse hasta en un 100%. Esto se relaciona con inhabilidad del hemisferio opuesto para restablecer su inervación por el fascículo corticospinal ipsolateral desarrollado en etapas más tempranas, cuya presencia se ha demostrado en pacientes hemipléjicos de mayor edad. Esta plasticidad puede requerir de muchos meses para evolucionar (26, 27).

## SÍNDROME DE NEURONA MOTORA CENTRAL

El síndrome de neurona motora central es una entidad caracterizada por la disminución o ausencia de movilidad voluntaria asociada a la espasticidad, en el cuál hay aumento en el tono muscular, de los reflejos de estiramiento muscular y la presencia de reflejos patológicos como Babinski, sus sucedáneos, y clonus (28).

El tono muscular es el grado de contracción que mantiene un músculo en reposo, y clínicamente, es la resistencia experimentada ante el estiramiento pasivo de un músculo o grupo muscular (29). La espasticidad se define como el aumento en la resistencia al estiramiento pasivo de un músculo que depende de la velocidad del movimiento y se acompaña de exaltación de los reflejos tendinosos (21, 23), los vientres musculares tienden a parecer más prominentes y la palpación demuestra aumento de la firmeza y resistencia al desplazamiento de los músculos afectados (21). Existe un patrón específico de reacción de los músculos al estiramiento pasivo donde la resistencia, se incrementa en forma lineal en relación con velocidad del estiramiento y existe una exageración de los reflejos de estiramiento

muscular. Los músculos que actúan contra la gravedad – los flexores de los miembros superiores y los extensores de los miembros inferiores – son lo que se afectan de manera predominante. El fenómeno de “navaja de muelle” se manifiesta al estirar de manera repentina el músculo, este se mueve con libertad una cierta distancia, después ocurre una detención repentina y luego resistencia muscular cada vez mayor hasta un punto, en que la resistencia se disipa (23). Esta última es una respuesta refleja inhibitoria originada en los husos neurotendinosos de Golgi con influencia del sistema reticulospinal. El grado de espasticidad y las posturas anormales pueden variar por excitación, miedo, ansiedad, cambios de postura y movimientos bruscos (29).

Los mecanismos causantes de espasticidad son complejos y todavía en proceso de investigación. El asa gamma es básica en el mantenimiento del tono muscular; los husos musculares están formados por fibras musculares especializadas: los núcleos de la bolsa y los núcleos de cadena, provistas de terminaciones nerviosas aferentes y eferentes. Las fibras con núcleos de bolsa, tiene en cada polo, elementos contráctiles y, en el centro la bolsa nuclear. El reflejo de estiramiento muscular es un arco monosináptico con una sinapsis excitatoria en las neuronas motoras alfa que inervan las fibras extrafusales, la contracción acorta pasivamente los husos musculares y las bolsas nucleares disminuyendo la actividad de las fibras anuloespirales. Las eferencias por medio de fibras gamma produce contracción de las fibras intrafusales y alargamiento pasivo de las bolsas nucleares, aumentando su sensibilidad a mayor estiramiento. El nivel de actividad de este sistema esta condicionado por las vías descendentes, facilitadoras e inhibitorias, que pueden ser de carácter tónico o fásico. Los receptores de estiramiento de umbral más alto son los órganos tendinosos de Golgi los cuáles, por medio de un arco polisináptico, inhiben a las neuronas motoras alfa del músculo de origen y facilitan sus antagonistas (23).

La intensificación anormal de los reflejos de estiramiento espinal es en parte resultado del aumento en la excitabilidad de las sinapsis centrales participantes en

el arco reflejo; al parecer las sinapsis espinales previamente inactivas o silentes, se pueden volver activas después de la afectación a los impulsos motores descendentes aumentando la eficiencia del arco reflejo (21). Hasta hace poco se pensaba que el incremento de los reflejos miotáticos o de estiramiento y la espasticidad, eran resultado de un fenómeno de liberación por la interrupción de las vías inhibitorias descendentes. Esto es solo una parte de la explicación, ya que también está mediado a través de aferentes de los husos musculares (incremento de la actividad tónica de las motoneuronas gamma) y a nivel central, a través de las vías reticuloespinal y vestibuloespinal por medio de influencias facilitadoras de naturaleza tónica que actúan sobre las motoneuronas alfa (23). Por lo tanto, las respuestas hiperactivas de las motoneuronas alfa y gamma, pero especialmente de la alfa, tienen efecto sobre el grado de espasticidad. Las motoneuronas alfa, reaccionan especialmente a estímulos propioceptivos de los receptores de estiramiento. Las fibras gamma y beta hipersensibles estimulan los husos musculares a una velocidad más alta de descarga aumentando la respuesta al estiramiento muscular. La disminución en la inhibición de las células de Renshaw tiene también influencia en los mecanismos de espasticidad (21).

Los reflejos de estiramiento pueden irradiarse o diseminarse a otros músculos o grupos musculares por la propagación de la onda de vibración desde el hueso hacia el músculo, que estimula los husos musculares excitables en su camino, lo anterior también explica el signo de Hoffmann. El estado hiperrefléctico puede causar clonus o clono, que consiste en una serie de contracciones musculares involuntarias rítmicas causadas por una serie de reflejos miotáticos, con una frecuencia de 5 a 7 Hertz como reacción a los estímulos de estiramiento aplicados de manera repentina y sostenida que no se modifica de manera apreciable al alterar las actividades del sistema nervioso periférico o central. Se da por la hiperexcitabilidad sostenida de las motoneuronas alfa y gamma y por la sincronización del ciclo de contracción y relajación de los husos musculares (21, 23). Los reflejos superficiales están disminuidos o ausentes como son los cutáneomusculares abdominales y el cremasteriano. El signo de Babinski forma

parte de los reflejos de flexión medulares nociceptivos y suele estar presente (23); en el miembro superior, se observa el reflejo Hoffmann que es indicativo de lesión en la vía piramidal (21).

## MANIFESTACIONES CLÍNICAS DE LA PC HEMIPARÉTICA

La edad promedio de diagnóstico de PC hemiparética es a los 21 meses, aunque algunos son detectados a los 6 meses. La fase hipotónica es usualmente corta y con frecuencia pasa desapercibida, un periodo hipotónico largo sugiere un déficit motor más severo. Los hitos motores gruesos del desarrollo por lo general están retrasados 4 a 6 meses, y la mayoría de los niños ya caminan a los 3 años, aunque con un patrón hemiparético. La extremidad superior se encuentra con el hombro en aducción, el antebrazo en pronación, la muñeca flexionada, el pulgar aducido y flexionado sobre la palma, y los dedos en flexión o hiperextensión en las articulaciones interfalángicas (6, 30). En el periodo neonatal, los movimientos asimétricos de las extremidades se identifican al observar la cantidad y calidad de la motilidad espontánea o de movimientos desencadenados después de sacudir al lactante con suavidad, en la mayoría de los casos, el movimiento de las extremidades es simétrico con el reflejo de Moro. La asimetría en el uso de una de las extremidades superiores con una aparente preferencia manual al año de edad se considera un signo temprano de hemiparesia (6). Se han descrito trastornos de las funciones sensitivas corticales como la estereognosia, discriminación de dos puntos, grafestesia, propiocepción, topognosia y funciones visoespaciales en niños con lesiones unilaterales atribuidas al daño del lóbulo parietal que ocurre en aproximadamente el 50% de los casos.

Los arcos de movilidad tanto pasivos como activos se van limitando gradualmente (25), la hipertonia tiende a colocar las articulaciones en posiciones anormales, la célula muscular tiende a acortarse, experimenta remodelación con pérdida de sarcómeros, aumento del contenido de colágeno y disminución de la proporción de fibras tipo II lo que lleva al desarrollo de contracturas, especialmente

en los pronadores de antebrazo, flexores de codo, muñeca y dedos (18). El desequilibrio muscular entre los músculos espásticos y los antagonistas débiles se da por la desventaja mecánica en que estos últimos trabajan, y dado que no pueden contrarrestar el efecto de los músculos espásticos, acaban volviéndose verdaderamente débiles por desuso, la atrofia muscular por desuso no es intensa y es de evolución lenta ya que se preserva el efecto neurotrófico de la inervación motora. Los músculos espásticos se encuentran débiles, puede existir debilidad al inicio o en el transcurso del movimiento, aunque no existe una relación constante entre la espasticidad y la debilidad; la debilidad grave se puede acompañar sólo de signos leves de espasticidad (23).

Los grupos musculares o cadenas musculares utilizadas en los patrones de movimiento son anormales, con movimientos en masa y estereotipados (23, 30). El movimiento voluntario es deficiente, tiene las características de tener poca suavidad, coordinación y dificultad para que sea aislado (23, 7). Otros fenómenos son las sincinesias que es la activación de los músculos paralizados como parte de ciertos automatismos y los movimientos en espejo que son movimientos acompañantes de movimientos normales, es decir, movimientos de imitación. El desarrollo normal de los músculos y del sistema musculoesquelético en las extremidades afectadas se retrasan, incluso el tronco es más pequeño en el lado afectado resultado de lesión en la corteza motora y las partes adyacentes del lóbulo parietal (23), esta discrepancia tiende a ser mayor en el miembro superior, lo cual puede llevar a escoliosis, secundaria también a asimetría en la función y al mal alineamiento del cuerpo (6).

A pesar de la limitación funcional en la mano parética, se espera que los pacientes se vuelvan independientes en las actividades de la vida diaria a menos que, el déficit cognitivo o perceptual, interfiera con el aprendizaje de autocuidado (8). En algunas patologías asociadas a PC que tienen un origen genético como la esquizencefalia y la polimicrogiria es frecuente que el daño predomine en el miembro superior (31).

Durante los primeros 4 años de vida, los niños desarrollan normalmente patrones invariables de co-coordinación al tomar objetos, indicativo de un control del movimiento automático (32, 33). El SNC forma sinergias funcionales o patrones de movimiento que a pesar del gran número de músculos involucrados, permite que el movimiento sea controlado; el SNC combina los músculos en grupos para lograr el control como un grupo y no como músculos individuales, cada sinergia es controlada por un comando central único. Este patrón motor no es innato y se va desarrollando secuencialmente a través de años de práctica, al mismo tiempo que se desarrolla el control de la fuerza; es paralelo al desarrollo de la habilidad manual, al crecimiento y maduración de representaciones corticales y sinergias, y a la maduración del sistema corticoespinal (33); los niños con PC hemiparética presentan un pobre desarrollo de estos patrones. La falta de destreza es secundaria a espasticidad con problemas en la regulación de la fuerza, cambios musculoesqueléticos secundarios, así como a las alteraciones en el control neural lo que afecta la fuerza, control y secuencia de movimientos durante la manipulación de objetos afectando los movimientos alternantes rápidos como consecuencia de la organización neurológica anormal y las sinergias (14). Son muchas las áreas corticales involucradas en el control de las actividades de la mano, el área motora primaria, el área motora suplementaria, el área premotora y áreas subcorticales como los ganglios basales y el cerebelo, lo que ha sido demostrado por resonancia magnética funcional (RMf). No existe una sola zona de representación cortical para la función manual, éste es un sistema paralelo que requiere de varias áreas, la pérdida de la función de uno de estos componentes se puede compensar por otras partes del sistema. Las lesiones perinatales que involucran al lóbulo frontal tienen un gran impacto en el desarrollo de las sinergias (33). Las lesiones tempranas de cuerpo estriado u otros circuitos de los ganglios basales antes del aprendizaje de la destreza manual, afecta el desarrollo de sinergias y de patrones motores adecuados; si ya se llevó a cabo este aprendizaje como sucede en el adulto, las secuelas son menores (34). El daño a la corteza parietal afecta los aspectos espaciotemporales del movimiento, incluyendo los del miembro superior para posicionarse, dirigirse y orientarse al objetivo (35), la secuenciación de

movimientos y la integración de la información sensorial para lograr que el movimiento se realice en la secuencia correcta (36).

La transferencia de información sensitiva entre ambas manos a través del cuerpo calloso impide la generalización de las representaciones internas entre las manos (37). Existen diferencias interhemisféricas en la organización de vías motoras y sensitivas, en el caso de la sensibilidad, se preservan las proyecciones sensitivas contralaterales normales a diferencia de las vías motoras que se reorganizan. La retroalimentación sensorial propioceptiva es fundamental para la ejecución de movimientos voluntarios de la mano, la interrupción de estos impulsos sensitivos afecta la percepción cinestésica; al disociarse la información sensitiva y los comandos motores en diferentes hemisferios existe disfunción motora, por lo tanto, las proyecciones corticoespinales contralaterales son importantes ya que tienen más contacto con la información sensitiva (38). En el proceso normal, antes de tomar un objeto se planea la cantidad de fuerza isométrica requerida basado en los objetos manipulados previamente que crean representaciones internas (39), la información táctil y el peso de los objetos permite la manipulación adecuada, esta información llega hasta que el objeto se toma y manipula, en estos pacientes, las representaciones iniciales están alteradas por lo que les toma más tiempo el desarrollo de estas representaciones, compensándolo por vía visual (15, 40, 41).

Con frecuencia, los niños con PC hemiparética de 6 a 8 años tienen la coordinación de un niño de 1 año, su fuerza al tomar los objetos es excesiva y variable (41), presentan incluso alteraciones motoras manuales bilaterales (37). El pobre control postural y la influencia de la actividad refleja afecta la habilidad para coordinar brazos y manos, y para desarrollar adecuadamente actividades funcionales. Se requiere del desarrollo de secuencias de movimientos coordinados junto con las habilidades visuales-perceptuales, para permitirle alcanzar, tomar, soltar y manipular objetos (15). Las destrezas funcionales ojo-mano son esenciales para la escritura y las actividades prevocacionales, los problemas visuales como la

agudeza y la percepción visual interfieren en la motricidad fina y en los mecanismos de coordinación ojo-mano.

La mano en la PC tiene limitaciones en la supinación y extensión de la muñeca, requiere mantenerse en una posición de alrededor de 45 grados de supinación, con la muñeca en ligera extensión para escribir y dibujar, esta tarea requiere de prensión estática del lápiz y movimiento simultáneo del brazo y antebrazo; para manejar un teclado, las manos suelen mantenerse en pronación con las muñecas en ligera extensión, por lo tanto las limitaciones de la mano espástica interfieren con las destrezas para la comunicación escrita (41).

Los movimientos en espejo son movimientos no intencionados que acompañan a la actividad voluntaria en músculos homólogos en el lado opuesto del cuerpo, particularmente en músculos distales de la extremidad superior. Son característicos del SNC inmaduro e interfieren con la habilidad para realizar movimientos precisos, especialmente los bimanuales. Se consideran normales durante el desarrollo normal, pero son considerados patológicos al ser pronunciados y persistentes, con la maduración tienden a disminuir, lo que no sucede en pacientes con PC hemiparética (42). Son considerados movimientos en espejo cuando son involuntarios, reproducibles y fásicos, no incluye contracciones tónicas ni componentes fásicos o movimientos erráticos de un solo dedo (43). La valoración de los movimientos en espejo esta basada en los criterios de Woods y Teuber, se evalúa la presencia e intensidad de los movimientos en espejo durante movimientos repetitivos de los dedos y durante pronosupinación. Los movimientos no intencionados en la otra mano se gradúan de 0 a 4: 0: sin movimiento claro imitativo, 1: movimiento imitativo apenas discernible, 2: movimiento imitativo obvio pero no sostenido, o fuerte pero corto, 3: movimiento imitativo fuerte y sostenido, y 4: movimiento idéntico. Un mecanismo que explica los movimientos en espejo es probablemente la actividad cortical bilateral por fallas en la inhibición del cuerpo caloso, lo que hace que esta actividad cortical se proyecte a músculos homólogos contralaterales. A mayor edad, la mielinización de las fibras del cuerpo caloso

conlleva que los movimientos en espejo disminuyan en personas normales resultado de la inhibición interhemisférica, y dado que los mecanismos que explican los movimientos en espejo patológicos son los mismos, se puede asumir que la práctica del movimiento contribuye al desarrollo de patrones neurales más lateralizados (42).

## PLASTICIDAD CEREBRAL

La plasticidad se define como la capacidad del sistema nervioso central para poner en marcha un amplio rango de respuestas para adaptarse a los requerimientos de su entorno que explica los diversos mecanismos existentes de neuroplasticidad.

La reorganización después de lesiones cerebrales en etapas tempranas de la vida está determinada por el estado de maduración de SNC al momento de la lesión, por las propiedades estructurales, y la localización y extensión de la lesión. Las capacidades compensadoras del SNC inmaduro después de lesión cerebral focal son superiores en el paciente pediátrico respecto al adulto.

La corteza cerebral tiene la habilidad adaptarse a las lesiones a través de cambios celulares de reorganización en áreas de corteza intacta, y del desenmascaramiento o formación de nuevas vías. Las posibilidades de plasticidad son variadas, dentro de éstas están: 1. Proyecciones de la corteza no afectada que funcionan como nuevas proyecciones después de la lesión temprana 2. La estabilización de proyecciones temporales que también provienen de la corteza motora sana pero que se estabilizan y quedan de manera permanente después de la lesión. 3. Proyecciones corticoespinales normales de la corteza motora sana establecidas de manera más extensa o fortalecimiento de sus conexiones lo que da como resultado, que a diferencia de un adulto en que son débiles y predominan en músculos proximales, en un niño sean fuertes y con influencia en músculos distales y 4. Conexiones corticales reforzadas hacia vías del tallo cerebral que se

proyectan bilateralmente al tracto reticuloespinal con proyecciones a neuronas motoras (42).

Otra clasificación para las formas de reorganización cerebral después de estas lesiones es en 2 tipos: la reorganización premotora y la motora primaria. La variedad premotora se da en pacientes con lesiones menores, el hemisferio dañado es todavía capaz de mantener el suficiente control motor sobre la mano y clínicamente, tiene afectación motora moderada y existe poca evidencia de reorganización en el hemisferio no afectado. El segundo tipo de reorganización, la primaria motora se observa en pacientes con afección severa secundaria a lesiones extensas antes de los 2 años, edad que es crítica por la presencia de inhibidores del crecimiento axonal asociados a la mielina.

Otro proceso de reorganización que se ha observado es que las áreas motoras del giro precentral sufren cambios microscópicos en que sus células piramidales se convierten en interneuronas. En el feto humano, los axones corticoespinales alcanzan sus zonas determinadas en la médula espinal cervical a las 24 semanas, y están en proceso de sinaptogénesis en el periodo del supuesto insulto que es alrededor de las 24 a 36 semanas, la decusación de haces piramidales ocurre antes de que ingresen a la médula espinal, por lo que se supone que en lesiones adquiridas después de las 24 semanas, las proyecciones ipsolaterales motoras se dan en el periodo en que se vuelven a cruzar de fibras de la médula espinal. Existen 2 mecanismos para el desarrollo de estas proyecciones ipsolaterales: factores locales que detectan la denervación de neuronas espinales del lado parético que induce ramificación de axones corticoespinales del lado sano y se proyectan contralateralmente, estas nuevas ramas colaterales vuelven a cruzar la línea media para inervar neuronas motoras del lado parético; en el segundo proceso, proyecciones transitorias que normalmente se pierden, se preservan en lesiones tempranas, lo que da como resultado, proyecciones ipsolaterales no ramificadas, así como mayor número de axones piramidales en la corteza motora del hemisferio no afectado (11).

La actividad motora estimula la liberación de glutamato y catecolaminas que son factores neurotróficos capaces de promover la remodelación sináptica y cambios en la expresión de receptores. El factor de crecimiento nervioso mejora las funciones motoras y reduce la atrofia dendrítica en las neuronas piramidales remanentes (44).

Está demostrado incluso en adultos, que los mecanismos de reorganización se pueden llevar a cabo con tratamiento rehabilitatorio incluso después de 14 años post-EVC, principalmente si el tratamiento se enfoca a la detección de errores, la repetición y la planeación motora. Los mecanismos posiblemente relacionados a esto han sido: los cambios en la excitabilidad de la membrana, la remoción de inhibición local y cambios en las sinapsis. Las áreas premotoras, corteza parietal y cerebelo son las que se relacionan con mayores mejorías después de terapia por lo que se consideran áreas de importancia para la recuperación del movimiento. Está demostrado que el entrenamiento motor resulta en mejoría en el desempeño del movimiento que se asocia a reorganización cortical (45).

## LA FUNCIÓN MANUAL

La mano del hombre tiene como función principal la prensión, está dotada de una gran riqueza funcional; desde el punto de vista fisiológico, representa el extremo efector del miembro superior que constituye un soporte y le permite adoptar la posición más favorable para una acción determinada. La mano sirve para muchas funciones importantes que permiten al individuo interactuar con otros y con su ambiente. El hombro, codo y muñeca son estructuras mecánicas que contribuyen a la utilidad de la mano. La correcta sincronización de estas estructuras, junto con la motivación del paciente, produce un nivel alto de destreza y precisión. El codo, la muñeca y los dedos son estructuras que aunque pueden diferenciarse anatómicamente, están relacionadas funcionalmente, el movimiento de una de ellas tiene efecto en la movilidad de las articulaciones vecinas (46, 47).

La función principal del codo es junto con el hombro, dar estabilidad y posicionar la mano para realizar actividades funcionales. La posición funcional del codo es 90° de flexión y a la neutra entre pronación y supinación. La pronosupinación se considera un tercer grado de libertad de la muñeca a pesar de ser llevada a cabo por las articulaciones radiocubital superior e inferior, es indispensable para el control de la actitud de la mano, este control le permite la colocación óptima de la mano para alcanzar un objeto, con la pronosupinación, la mano puede orientarse en cualquier ángulo para coger o sujetar un objeto, es indispensable para llevarse los alimentos a la boca, para la higiene y la protección ya que permite llevar la mano a cualquier punto del cuerpo. Además la pronosupinación tiene un papel esencial durante el trabajo. Existe un acoplamiento funcional entre la pronosupinación y la articulación radiocarpiana. Este acoplamiento funcional obliga a integrar la fisiología de la articulación radiocubital inferior en la de la muñeca, a pesar de que, mecánicamente, este unida a la radiocubital superior (47, 48).

“La muñeca es la articulación clave de la mano”. La muñeca permite a la mano que adopte la posición óptima para la prensión. Los movimientos de flexoextensión de la muñeca son compartidos entre la articulación radiocarpal y la intercarpal. La posición de la muñeca en flexión o extensión influye en la posición de los dedos por la tensión de los músculos largos de los dedos, es decir, los extrínsecos, de hecho, la flexión completa de los dedos, es posible únicamente en 20° de extensión de muñeca, que es la posición óptima de la mano. Los extensores de la muñeca son sinérgicos de los flexores de los dedos y los flexores de muñeca son sinérgicos de los extensores de los dedos. Por lo tanto los movimientos de la muñeca refuerzan la acción de los músculos extrínsecos de los dedos causando una flexión de los dedos más potente. Para poder tomar objetos efectivamente y con la fuerza adecuada, la muñeca debe estar estable, y posicionada en ligera extensión y desviación cubital ya que, la mayor fuerza de las falanges medias y distales se logra en extensión y desviación cubital de muñeca.

La completa organización anatómica y funcional de la mano converge en la prensión, es decir, tomar. La mano alcanza hasta el 90% de la función del miembro superior (46, 47). La posición funcional de la mano es el antebrazo en semipronación, muñeca en extensión de 30-45°, desviación cubital de 15° y dedos ligeramente flexionados que es a partir de la cual se puede llevar a cabo la prensión con el mínimo de movilidad articular.

Existen varios de prensión que se clasifican en tres grandes grupos: presas propiamente dichas, las presas con la gravedad y las presas con acción. Las presas propiamente dichas se clasifican en: digitales, palmares que involucran además de los dedos la palma y centradas que colocan la mano en simetría con el eje del antebrazo.

Las articulaciones metacarpofalángicas se involucran en diferentes tipos de pinzas (46). Desde el punto de vista fisiológico, el extensor común de los dedos es principalmente el extensor de la primera falange (47).

La manipulación de la mano, que normalmente se desarrolla entre el año de edad y los 6 años, se refiere al movimiento de un objeto dentro de la mano. Los componentes de la función motora fina voluntaria descritos en escalas del desarrollo incluyen elementos como apreciación visual o inspección; aproximación y alcance, prensión, manipulación o destreza manual, soltar e interacción o coordinación ojo-mano. Estos movimientos voluntarios están organizados en grupos secuenciales que muestran el desarrollo desde el nacimiento hasta los 15 meses.

La realización de pinza está dividida en varias etapas: abertura la mano, posicionamiento, cierre de los dedos para tomar el objeto, adaptación de la mano a la forma con una cantidad de fuerza determinada por el peso, la superficie o textura y fragilidad, sostenerlo y soltarlo (46). A los 4 meses de edad inicia la prensión palmar activa transitoria, a los 5 meses la prensión cubital, a los 6 meses

la prensión palmar radial con muñeca flexionada, a los 7 meses esta se logra con muñeca extendida pero con escasa liberación activa, a los 8 meses inicia la pinza tridigital con la articulación metacarpofalángica del pulgar extendida, a los 9 meses inicia la pinza entre el pulgar y el índice y la liberación voluntaria, entre los 10 y los 12 meses la pinza entre el pulgar y el índice se refina y ya libera voluntariamente. Del año al año y medio de edad se observa la prensión palmar supina, a esta edad, cuando los componentes esenciales del patrón son funcionales, pueden considerarse la madurez de la prensión primaria. De los 2 a los 3 años la prensión digito-prona, de los 3 años y medio a los 4 años la postura estática en trípode y de los 4 años y medio a los 6 años la postura dinámica en trípode. Un mayor refinamiento, mayor destreza y el uso de herramientas se desarrollan por medio de experiencias aprendidas después de los 18 meses.

El dominio de actividades llevadas a cabo en actividades de la vida diaria u escolares requiere de patrones de movimiento distales de manipulación. Estos movimientos finos constituyen una combinación de patrones simples, realizados secuencialmente y concomitantemente para completar una tarea funcional, por lo tanto, el rol funcional de la mano se logra a través de movimientos combinados de antebrazo, muñeca y dedos llevando al desarrollo de destrezas de manipulación de alto nivel.

El desarrollo atípico se caracteriza por retrasos y patrones anormales, que pueden ser resultado de interrupciones en las secuencias y combinaciones de los componentes del patrón a diferentes niveles del desarrollo. Los niños con PC carecen de componentes del desarrollo de esta actividad. La prensión del niño que ha sufrido daño a la corteza motora es una prensión excesivamente pronada con debilidad de la supinación. Cuando se producen movimientos voluntarios, es posible emplearlos para el establecimiento de un programa de entrenamiento. El principio básico para este aprendizaje es presentar una tarea específica a cada niño en forma aislada con el nivel de simpleza e intensidad en el cual el niño pueda tener éxito y luego aumentar la complejidad (41).

## OBJETIVOS Y EVALUACIÓN DEL MIEMBRO SUPERIOR ESPÁSTICO

Los objetivos en el tratamiento del miembro superior espásticos son: mantener la alineación, el tono muscular normal o cercano a un valor normal, mantener los arcos de movilidad pasivos y activos dentro de rangos normales, prevenir o disminuir las contracturas, mejorar el movimiento voluntario y la destreza para lograr mayor independencia.

El tono muscular se evalúa por medio de la escala de Ashworth modificada en 5 grados: 0: sin aumento en el tono muscular, 1: escaso aumento en el tono muscular manifestado por una detención y liberación o por una mínima resistencia al final del rango de movimiento, 1+: escaso aumento en el tono muscular manifestado por una detención, seguido de mínima resistencia a través del resto del rango de movimiento (menos de la mitad), 2: incremento en tono muscular más marcado en la mayoría del rango de movilidad, pero la parte afectada se moviliza fácilmente, 3: aumento considerable en el tono muscular, movilización pasiva difícil y 4: la parte se encuentra rígida en flexión o extensión (49).

Los arcos de movilidad activos normales del codo son flexión 145°, extensión 0°, pronación y supinación son de 85-90°, en la muñeca la flexión es de 80-90° y la extensión de 70°-90, desviación radial 15°, desviación cubital 30-45°, en las articulaciones metacarpofalángicas flexión 85-90°, extensión 30-45°, en las articulaciones interfalángicas proximales flexión 100-115°, extensión 0°, en las interfalángicas distales flexión 80-90°, extensión 20°. Serán medidos por medio del goniómetro en grados. Los arcos de movilidad funcionales de la muñeca son flexión 5-40° , extensión 30-40°, desviación radial 10-20°, desviación cubital 15-20°, articulaciones metacarpofalángicas flexión y extensión 60°, interfalángicas proximales flexión 60°, interfalángicas distales flexión 40°, flexión de la articulación metacarpofalángica del pulgar 20° (47, 50, 51).

Las pruebas que se aplicaron para valorar la manipulación bimanual, la función unimanual y pinza fina son:

- Escalas de manipulación bimanual:

Prueba 1: Dependiendo de la edad del paciente, se le piden ciertas actividades y se evalúa la intervención de la mano parética. 0: no usa lado afectado, 1: usa el lado afectado con un patrón estereotipado como apoyo en la muñeca para sostener, 2: cooperación del lado afectado para manipulación como sostener con un número restringido de patrones estereotipados y 3: cooperación del lado afectado para sostener y manipular, usa una variedad de patrones. En el niño menor de 7 años se le pide que lance una pelota grande, rompa en pedazos una hoja de papel, enrosque y desenrosque la tapa de una botella de refresco y abra un paquete sellado con cinta adhesiva. En niños mayores de 7 años se le pide que abra un paquete atado con un nudo sencillo, que envuelva un objeto de papel para formar un paquete, que recorte figuras geométricas y las pegue en papel, y que doble una hoja de papel y la introduzca a un sobre (11) (Anexo 1).

Prueba 2: Se valora la calidad de la pinza de la mano parética en ciertas actividades: Que corte con tijeras, cargue una bandeja, abra una botella de refresco, corte una salchicha, suba un cierre de pantalón y abotone, ate unas agujetas y de vuelta a las páginas de un libro. La actividad se gradúa en 4: 0: no lo hace, 1: se asiste sin hacer pinza, 2: se asiste realizando pinza anormal y 3: se asiste con una pinza normal (52) (Anexo 1).

Test de Pinza Fina: Evalúa la calidad de la pinza fina al tomar cubos de 4, 2.5 y 1 cm<sup>2</sup>. 0: inhabilidad para tomar el cubo, 1: toma con toda la mano, 2: pinza radial o tridigital y 3: pinza pulgar-índice (7) (Anexo 1).

Test de Jebsen-Taylor: Es una prueba individual para evaluar la destreza unimanual dividida en siete subpruebas que evalúan aspectos de la función utilizados generalmente en las actividades de la vida diaria. Se compara el tiempo

en segundos antes y después del tratamiento tomado por medio de cronómetro en las siguientes actividades: escribir una frase utilizando una tabla, una hoja de papel y lápiz, voltear 5 cartas de cartón del revés al derecho colocadas sobre una tabla de madera, levantar 5 objetos pequeños colocados sobre la tabla de madera (2 tapas de refresco, 2 monedas de 1 peso y 2 clips, e introducirlos en un recipiente, simular comer con un plato, una cuchara y 5 frijoles crudos tomando cada frijol a la vez y llevándolo a la boca, apilar 5 fichas sobre la tabla de madera, levantar 5 objetos livianos (latas de 500 gramos vacías) y 5 objetos pesados (latas de 500 gramos de peso) cambiándolos de un lugar a otro. Se excluyó la subprueba 1 por la edad de los pacientes (53, 54) (Anexo 2).

## BIORRETROALIMENTACIÓN ELECTROMIOGRÁFICA

La BRA-EMG inició en los años 60; se inició con la exploración de la posibilidad de controlar conscientemente procesos biológicos normales y anormales como la frecuencia cardíaca, la secreción gástrica y la contracción venosa si se informaba por medio de retroalimentación a cerca del estado de estos procesos. Se inició con el entrenamiento de músculos normales en personas con discapacidades para sustituir funciones y aumentar la fuerza en partes dañadas o débiles del cuerpo. Se encontró que al proveer señales visuales o acústicas instantáneas por medio de electromiografía, provenientes de las contracciones invisibles o no sentidas normalmente por los pacientes, podían aprender a elaborar trucos con las más mínimas unidades motoras entrenando el control consciente de células motoras individuales de la médula espinal. Se demostró posteriormente que los humanos eran capaces de aprender a controlar las ondas cerebrales utilizando retroalimentación electroencefalográfica creándose posteriormente, aparatos de BRA que miden la tensión muscular, la temperatura de la piel, la tensión arterial, la frecuencia cardíaca y otros procesos fisiológicos.

En 1969 se formó una pequeña sociedad en la ciudad de Santa Mónica, California en EUA, llamada Biofeedback Research Society formada por un grupo de

investigadores con el objetivo de discutir los mecanismos de retroalimentación biológicos llamados "biological feedback" lo cual fue abreviado por el término "biofeedback". Surgieron 3 grupos o corrientes, electromiográfica, electroencefalográfica y cardiovascular (55).

Su objetivo en la rehabilitación es mejorar el desempeño motor facilitando el aprendizaje motor reforzando la conciencia de la contracción muscular. El aprendizaje motor es definido como "un grupo de procesos asociados con la práctica o experiencia que llevan a cambios en la capacidad de respuesta". El movimiento voluntario es el resultado de una secuencia compleja de procesos neurológicos y mecánicos que controlan la postura y movimiento (18, 56). La BRA-EMG moldea, por medio de señales visuales o auditivas el comportamiento motor, aumenta la información propioceptiva y refuerza el objetivo buscado, teniendo una importante contribución en la rehabilitación neuromuscular (57, 58), su mayor utilidad es en el tratamiento de desórdenes del movimiento; mejora y/o restaurar la actividad muscular voluntaria dañada o perdida por lesión o enfermedad y puede ser utilizado en diferentes padecimientos (59).

Se han desarrollado 3 diferentes enfoques teóricos para explicar el control motor: control motor por cadena cerrada, por cadena abierta y el control motor coordinado por esquemas. El control motor por cadena cerrada se pueden describir como un sistema de autorregulación que contiene retroalimentación, detección de errores y corrección de estos errores como sus elementos clave. Adams en 1971 estableció que existe un mecanismo continuo de comparación por medio de la memoria de movimientos pasados que es llamado trazo perceptual y la retroalimentación inmediata del movimiento que está sucediendo, constituye la base del control motor. El trazo se utiliza como una referencia para ajustar el movimiento basándose en la retroalimentación periférica recibida. Durante la terapia de entrenamiento, este trazo perceptual se desarrolla y se vuelve más preciso como resultado de la retroalimentación sensorial. La propiocepción, la visión, audición y la información táctil son los medios de retroalimentación. Mientras

más mecanismos de retroalimentación existen, el trazo perceptual se vuelve más fuerte y eficiente, resultado del proceso de detección y corrección de errores. Por lo tanto, en esta teoría, la retroalimentación juega un papel dominante en el aprendizaje y control del movimiento. Sin la retroalimentación precisa, el trazo perceptual no se puede desarrollar o forma sólo una referencia "débil", y esa referencia es una guía pobre que no lleva a mejoría, por lo que la retroalimentación es necesaria para mejorar el control motor. Cualquier déficit en el flujo u organización de la información sensorial aferente propioceptiva y exteroceptiva va a resultar en control motor deficiente.

La teoría de cadena abierta explica que los centros cerebrales superiores son lo que contienen los elementos e información necesarios para la coordinación del movimiento por lo que el control motor y la coordinación es posible porque un mecanismo central o programa motor contiene la información específica del movimiento.

Kelee en 1968 definió un programa motor como una secuencia de comandos que están estructurados antes de que el movimiento inicie, y permite la secuencia completa de movimiento sin la influencia de retroalimentación sensorial. La teoría del esquema, puede ser vista como un principio o regla que hace posible reducir en grupos, fenómenos diferentes que en este caso, serían los movimientos en una categoría sencilla. Schidt modificó el concepto de programa motor tradicional que implicaba un programa motor separado para cada movimiento, en un programa motor general para una clase o categoría de movimientos.

Existen dos mecanismos de memoria: la memoria de recuerdos responsable de la generación de impulsos en que un movimiento se lleva a cabo bajo un programa de movimiento previamente estructurado y la memoria de reconocimiento que se encarga de la detección de errores y es de hecho igual a la teoría de trazo perceptual de Adams.

El entrenamiento motor resulta en mejoría en el desempeño del movimiento que se asocia a reorganización cortical, se considera que sin la retroalimentación, es muy difícil este reaprendizaje. Basmajian estableció en sus principios de control neuromuscular relacionado a la BRA, que normalmente la actividad de la corteza parietal resulta de la retroalimentación sensitiva y ocurre después de la contracción muscular inicial; el sistema sensitivo asiste después en el movimiento al percatarse de éste. La actividad en la corteza motora debe preceder al movimiento voluntario, y en la ausencia de retroalimentación sensitiva como es el caso de estos pacientes, el sistema motor no está al tanto de forma normal sobre su actividad neuromuscular. Al aumentar el estado de alerta por medio de BRA, el paciente es capaz de practicar y reforzar el patrón de movimiento deseado. La retroalimentación sensorial artificial se caracteriza por ser cuantitativa, objetiva, precisa e inmediata. La objetividad se refiere a que la información es independiente del estado de alerta del terapeuta, la retroalimentación es consistente y continua y la precisión es respecto al reflejo de la actividad desde el micro nivel como en la actividad de la unidad motora hasta el macro nivel como el movimiento en sí con una respuesta inmediata (55, 60, 61).

El desarrollo de engramas neurológicos para producir ciertos movimientos resulta de la práctica de este. La ejecución de movimientos repetitivos o similares con retroalimentación de receptores cutáneos y propioceptivos del movimiento de la extremidad es crucial para el aprendizaje motor y la recuperación de la función de la mano en el paciente post-EVC. Está demostrado que el entrenamiento activo conlleva mayor mejoría en el desempeño motor comparado con el movimiento pasivo después de periodos de entrenamiento de 30 minutos; esta duración es designada para permitir un periodo de tiempo suficiente para obtener ganancias conductuales medibles, así como cambios neurofisiológicos en los paradigmas de entrenamiento motor. Las áreas activadas de corteza motora, son de mayor magnitud en los pacientes con entrenamiento activo demostrado por Resonancia Magnética Funcional mostrando áreas más excitables de corteza motora y de circuitos intracorticales (62, 63).

El paciente es entrenado en la inhibición de la actividad muscular, cuando se centra la atención del paciente en una unidad o grupo de unidades motoras de un músculo, los músculos alrededor de este, se van relajando progresivamente por un proceso de "inhibición activa" que es probablemente, la parte más importante del entrenamiento motor. Se puede lograr el reentrenamiento de músculos paralizados por medio de inhibición voluntaria de músculos espásticos ya que en las enfermedades o lesiones del SNC existen fallas en la ejecución de patrones de inhibición neural lo que causa una respuesta en masa exagerada a la estimulación local de células motoras en la ME siendo estos patrones, causa de espasticidad. El patrón de inhibición parece provenir de procesos difusos en la corteza cerebral, en los centros del tallo cerebral y probablemente del cerebelo siendo todas éstas, áreas importantes en el aprendizaje motor. La BRA-EMG es un medio útil para informar al paciente acerca de las metas que se van obteniendo (63).

Desde 1960 existen reportes de BRA-EMG en la rehabilitación del paciente adulto con hemiparesia espástica secundaria a EVC (35), desde entonces se ha considerado un tratamiento prometedor para la reeducación neuromuscular en esta patología. Estos pacientes, presentan discapacidad neuromuscular residual especialmente en el miembro superior afectado y la terapia física convencional no es en todos los casos, completamente exitosa en la restauración de la función. En estos casos, la BRA-EMG se ha utilizado como coadyuvante de la terapia física y ocupacional (61). No existe duda de que la BRA-EMG es una herramienta terapéutica incluso en la fase crónica de la hemiparesia secundaria a EVC; esto se ha demostrado por medio de EMG y goniometría, ya que se puede lograr activar de forma más efectiva los músculos entrenados, disminuir la espasticidad y aumentar el rango de movilidad activo y pasivo (35).

En el paciente hemiparético secundario a EVC la utilización de BRA-EMG ha sido variada, desde el control de la subluxación del hombro entrenando la posición de la escápula para restaurar la función estática del hombro en la articulación glenohumeral (64, 65), la mejoría en la función del miembro superior, y la función

ambulatoria del miembro inferior manejando el pie espástico. La BRA-posicional ha sido utilizada con éxito tanto en la rodilla, como en el control postural para la sedestación (57). En la mano espástica se ha manejado la inhibición y el reentrenamiento neuromotor de los músculos débiles y/o espásticos de la muñeca y mano (65).

El primer reporte del estudio de un caso de hemiparesia fue en un hombre de 64 años después de presentar trombosis de la arteria cerebral media, utilizando electrodos de aguja y retroalimentación auditiva, aplicándolo inicialmente en el lado sano para entrenamiento preliminar y posteriormente, en el lado hemiparético en los músculos deltoides, tríceps y flexoextensores de los dedos, después de una hora de tratamiento, el paciente fue capaz de desarrollar un 20% más de la función de esa extremidad. Otro estudio realizado por Andrews en 1960 utilizó electrodos de aguja y BRA-EMG el bíceps y tríceps braquial en 20 pacientes hemiparéticos encontrando que después de solo 5 minutos de tratamiento, mostraron mejoría aunque no se reporta el número de sesiones. Inglis en 1984 realizó un estudio comparativo entre BRA-EMG más terapia física contra terapia física en 15 pacientes con hemiparesia espástica post-EVC, recibiendo 20 sesiones de 1 hora, 3 veces por semana, con valoraciones de la fuerza muscular y el arco de movilidad activo resultando en mayor mejoría de ambos parámetros en el grupo que recibió BRA-EMG más terapia física (61).

En un meta-análisis realizado en 1993 por Aschleenbaker y Mainous con artículos de 1966 a 1991 por medio de Medline, PsycInfo, Rehabdata y Dissertation Abstracts International databases se seleccionaron 124 artículos, de estos, se encontraron 58 artículos originales. Estos estudios mostraron que la BRA-EMG mejora significativamente la funcionalidad del paciente con hemiparesia post-EVC.

El costo efectividad de esta terapia todavía es desconocido así como el tiempo óptimo de utilización como régimen terapéutico (63). En 1970, se comenzó a realizar un enfoque funcional con el tratamiento con BRA-EMG para lograr

mejorar la realización de pinza aunque, el límite entre el efecto en funcionalidad y movilidad aislada todavía no es del todo claro (64).

Mroczek estudio a 9 pacientes con paresia del miembro superior secundario a EVC en un estudio de brazos cruzados en el que la mitad de los pacientes recibieron 4 semanas de BRA-EMG seguido de 4 semanas de terapia física y el otro grupo al contrario, concluyó que la BRA-EMG fue efectiva para mejorar la actividad muscular registrada por electromiografía, pero limitada en entrenar afectivamente la función medida por el arco de movilidad activo (61).

Basmajian en 1982 realizó un estudio piloto en 37 pacientes con hemiparesia secundaria a EVC en la extremidad superior con 15 sesiones de 40 minutos 3 veces por semana por 5 semanas asignados aleatoriamente a 2 grupos, uno que recibió BRA-EMG más terapia física y otro terapia física estándar resultando en mejoría clínicamente significativa (65), por lo que en 1987, el mismo autor realizó otro estudio en 29 paciente con el mismo diagnóstico observando que la BRA-EMG es una forma efectiva de terapia para la restauración del arco de movilidad activo y la fuerza del miembro superior comparado con la terapia de neurodesarrollo de Bobath. Los pacientes recibieron 5 semanas de tratamiento 3 veces por semana con sesiones de 45 minutos, los electrodos se colocaron inicialmente en músculos proximales de la extremidad superior, progresando hacia los distales, desde el deltoides, bíceps y tríceps braquial, flexoextensores de muñeca e intrínsecos de mano. Como criterios de inclusión se consideró que tuvieran la habilidad para extender la muñeca o los dedos y que pudieran obedecer órdenes sencillas. Esa investigación recomendó ciclos de tratamiento de reforzamiento con BRA-EMG para mantener un nivel óptimo de funcionamiento (66). Mandel en 1990 investigó e efecto de la BRA-EMG en la marcha en 37 pacientes hemiparéticos secundario a EVC, con un grupo control que no recibió BRA-EMG y uno experimental con BRA-EMG. Recibieron 24 sesiones, con 240 repeticiones de dorsiflexión de tobillo resultando con mejoría solo sugestiva. En el reentrenamiento de la marcha por medio de BRA-EMG se ha observado que

surgen vías corticales nuevas y más adaptadas que pueden llegar a establecerse por medio de la reeducación asistida por retroalimentación (67).

Shumway-Cook en 1988 estudiaron el efecto de la BRA-EMG en el control postural en pacientes post-EVC para reentrenar el balance en bipedestación mostrando resultados favorables (68).

Wolf y Binder-Macleod en 1984, compararon el efecto de la BRA-EMG más terapia física y terapia física únicamente en la extremidad superior en pacientes post-EVC, resultando en mejoría en el rango de movilidad activo, pasivo y fuerza muscular en el grupo que recibió BRA-EMG (66). Cozean en 1988 realizó un estudio para mejorar la dorsiflexión en pacientes post-EVC, en que introdujo la relajación de los gemelos espásticos que limitaban el desempeño del tibial anterior (64). Neilson y McCaughey entrenaron a 4 adultos con PC espástica para suprimir la actividad involuntaria durante la flexión de codo y disminuyendo la respuesta tónica en reposo para favorecer la extensión de esta articulación (20).

Colborne y asociados en 1993 compraron la utilidad de la BRA-EMG, la BRA-goniometría y la terapia física convencional en 8 pacientes con hemiparesia espástica secundaria a EVC para mejorar el patrón de la marcha entrenando la dorsiflexión del tobillo afectado, concluyendo que la BRA es efectiva en el entrenamiento de la marcha como coadyuvante de la terapia física (69).

En los pacientes post-EVC se ha trabajado en diferentes periodos post-EVC desde meses hasta años por lo que no se ha considerado como una limitante el tiempo de evolución (66, 20) y ha sido reportada hasta un 61% de mejoría funcional en casos de hemiparesia post-EVC (33).

## BRA-EMG EN PEDIATRÍA

Los resultados en los niños han sido variados, pero se ha observado mejoría en la velocidad, el patrón y simetría de la marcha, en el choque de talón, en la distribución del peso, en el arco de movilidad en el caso de utilizar BRA-goniometría, y en el control postural de la cabeza. Es posible aumentar la fuerza muscular, el arco de movilidad activo y pasivo, el movimiento voluntario y disminuir la espasticidad. La evidencia sugiere que los niños con espasticidad pueden aprender a controlar la actividad muscular cuando se les provee retroalimentación instantánea (16, 70).

Skrotzky y asociados en 1978 estudiaron el efecto de BRA-EMG en el tobillo en 4 pacientes con PC de entre 11 y 29 años durante 10 días, mostrando mejoría en el arco de movilidad activo. Mash, Neilson y O'Bwyer en 1989 entrenaron a 3 niños con diparesia espástica para suprimir respuestas reflejas y mejorar la dorsiflexión de tobillo, el rango de movilidad activo mejoró y la espasticidad disminuyó en 2 de los niños, observándose que también hubo efecto en el tobillo no entrenado, lo que indica, que los sujetos aprenden las sensaciones subjetivas asociadas con la relajación muscular y son capaces de aplicar lo aprendido en lado no entrenado. En este estudio se inició con sesiones de relajación de los flexores plantares y posteriormente, con la activación de los dorsiflexores y finalmente, con relajación y contracción simultáneas demostrando al final del tratamiento que la BRA-EMG es efectiva como tratamiento adjunto de la terapia física, en el entrenamiento de la marcha en niños con PC hemiparesia espástica (19).

En 1998 Toner, Cook y Elder realizaron en estudio piloto con 6 pacientes, 2 con PC hemiparesia espástica y 2 con diparesia espástica de entre 4 y 12 años de edad. Recibieron 10 sesiones de 3 horas por 2 semanas para mejorar la fuerza, el arco de movilidad activo y el control motor fino de los dorsiflexores de tobillo mostrando mejoría significativa. El estudio principal realizado posteriormente, se aplicó a 5 niños con PC hemiparesia espástica de entre 4 y 7 años de edad, los

pacientes debían ser capaces de iniciar la dorsiflexión y de comprender las instrucciones. El entrenamiento consistió en sesiones de una hora de BRA-EMG 3 veces por semana y un programa de casa en los 4 días restantes durante 6 semanas. La retroalimentación fue proporcionada durante el fortalecimiento, el movimiento activo por medio de BRA-goniometría y ejercicios repetitivos de golpeteo del pie en el lado afectado; el programa de casa consistió en actividades para fortalecimiento de dorsiflexores de tobillo por medio de un aparato de BRA-EMG portátil con sesiones diarias de 30 minutos. Se les realizaron valoraciones antes del tratamiento, al terminar, 6 semanas y 14 meses después del tratamiento para determinar si los cambios se mantenían. El arco de movilidad activo de tobillo y la capacidad de golpeteo del pie en ambos pies para en este último, mejoraron significativamente pero no se mantuvieron así en la valoración a las 6 semanas postratamiento, aunque sí mejor al compararse a los niveles pretratamiento, a los 14 meses todos los pacientes habían vuelto a niveles pretratamiento. La fuerza de dorsiflexión máxima medida por miómetro en el grupo experimental, no aumentó significativamente. La mejoría en el arco de movilidad activo se puede explicar por la mayor fuerza muscular secundaria al un aumento en el número de unidades motoras reclutadas, y/o mayor frecuencia de descarga en las unidades motoras y por la mejoría en el control motor. Al inicio, el amplificador requería de mayor ganancia para proveer adecuada retroalimentación visual y auditiva, pero posteriormente la ganancia se fue reduciendo de manera gradual (19).

El equipo de BRA que se utilizó es modelo ProCompt BioGraph System V2.1, consta de la caja electrónica, el monitor, el teclado, el ratón de la computadora, las bocinas, el preamplificador, los cables y los electrodos. Los electrodos son la parte que percibe el cambio en el parámetro que se está midiendo, son pequeñas piezas de metal conectadas por de medio alambres al preamplificador y de ahí a la caja electrónica, captan la señal que genera el músculo cuando se contrae, es decir, capta los potenciales de acción de unidad motora y los transmite para que sean procesados. La caja electrónica contiene circuitos eléctricos que amplifican, filtran (10 a 1,000 Hertz), rectifican (equiparan la

polaridad), integran (reúnen almacenan o suman) y transmiten los potenciales mioeléctricos registrados, para ser presentados en el monitor en imagen y en las bocinas en sonido (57, 63). Esto permite al paciente, monitorizar la relajación o contracción de un músculo o grupo muscular en particular. Se utilizan tres electrodos, el primer electrodo es de captación colocado sobre el punto motor, el segundo es de referencia y el tercer electrodo la tierra, la distancia entre el electrodo activo y de referencia es de 2 cm, el electrodo de tierra se coloca entre los anteriores o cercano a éstos (61).

Los músculos fueron elegidos basados en los objetivos de tratamiento y en la anatomía, ya que, algunos músculos no se encuentra de manera superficial por lo que dado que los electrodos son de superficie no se tenía acceso a ellos.

A diferencia de la terapia física y ocupacional, con la BRA-EMG se tiene la ventaja de realizar retroalimentación visual y auditiva inmediata, fácil de comprender y más entretenida. El equipo consta de un software con programas a manera de juegos interactivos, los cuales puede escoger el paciente, de acuerdo a su edad y gusto particular, con variación de los programas dentro de los que fueron escogidos para este estudio, pudiendo variarlos en cada sesión, cuando el paciente lo desee y conforme sus avances, lo anterior logra que el paciente mantenga la atención por periodos más prolongados de tiempo.

Cuando un niño centra su atención en una tarea motora, es más probable que la aprenda, en una primera etapa, centra la atención en el propósito del movimiento; se trata pues, la intención del movimiento o el objetivo de la acción y posteriormente, el aprendizaje de acciones motoras que se emplean para conseguir el objetivo. La retroalimentación con sonidos y demostraciones visuales pueden informar al niño sobre los resultados de sus actuaciones, de modo que aprenden que su movimiento o relajación provoca un sonido o cierto efecto en la pantalla. Si el niño logra realizar la tarea es importante la retroalimentación verbal por parte del médico o terapeuta por lo que son tan importantes las recompensas

intrínsecas como las extrínsecas. Se recomienda premiar al niño junto con la información clara sobre lo que ha logrado para conseguir un objetivo claro y sobre como la ha logrado, aunque solo sea un intento (29).

## ANTECEDENTES DE TRATAMIENTO DE LA PC

La PC puede ser tratada desde diferentes enfoques, existen una variedad de modalidades terapéuticas. Dentro de estas modalidades se encuentran la terapia física y ocupacional.

La terapia física se define como la rama de la medicina que utiliza agentes físicos como la luz, el calor, el agua y la electricidad, así como agentes mecánicos en el tratamiento de las enfermedades (51). La terapia ocupacional se define como el uso terapéutico de las actividades de autocuidado, trabajo y ocio con el fin de incrementar la independencia funcional, mejorar el desarrollo y prevenir la incapacidad.

Entre las modalidades de terapia física más utilizada tanto en EUA como en el Reino Unido es la terapia de neurodesarrollo de Berta y Karel Bobath. Se originó en Inglaterra en 1943 y está basada en la premisa de que el daño cerebral interfiere con el desarrollo normal postural en contra de la gravedad, resultando en patrones anormales de coordinación. La dificultad para el desarrollo motor interfiere con el aprendizaje por medio de la experiencia, con disminución en las influencias sensitivas y perceptivas llevando de manera secundaria, a retraso en el desarrollo. Sus principios son que el sistema nervioso central dañado bloquea el movimiento normal, el tono muscular produce patrones anormales de postura y movimiento, estos patrones afectan las funciones, como la respiración, el habla, la alimentación, percepción, cuidados personales y marcha, y que la base del movimiento es la sensación, lo que exige que la persona sienta movimientos más normales. El tratamiento intenta obtener movimientos activos y automáticos obteniendo retroalimentación sensoriomotora normal a partir de movimientos activos, logrados

sin esfuerzo excesivo. Incluye estimulación táctil para facilitar el movimiento, el movimiento anormal se inhibe manejando puntos clave de control como la cintura escapular y pélvica, las manos o la cabeza mientras se facilita el movimiento deseado y se normaliza el tono muscular. Dentro de rol de esta terapia, está el control de la posición superior del cuerpo y la adquisición de destrezas de la mano para realizar cuidados personales, actividades académicas, de esparcimiento y actividades comunitarias que conducen a mayor independencia (41, 66).

Otro enfoque de terapia física es la integración sensoriomotora; la integración sensorial, es la organización y el procesamiento de la información sensorial de los diferentes canales sensoriales, y la habilidad para relacionar la información aferente de una canal con la del otro, para emitir una respuesta adaptada. Se utiliza la información de tres sentidos básicos que son el tacto, el movimiento y la posición, para planificar, coordinar y secuenciar los movimientos. Los principios terapéuticos de este tratamiento incluyen: normalizar las aferencias sensoriales, considerar el desarrollo en términos del proceso en espiral de la estabilidad / movilidad, determinar la eficacia por la respuesta del paciente y hacer que sea un participante activo. El objetivo es incrementar el registro y la integración de las aferencias sensoriales, desarrollar un control postural, patrones de movimiento maduros y mejorar el esquema corporal (41):

Dentro de los patrones de movimiento sinérgico se encuentra el enfoque de Signe Brunnstrom que consigue movimiento, provocando patrones de movimiento primitivo o patrones de movimiento sinérgico que se observan en el feto o inmediatamente después de la lesión del tracto piramidal. Inicialmente trabaja con respuestas reflejas y *a posteriori* con el control voluntario de estos patrones reflejos. Utiliza las reacciones asociadas y las reacciones manuales.

El enfoque de la facilitación neuromuscular propioceptiva desarrollada por Kabat, Knott y Voss tiene la característica de utilizar patrones de movimiento (denominados en masa) basados en patrones observados en actividades

funcionales como comer, andar o en juegos deportivos. Estos patrones son espirales (en rotación) y diagonales con una sinergia de grupos musculares. Los estímulos sensoriales (aférentes) se aplican para facilitar el movimiento como el tacto y la presión, la tracción y la coaptación, el estiramiento, el efecto propioceptivo de los músculos que se contraen contra resistencia y los estímulos auditivos y visuales. La resistencia al movimiento se utiliza para facilitar la acción de los músculos que componen los patrones de movimiento (29).

La rehabilitación motora trata de reducir el tono muscular, y facilitar la actividad muscular y mejorar la ejecución del movimiento en un ambiente real. Ninguna de estas formas de tratamiento entrena el movimiento en ambientes reales. En los últimos 40 años se ha cambiado el enfoque del tratamiento en rehabilitación para realizar actividades más funcionales como las actividades de la vida diaria, del hogar y la escuela.

Otros enfoques de tratamiento son el uso de cirugía y de ortesis. Al respecto de estas últimas, se inició su uso en la PC en 1960, se utilizan para mantener la corrección posquirúrgica y para favorecer tareas activas. Existen muchos tipos de ortesis para las manos, que se adaptan al brazo y ubican la mano y la muñeca en una posición que optimiza la función, para los músculos espásticos se utilizan férulas para dar estabilidad y mantener la alineación, así como elongación prolongada de estos músculos espásticos o contracturados.

En la terapia ocupacional las pautas a manejar son: normalizar el tono muscular, utilizar posiciones que mejoren la inhibición prestando suficiente apoyo postural, reforzar los niveles de destreza presentes, introduciendo niveles de desarrollo más elevados, graduar el tratamiento comenzando con movimientos pasivos (colocar y mantener), luego movimiento asistido (proporcionando apoyo) y finalmente movimiento activo. Si aparecen patrones anormales, retornar a niveles inferiores, tomar conciencia de los componentes visuales, obtener movimientos más automáticos realizados sin esfuerzo excesivo dirigiendo la atención a la tarea

o al juego reforzando los movimientos correctos e ignorando los incorrectos y generar nuevas destrezas, experimentando con arcos de movimiento más amplios, distintas velocidades y direcciones, y diferentes posiciones; posteriormente se integran estas destrezas en actividades funcionales de autoayuda, juego, tareas educativas y estimular la resolución de problemas y nuevas ideas en el niño y en sus padres.

Las actividades de la vida diaria abarcan las tareas de cuidado personal, de alimentación, arreglo personal, vestido, baño e higiene para defecar y orinar. En esta categoría se incluyen la movilidad, comunicación y el manejo de las actividades del hogar. Dentro de las actividades instrumentales de la vida diaria que involucran el desempeño de tareas están el automantenimiento, el trabajo o escuela, el juego y esparcimiento.

En las actividades de la vida diaria, la alimentación se limita por alteraciones como el tono muscular anormal, persistencia de reflejos primitivos y el mal control motor. El vestido, la higiene y el arreglo personal se limitan por alteraciones en el movimiento voluntario. El tratamiento de terapia ocupacional se dirige a facilitar reacciones más automáticas y el aprendizaje de movimientos intencionados eficientes por medio de manipulación, del juego y de materiales adaptados. Las estrategias para mejorar los problemas de prensión y de movimiento de las manos son: posición de la persona en sistemas apropiados de asiento, adaptación de la superficie de trabajo con inclinaciones y atriles, y el uso de adaptaciones para lápices, marcadores y borradores para facilitar las actividades escolares.

El juego promueve la adquisición de destrezas y el desarrollo de capacidades para asumir riesgos, resolver problemas y tomar decisiones, promoviendo la interacción con el ambiente. Se promueven patrones normales de movimiento y pueden prevenirse las reacciones posturales anormales mientras el paciente participa en actividades funcionales y de juego con un objetivo previamente definido. Se le estimula para que utilice movimientos apropiados para

mejorar el control del miembro superior durante la manipulación de juguetes, y desarrollar destrezas espontáneas y naturales de manipulación, se favorecen posiciones apropiadas para incrementar la función, minimizar las influencias patológicas brindando una base estable de sustentación, aumentando la independencia y el autoestima (18, 29).

El presente estudio pretende conocer si el empleo de BFB-EMG favorece la función manual en niños con hemiparesia espástica secundaria a PC.

## JUSTIFICACIÓN

La parálisis cerebral es una patología neuromotora común en la edad pediátrica. A pesar de los avances en el tratamiento y la prevención de eventos que predisponen a lesión cerebral, la PC continua siendo la causa más frecuente de discapacidad en la infancia (7, 8). Afecta de 2 a 3 por cada mil nacidos vivos a término en países desarrollados (1). En 1995 la Secretaría de Educación Pública llevó a cabo conjuntamente con el DIF y el INEGI, el registro de menores con discapacidad; el cual identificó a más de 2 millones 700 mil niños con algún signo de discapacidad; de los cuales, 70 mil presentaron trastornos motores (2). En el Centro Nacional Modelo de Atención, Investigación y Capacitación para la Rehabilitación e Integración Educativa "Gaby Brimmer" la PC ocupa el primer lugar de discapacidad. En el Instituto Nacional de Pediatría ocupa la 6ta causa de discapacidad, y del año 2000 al 2003 se registraron 81 nuevos casos en el servicio de rehabilitación (9, 10). La hemiparesia espástica se ha convertido en la forma más común de PC en niños nacidos a término y ocupa el 2do lugar después de la diparesia en niños prematuros (11, 12); siendo la mayoría de los casos de origen perinatal.

Los niños con diagnóstico de PC presentan deficiencia motora que puede afectar su habilidad para realizar adecuadamente movimientos voluntarios; ésta deficiencia afecta la función manual que es importante y trascendente para el desempeño de las actividades personales, de la vida diaria, escolar y en un futuro laboral (13, 14, 15).

La BRA-EMG es una opción terapéutica para favorecer el movimiento voluntario; consiste en una técnica de retroalimentación que provee información directa al paciente acerca de mecanismos biológicos internos, normales y anormales, por medio de un dispositivo electrónico en forma de señales visuales y auditivas, para enseñar al paciente a manipular estos mecanismos de manera

tangible. El objetivo de la BRA-EMG en la rehabilitación, es mejorar el desempeño del movimiento facilitando el aprendizaje motor (16, 17), por lo que podría llegar a mejorar la función manual en niños con hemiparesia espástica secundaria a PC.

Existen artículos publicados desde 1960, que avalan el uso de la BRA-EMG en el paciente adulto que ha sufrido EVC, incidiendo en el hemicuerpo afectado, en contraste con los pacientes pediátricos con PC en quienes los programas se han dirigido hacia los miembros inferiores, con la finalidad de mejorar el patrón de marcha (20), por lo que surge la necesidad de conocer si esta herramienta es útil y aplicable a nivel del miembro superior distal en este grupo de pacientes (18, 19, 20).

El presente estudio tuvo como objetivo aportar información acerca de los resultados de la aplicación de un programa diseñado ex profeso utilizando el aparato de BRA-EMG, en niños con hemiparesia espástica secundaria a PC, para el manejo de la función manual como una modalidad alternativa de tratamiento.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

Determinar si la función manual en niños con hemiparesia espástica secundaria a PC se favorece con el empleo de BRA-EMG.

### **ESPECÍFICOS**

1. Caracterizar a la población en estudio a través de la determinación del género, edad, escolaridad, hemisferio afectado y causa de lesión.
2. Comparar el grado de espasticidad de codo, muñeca y dedos antes y después del tratamiento con BRA-EMG.
3. Valorar si la movilidad activa de codo, muñeca y dedos se modifica con la aplicación de BRA-EMG.
4. Valorar si la manipulación bimanual se favorece con la aplicación de BRA-EMG.
5. Valorar si la destreza unimanual se modifica con el empleo de BRA-EMG.
6. Reconocer si la pinza fina mejora con el empleo de BRA-EMG.
7. Correlacionar la edad, escolaridad, y causa de la lesión con la respuesta al tratamiento en función de las variables estudiadas: espasticidad, movilidad activa, manipulación bimanual, destreza manual y pinza fina.

## MATERIAL Y MÉTODOS

El presente fue un estudio descriptivo, observacional, longitudinal, prospectivo y prolectivo, y cualitativo; fue realizado en el Instituto Nacional de Pediatría en el Servicio de Rehabilitación en el periodo comprendido de abril a julio de 2005. El universo de trabajo incluyó a pacientes con diagnóstico de hemiparesia espástica secundaria a PC entre 5 y 14 años reclutados de abril a mayo de 2005.

Los criterios de inclusión fueron: pacientes entre 6 y 14 años, con diagnóstico de hemiparesia espástica secundaria a PC, que comprendieran órdenes sencillas, con espasticidad de pronadores de codo, flexores de muñeca y dedos ( entre 1 y 3 según la escala de Ashworth modificada), arcos de movilidad pasivos de la extremidad superior mayor al 60%, movimiento activo de hombro, codo, muñeca y dedos sin importar su calidad y que el paciente aceptara participar en el estudio previa autorización de los padres o tutores. Se excluyeron aquellos pacientes que presentaron lesiones de nervio periférico o enfermedades musculoesqueléticas que afectaran la función de la extremidad superior parética, alteraciones visuales o auditivas que impidieran el uso del aparato de BRA-EMG, pacientes bajo tratamiento farmacológico antiespástico actual o con toxina botulínica en los últimos 6 meses y aquellos que hubieran recibido previamente BRA-EMG. Se eliminaron aquellos pacientes que no cumplieron con el 80% del tratamiento.

Previo a la captación de pacientes, se dieron a conocer los criterios de inclusión mediante una plática informativa dirigida a los médicos adscritos al área de consulta externa del CNMACRIEC "Gaby Brimmer" del SNDIF y en el Instituto Nacional de Pediatría, para que aquellos pacientes de primera vez o subsecuentes que cumplieran con los criterios de inclusión fueran referidos con el investigador y citados a valoración. De manera paralela en el INP se consultó en el archivo los expedientes con diagnóstico de hemiparesia/hemiplejía, obteniendo los datos

generales de los pacientes que cumplieron con los criterios de selección; solicitando permiso a médico tratante para la integración de su paciente al estudio. Una vez autorizado por el médico tratante, el investigador contactó vía telefónica al padre o tutor y se citó para valoración en el Servicio de Rehabilitación de INP. Fueron valorados un total de 38 pacientes de los cuales, se excluyeron a 10, teniendo como principales causas alteraciones visuales que impedían el uso del aparato de BRA, la aplicación de toxina botulínica en los seis meses previos y el no poder acudir al tratamiento por el tiempo de traslado al INP o por el trabajo de los padres. El total de pacientes incluidos en el estudio fue de 28.

Una vez conformado el grupo de estudio, el investigador realizó la evaluación inicial de acuerdo con la hoja de captación de datos (Anexo 1) (con duración 50 minutos), se solicitó a los padres el llenado de la carta de consentimiento informado previa explicación y aceptación por parte del paciente.

Posteriormente se canalizó a los pacientes al servicio de psicología del CNMACRIEC "Gaby Brimmer" donde se les aplicó la prueba de inteligencia Raven con el fin de conocer el Coeficiente Intelectual. Cabe mencionar que el investigador no conoció este resultado hasta el término del estudio.

El programa de tratamiento incluyó una primera sesión para familiarizar al paciente con el aparato de BRA, misma que tuvo una duración de 30 minutos y 18 sesiones por cada paciente, con una duración de 30 minutos cada una, 3 veces por semana durante 7 semanas (Anexo 3, 4), al término de las cuales se realizó la valoración final de acuerdo con la hoja de captación de datos y se les solicitó a los padres que escribieran en una hoja los cambios que notaron en sus hijos.

El material utilizado fue: una computadora, un amplificador, electrodos de superficie y el programa de biorretroalimentación ProCompt-Infinity BioGraph System V2.1. Copyright Throught Technology Ltd. 2003. El costo del estudio fue absorbido por el INP y por el investigador.

El análisis estadístico de la información fue realizado con la prueba de T de Student para comparación de medias de muestras dependientes, y comparación de medias para muestras independientes y se valoraron las variables de estudio antes y después de la aplicación del tratamiento, transformando las variables cualitativas en cuantitativas para la escala de Ashworth modificada.

La investigación se realizó bajo lo acordado en la declaración de Helsinki de 1975 revisada en 1983, la Ley de Salubridad y las normas éticas de ambas instituciones. Así como bajo las consideraciones del Centro Nacional Modelo de Atención, Investigación y Capacitación para la Rehabilitación e Integración Educativa "Gaby Brimmer" para la realización de trabajos de investigación.

## RESULTADOS

El total de pacientes que ingresaron al estudio fue de 28/28, de estos, el 57.14% (16 pacientes) fueron del sexo femenino y el 42.85% (12 pacientes) del sexo masculino. Gráfica 1.

El rango de edad de los pacientes osciló entre 5 y 14 años, con una media de 9 años. El 92.85% (26 pacientes) se encontraban escolarizados. De los pacientes escolarizados, el 25% (7 pacientes) cursaba tercero de preescolar, el 57.14% (16 pacientes) cursaba la primaria, y el 10.71% (3 pacientes) la secundaria. Gráfica 2 y 3.

Todos los pacientes presentaban el diagnóstico de PC hemiparesia espástica; 60.71% (17 pacientes) hemiparesia izquierda y el 39.28% (11 pacientes) hemiparesia derecha.

El 60.71% (17 pacientes) adquirió la lesión en el periodo prenatal o perinatal tendiendo como principal causa la encefalopatía hipóxico-isquémica, el 39.28% (11 pacientes) en el periodo postnatal, teniendo como causas de ésta, el traumatismo craneoencefálico (3 pacientes), meningitis (2 pacientes) y enfermedad vascular cerebral (6 pacientes).

El 28.57% (8 pacientes) se encontraba bajo algún tratamiento anticonvulsivante (4 pacientes) o antitrombótico (4 pacientes).

El 25% (7 pacientes) tuvieron coeficiente intelectual superior al término medio, el 32.14% (9 pacientes) dentro de término medio, el 28.57% (8 pacientes) inferior al término medio, el 7.14% (2 pacientes) presentaron deficiencia mental superficial y a 2 pacientes no se les realizó la prueba por falta de cooperación los cuales, coinciden con el grupo de los no escolarizados. Gráfica 4.

Las variables fueron comparadas antes y después del tratamiento por medio de la prueba T de Student para muestras dependientes. Las pruebas de Manipulación Bimanual 1 y 2, y el Test de Pinza Fina, asignan valores cuantitativos a las actividades realizadas, los cuales se compararon; en el caso del Test de Jebsen-Taylor, se tomó el tiempo en segundos en las valoraciones pre y postratamiento. Para la medición de la espasticidad, se asignó un valor cuantitativo a la variable cualitativa realizando la siguiente adaptación: 1=1, 1+= 2, 2=3, 4=5.

En las mediciones de espasticidad pre y postratamiento hubo diferencia muy significativa ( $p < 0.000$ ) en el codo para flexión, extensión, pronación y supinación. Gráfica 5. En la muñeca para flexión y extensión. Gráfica 6. En las articulaciones metacarpofalángicas e interfalángicas proximales para flexión. Gráfica 7 En cambio, la diferencia fue significativa ( $p = 0.005$ ) en las articulaciones metacarpofalángicas en extensión. Tabla 1. No hubo diferencia en la extensión en articulaciones interfalángicas proximales.

En las mediciones del arco de movilidad activo medido por goniometría antes y después del tratamiento, hubo diferencia muy significativa ( $p < 0.000$ ) para el codo en pronación y supinación, extensión de muñeca y articulaciones metacarpofalángicas en flexión. La diferencia fue significativa para muñeca en flexión ( $p = 0.002$ ), y para las articulaciones metacarpofalángicas en extensión 3ra ( $p = 0.005$ ) y 4ta ( $p = 0.007$ ). Gráfica 8 y 9. Tabla 2.

En la prueba de manipulación bimanual 1 donde se valora la calidad de la intervención del lado afectado (ver anexo 1), en función de patrones de movimiento en actividades bimanuales, hubo diferencia muy significativa ( $p < 0.000$ ) en las mediciones pre y postratamiento en las 4 subpruebas para ambos grupos de edad (menores de 7 años y mayores de 7 años). Cabe recordar que esta prueba se compone de 4 subpruebas, donde a los menores de 7 años se les aplican los ítems 1 al 4, y a los mayores de 7 años los ítems 5 al 8, por lo que los ítems 1 a 4 y 5 a 8

son equivalentes, siendo el puntaje utilizado el mismo para ambos casos. Gráfica 10. Tabla 3 y 7.

En la prueba de manipulación bimanual 2 que valora la calidad de la pinza en el lado afectado durante la realización de actividades bimanuales (ver anexo 1), la diferencia fue muy significativa ( $p=0.000$ ) en las mediciones pre y postratamiento en 7/8 subpruebas, en la subprueba 4 (cortar una salchicha) la diferencia fue significativa ( $p=0.003$ ). Gráfica 10. Tabla 4 y 7.

En el Test de Pinza Fina que valora la calidad de pinza fina al tomar cubos, la diferencia fue muy significativa ( $p<0.000$ ) para las subpruebas 2 y 3 que corresponden a tomar un cubo de 2.5 y 2 cm<sup>2</sup> respectivamente. En cambio, en la subprueba 1 en que se toma un cubo de 4 cm<sup>2</sup>, la diferencia fue significativa ( $p=0.002$ ). Gráfica 10. Tabla 5 y 7.

En el Test de Jebsen-Taylor que evalúa la destreza unimanual, los resultados mostraron diferencia significativa en las pruebas: 3 ( $p=0.002$ ) que consiste en simular comer, 4 ( $p=0.004$ ) apilar fichas, 5 ( $p=0.002$ ) levantar objetos livianos y 6 ( $p=0.006$ ) levantar objetos pesados. En las subpruebas 1 y 2 que son voltear cartas y levantar objetos pequeños, no hubo diferencia significativa. Gráfica 11. Tabla 6 y 7.

La correlación para el tono muscular, arcos de movilidad, Test de manipulación bimanual 1 y 2, Test de pinza fina y Test de Jebsen-Taylor por edad, género, lado afectado, escolaridad y causa de lesión no fue estadísticamente significativa en la comparación de medias para muestras independientes.

## DISCUSIÓN

No se encuentran publicados artículos que investiguen la utilidad de la BRA-EMG en niños con hemiparesia espástica secundaria a PC para mejorar la función manual. Los estudios con BRA-EMG en pacientes pediátricos se han realizado en niños con diagnóstico de PC con distribución diparética, hemiparética y tetraparética, y el tratamiento en los tres estudios publicados se ha aplicado al miembro inferior con resultados favorables en el patrón de marcha (1980, 1986, 1994). Sin embargo, con las variables estudiadas se pueden hacer consideraciones relacionadas con otros estudios de BRA.

El número de pacientes a los que se les aplicó el programa de BRA-EMG fue mayor que en los estudios realizados en pacientes pediátricos, y similar a algunos estudios realizados en adultos con BRA-EMG. Ningún paciente se eliminó, esto probablemente debido a una serie de factores que se comentan enseguida: el investigador se adaptó al horario en que los padres y los pacientes podían acudir a las sesiones de tratamiento sin perder clases escolares, tanto los pacientes como los padres fueron observando mejoría con el transcurso de las sesiones lo que los motivó a no faltar, los niños desarrollaron interés desde la primera sesión por los juegos de computadora que fueron divertidos, con colores y sonidos llamativos, la mayoría, no habían utilizado nunca una computadora, por lo que consideraron las sesiones como un juego, además de que la motivación proporcionada por parte de los padres y el investigador fomentó la cooperación de los pacientes. Por lo tanto, el estudio permitió corroborar que la BRA-EMG es una opción terapéutica llamativa para los niños que permite utilizar la tecnología de una forma fácil y entretenida, por lo que es susceptible de aplicar en pacientes pediátricos.

El género que predominó en este estudio fue el sexo femenino con un 57.14%, lo que contrasta con Lazar (4) que describe un ligero predominio en el sexo masculino en pacientes con PC, aunque no es posible unificar los criterios.

La edad de los pacientes osciló entre 5 y 14 años, con una media de 9 años. Colborne, Wright y Naumann (1994) realizaron su estudio con pacientes de entre 8 y 15 años de edad (20), y Toner, Cook y Elder (1998) lo realizaron en pacientes de 4 a 12 años, no se refiere si en estos estudios observaron diferencias en la respuesta relacionado con la edad (19). Se consideró que existía la posibilidad de que la edad podría haber influido en la respuesta al tratamiento ya que los mecanismos de plasticidad cerebral se espera que sean mayores a menor edad, además está comprobado que las capacidades compensadoras del SNC inmaduro después de lesión cerebral focal son superiores en el paciente pediátrico, nosotros observamos que los pacientes respondieron de la misma forma al tratamiento independientemente de la edad, por lo que podemos determinar que incluso los pacientes de 5 años de edad son candidatos para recibir BRA-EMG.

El 92.85% de los pacientes se encontraban escolarizados; con predominio del nivel primaria. Dado que las pruebas de Manipulación Bimanual 1 y 2 incluyeron actividades escolares, se podría esperar que los pacientes escolarizados tuvieran mejor resultado debido a que son tareas que realizan frecuentemente en la escuela, sin embargo, no hubo diferencia en la respuesta al tratamiento en relación con el grado académico, incluso con los de preescolar, y los no escolarizados pudieron realizar las pruebas, probablemente porque en casa las llevan a cabo y esto favoreció su desempeño. Por lo tanto, ni la escolaridad, ni grado de escolaridad influyeron en la respuesta a la aplicación de BRA-EMG.

La hemiparesia se presentó del lado izquierdo en el 60.71%, en contraste con la literatura que refiere un predominio de hemiparesia derecha (4) No se contó con los estudios de imagen que pudieran confirmar el lado de la lesión lo cual, no era primordial para los objetivos de este trabajo, aunque si se contaran con éstos, la bibliografía refiere que en promedio en el 23.8% de los casos con PC, no es posible encontrar una lesión estructural, y el rango de pacientes que no muestran hallazgo de lesión estructural va del 17 al 60% (5).

En este estudio, la lesión fue adquirida probablemente en el periodo prenatal o neonatal en el 60.71%; y aunque no es posible determinar de forma concluyente el momento exacto de la lesión porque la mayoría de los pacientes contaban con factores de riesgo en ambos periodos, si se observó que en el periodo neonatal se presentaban la mayoría de estos factores lo que coincide con la literatura. La causa de lesión no se correlacionó con la respuesta al tratamiento, se podría pensar que a menor edad al momento de la lesión, mejor respuesta al tratamiento basado en los mecanismos de plasticidad cerebral, ya que las capacidades compensadoras del SNC inmaduro después de lesión focal son superiores en el paciente pediátrico; y la reorganización después de lesiones en etapas tempranas de la vida está determinada por la localización, extensión y estado de maduración de SNC al momento de la lesión (24). En este estudio la edad al momento de la lesión no fue determinante para la respuesta al tratamiento con BRA-EMG para mejorar la función manual, cabe mencionar que el paciente que adquirió la lesión más tarde fue a los 3 años de edad.

Se realizó comparación de medias para muestras independientes de la edad, escolaridad y causa de lesión con la respuesta al tratamiento, demostrando que no existe correlación de estas variables con los resultados a la aplicación de BRA-EMG. En los estudios publicados no se refiere si realizaron correlación de estas variables.

Los pacientes incluidos tuvieron un rango de espasticidad entre 1 y 3 según la escala de Ashworth modificada. La escala de Asworth modificada ha sido ampliamente utilizada en estudios tanto en adultos como en pacientes pediátricos con PC ya que es sencilla de aplicar y refleja los cambios en el tono muscular de manera objetiva (17, 52). En los pacientes incluidos en este estudio la espasticidad predominó en músculos que realizan flexión y pronación de codo, y flexión de muñeca y dedos; en algunos de ellos, el tono muscular llegó a normalizarse para determinados músculos. Los padres de los pacientes y el investigador, observaron con el transcurso de las sesiones, que el patrón hemiparético de flexión y

pronación de codo, y flexión de muñeca y dedos fue disminuyendo gradualmente, el investigador lo observó durante las sesiones de tratamiento y los padres lo refirieron durante el resto del día e incluso al estar los pacientes dormidos.

El enfoque en este estudio se basó en determinar el aumento del arco activo de supinación de codo, extensión de muñeca y dedos con el objetivo de lograr o incrementar movimientos que se encontraban limitados y detectar los cambios que se pudieran reflejar en la función manual. Después del tratamiento, los pacientes pudieron efectuar movimientos que no realizaban anteriormente, esto fue observado por los padres y por el investigador, tanto en las valoraciones postratamiento que representaban actividades de la vida diaria de vestido, alimentación y escolares, como en casa. Esta respuesta fue probablemente el resultado del entrenamiento motor, los pacientes podían activar el juego incluso con la más mínima contracción muscular o un pequeño movimiento, lo que permitió que se percataran de que eran capaces de activar sus músculos; al ir progresando, podían observar como realizaban un movimiento y aumentaban gradualmente el rango de movilidad, lo cual finalmente, es un mecanismo de retroalimentación agregado. El aparato de BRA fue un instrumento que facilitó este aprendizaje motor, el paciente utilizó este instrumento para percatarse de la actividad muscular que sin el aparato, era difícil conocer, esto sucedió en tiempo real y los pacientes fueron capaces de modificarlos gradualmente con la práctica, aprendiendo en cada sesión a controlar la actividad muscular.

En un estudio realizado en adultos con hemiparesia espástica secundaria a EVC por Wolf y Binder-Macleod (1984), se demostró que la BRA-EMG mejoró el arco de movilidad activo y pasivo; lo mismo que Basmajian (1987) el cual observó, que el arco de movilidad mejoró en 29 pacientes con el diagnóstico mencionado (66). Toner, Cook y Elder (1998) demostraron en su estudio realizado a 6 pacientes pediátricos, 4 con hemiparesia espástica y 2 con diparesia espástica de entre 4 y 7 años de edad, mejoría en el arco de movilidad activo de dorsiflexión de tobillo después de 6 semanas de tratamiento con BRA-EMG, lo cuál se debe al

incremento de la fuerza muscular y mejoría en el control motor voluntario demostrado tanto en su estudio piloto como en el principal. Observaron también que los pacientes volvieron a los niveles pretratamiento a los 14 meses lo cual indica que las habilidades motoras adquiridas se pierden gradualmente si el entrenamiento es suspendido (19).

Los pacientes mejoraron tanto en manipulación bimanual, destreza manual y pinza fina; aunque no se trabajó sobre músculos del pulgar e índice, se puede llegar a considerar que el efecto se generaliza a la extremidad, incluso dos padres refirieron mejoría en el patrón de la marcha lo que coincide con las observaciones de la bibliografía que refiere que se puede aplicar lo aprendido a otras partes del cuerpo distantes al sitio tratado como en este caso serían los miembros inferiores (69); por medio de un mecanismo de internalización del conocimiento aprendido, en este caso, el aprendizaje motor. La prueba de Manipulación Bimanual 1 fue utilizada para valorar el uso espontáneo de la mano afectada durante actividades bimanuales estandarizadas de acuerdo a la edad; tanto esta prueba como el Test de Pinza Fina, evaluaron la función manual y habían sido utilizadas previamente en niños con PC hemiparesia espástica; asegurándose su validez en 1993 (11). La prueba de Manipulación Bimanual 2 fue usada previamente para valorar la sensibilidad táctil en niños con PC hemiplejía espástica de entre 5 y 18 años (52). En este estudio, encontramos que las Pruebas de Manipulación Bimanual 1 y 2 y el Test de Pinza Fina son útiles para la valoración de pacientes pediátricos con PC hemiparesia espástica después de la aplicación de BRA-EMG, son sencillas de aplicar, no es necesario un entrenamiento previo, requieren de poco tiempo y espacio para su realización, no se requiere de material costoso, y representa de manera objetiva la mejoría en actividades de vestido, alimentación y escolares en el caso de los Test de Manipulación Bimanual 1 y 2, y de la calidad de pinza fina en el Test de Pinza Fina reflejando los cambios en la evolución del paciente. En el caso de los Test de Manipulación Bimanual 1 y 2 sería de utilidad estandarizar las medidas, peso y otras características del material utilizado lo que podría darles mayor validez. El Test de Jebsen-Taylor, es una prueba estandarizada que ya ha

sido aplicada en pacientes pediátricos con hemiparesia espástica (11), describe las características exactas del material que se utiliza, y la consideramos útil, ya que mide de manera objetiva en segundos actividades manuales que se llevan a cabo en la vida diaria, sus inconvenientes son que provee información de la destreza unimanual pero no de la destreza bimanual, y que algunos de los pacientes no pudieron realizar algunas subpruebas que requerían de pinza fina, en esos casos, no se realizó comparación pre y postratamiento (53, 54). Todas las pruebas se apegaron a las características del material descritas en el artículo original y se utilizó el mismo equipo en las mediciones pre y postratamiento.

Se decidió la realización de la Prueba de Inteligencia Raven para conocer si el coeficiente intelectual influía en la respuesta al tratamiento, y asegurar que podían comprender las instrucciones y el mecanismo de retroalimentación del aparato. Por algunas circunstancias de logística, la prueba se realizó de manera paralela a la aplicación del tratamiento. El investigador no conoció los resultados hasta una vez terminadas las valoraciones postratamiento y no observó diferencia en la respuesta en las sesiones de tratamiento en los pacientes con deficiencia mental superficial (2 pacientes) o con inteligencia inferior al término medio (8 pacientes); las instrucciones las comprendieron de la misma forma y la atención fue similar durante las sesiones en todos los pacientes lo que indica que, aún pacientes con deficiencia mental superficial o inteligencia inferior al término medio pueden recibir tratamiento con BRA-EMG esperando una adecuada respuesta, siempre y cuando quien aplique el tratamiento este comprometido en apoyar al paciente. En los estudios realizados previamente con BRA-EMG en pacientes pediátricos, no se refiere la realización de coeficiente intelectual.

El diseño del programa utilizado, fue realizado por el investigador basado en lo referido en la bibliografía y en el objetivo del estudio, siguiendo una secuencia que llevara a lograr una tarea específica definida previamente, esta tarea fue simple y aislada lo que permitió que tuviera éxito con la posibilidad de poder

aumentar posteriormente la complejidad, como un principio básico para el aprendizaje (41).

La función manual en el niño que ha sufrido daño en la corteza motora afecta la prensión. Por lo anterior, es importante recordar que en esta investigación inicialmente se trabajó con relajación de músculos que favorecían el patrón espástico (pronadores, flexores de muñeca y dedos) y posteriormente, contracción por medio de la realización del movimiento que involucraba los músculos a tratar (supinadores, extensores de muñeca y dedos), y después con la contracción y relajación por medio de juegos diseñados para esta actividad, siguiendo un patrón descendente de músculos proximales a distales para progresar de movimientos gruesos a finos. Conforme el paciente fue avanzando, se incrementó la dificultad del juego aumentando o disminuyendo los microvoltios necesarios para lograr el objetivo e incrementando la velocidad para cumplir la meta establecida. Posteriormente, se cambiaba al juego siguiente de acuerdo con el orden seleccionado para este estudio. Durante una misma sesión el paciente podía solicitar cambiar a otro juego si así lo deseaba mientras éste fuera de la misma acción que se estaba tratando. Esto permitió que no fuera tedioso y que se mantuviera la atención del paciente durante toda la sesión. Los juegos que utilizaron fueron construidos por el investigador con los instrumentos con que cuenta el software de BRA ProCompt-Infinity BioGraph System V2.1, de forma que fueran divertidos, coloridos, con figuras llamativas para niños, sonidos agradables, y mecanismos de retroalimentación sencillos y fáciles de comprender. Los pacientes fueron familiarizándose con los juegos y fueron eligiendo los de su agrado, al llegar a la siguiente sesión de tratamiento, lo hacían cada vez con más entusiasmo y sólo en el caso de un paciente, fue necesario suspender en una ocasión una sesión por falta de cooperación. Al finalizar la sesión de tratamiento, el paciente escogía un premio que consistía en un dulce y ponía una señal de asistencia en un cartel que contenía los nombres de los pacientes. La relación médico-paciente que se estableció fue en todos los casos estrecha y esto favoreció el desempeño del programa terapéutico.

El investigador pudo observar en el transcurso de las sesiones, como el paciente iba controlando el juego, en el caso de la relajación, la lograban en menor tiempo, y lo mantenían más fácilmente; en el caso de la contracción, cada vez se observaba que se podía aumentar más el umbral para controlar el juego, lo anterior, puede ser por la mejoría en la fuerza muscular. El investigador, iba indicando durante la sesión de tratamiento la acción a realizar; fijando metas cortas, los avances se hacían notorios y el paciente se encontraba más motivado para continuar progresando; tanto los padres como el investigador participaron en todo momento para reforzar los logros del paciente y se considera que esta motivación continua fue muy favorable para la respuesta al tratamiento.

Conforme fueron avanzando las sesiones, los padres iban refiriendo de forma espontánea mejoría en sus hijos, por lo que se les pidió que anotaran al final del tratamiento los avances que notaron los cuales se comentan a continuación con las mismas palabras con que ellos lo describieron. Lo anterior da sustento a una investigación cualitativa con el fin de tomar en cuenta los puntos de vista de los familiares:

"Abre más la mano, se toma del barandal en las escaleras del puente, se agarra del tubo del microbús, me da la mano cuando camina, me ayuda cuando lo visto."

"Para agarrar las cosas abre más la mano y juega con las dos. Desde la sesión 5 empezó a usar las dos manos, antes no la usaba nada."

"Ya casi no la cierra y trata de usarla, la mantiene abierta la mayor parte del tiempo, ya hasta se amarra sus zapatos y el aparato corto."

"Se viste sola, ya sabe amarrarse sus agujetas y su bata de baño, puede hacer movimientos con la muñeca y hasta trata de comer con cubiertos."

"Sabe relajarse solo más rápido en la terapia, ya puede mover la muñeca hacia arriba y hacia abajo más rápido, ya gira el antebrazo para arriba y para abajo."

“Ya se baña solo, se ayuda con las dos manos para abrir el shampoo, se viste sólo desde la ropa interior, para jugar o hacer deporte lo realiza mejor, hace mejor las cosas con las dos manos.”

“Cuando corre ya no cierra la mano, en la casa agarra las cosas con las dos manos, usa las dos manos para comer, puede recortar y dibujar mejor, mejoró en movilidad general en la mano.”

“Mayor facilidad para hacer la pinza y más fuerza en la mano, está menos rígido y los ejercicios le han soltado su brazo, la terapia le ayudó mucho.”

“Intenta realizar actividades cotidianas con la intervención de su mano y brazo cada vez más frecuente, sostiene cosas de peso sin recargárselas al cuerpo, puede botar un balón de basketball con las dos manos.”

“Dobla menos la mano, la utiliza más, trata tomar los objetos con mas frecuencia y por más tiempo, la ocupa al abrir, se apoya para ir al sanitario, al correr ya no la mantiene mucho pegada a su cuerpo.”

“Trata de saludar con la mano que no usaba, hace cosas con su mano que antes no hacía, usa las dos para casi todas las cosas y antes la tenia abajo ahora la deja abierta todo el tiempo, la mete para jugar.”

“Agarra el vaso con las dos manos, antes no podía voltear la mano y para recortar le costaba trabajo, agarra mejor el cuchillo, puedo agarrarle la mano para cruzar la calle, ya estira el brazo más tiempo, la deja abierta más.”

“Hace mejor las cosas con la mano, está más conciente de su mano, tiene un poco más de fuerza ya que todo se le caía de la mano, trata de agarrar cosas más grandes como un bote, pelota, un vaso y un jabón de baño.”

“Cuando está dormido la tiene más relajada, ahora mueve los dedos, la mano y la muñeca, no esconde o baja su mano a la hora de comer, puede bolear la pelota, mejoró la coordinación entre el pie y la mano al caminar.”

“Tiene más movilidad, usa la mano para comer, ponerse la ropa, está más relajada, se peina, logra reconocer que tiene otra mano y sobre todo que puede ser útil para cualquier cosa que quiera realizar.”

“Logra abrir la mano en una superficie plana, puede agarrar cosas con esa mano sin ayuda de la mano izquierda, se interesó en lo que es la computadora, maduró en el pensamiento de la tecnología, es más asertiva en los juegos.”

“Extiende el brazo, enderezó los dedos, el pulgar lo levanta, mueve el brazo con fuerza para pegar, intenta rascarse, tiene el puño cerrado por menos tiempo.”

“Se molesta menos al no poder hacer las cosas con ambas manos, empezó a usar sus dos manos desde el 4to día de la terapia, ahora puede abotonarse el suéter.”

“Al comer ya toma la tortilla con esa mano y en ocasiones agarra el plato con las dos manos, se empezó a untar un poco de crema, al jugar con las muñecas las cambia de ropa con apoyo de sus dos manos, duerme toda la noche con la mano abierta, he visto cambios favorables.”

A pesar de la corta edad de algunos de los pacientes, toleraron las sesiones completas de tratamiento, se les pedía a los padres que llegaran puntuales y que hubieran ingerido alimentos previamente, se observó que al arribar a la sesión sólo unos minutos antes, o si se habían desvelado el día anterior, les era más difícil relajarse, por lo que se recomienda que se tomen en cuenta estos factores para garantizar una adecuada respuesta. La habitación que se utilizó contó con una iluminación adecuada y fue silenciosa, lo que permitió que no hubiera factores externos que distrajeran al paciente.

Se considera que el programa que se diseñó para este estudio proporcionó resultados favorables. El software utilizado es adecuado para pacientes pediátricos por lo que podría utilizarse en otras patologías, incluidas las neurológicas que presentan limitación del movimiento voluntario y espasticidad, sería de interés conocer su utilidad en otros tipos de parálisis cerebral como la tetraparesia espástica, la distónica o la atetósica, ya que podría ser una herramienta terapéutica más. En el grupo de pacientes con que se trabajó, se podría continuar como ha sido referido en la bibliografía, el uso de la BRA-EMG implementando durante las sesiones de tratamiento actividades más funcionales como tomar objetos, realizar

actividades de vestido, higiene, alimentación o escolares. También es recomendable realizar una estandarización de las sesiones de reforzamiento, ya que está comprobado que el efecto se pierde a largo plazo, así se podrá conocer la frecuencia de sesiones y el tiempo necesarios para que los efectos logrados no se pierdan.

La BRA-EMG es una opción terapéutica complementaria de la terapia física y ocupacional que puede ser utilizada tanto en pacientes que responden adecuadamente a otros tipos de manejo de rehabilitación, como para pacientes que han sido multitratados y que presentan poca respuesta a otras opciones terapéuticas. La repercusión del tratamiento en la mejoría de la función, es un factor relevante que le da a la BRA-EMG y al programa diseñado para este estudio un lugar en la rehabilitación del paciente pediátrico con parálisis cerebral.

## CONCLUSIONES

El estudio demuestra que la BRA-EMG y el programa diseñado e implementado en este estudio mejora la función manual del lado afectado en pacientes pediátricos con hemiparesia espástica secundaria a parálisis cerebral lo cuál, se reflejó en la disminución de la espasticidad, en el aumento de los arcos de movilidad activos, y en la función manual evaluada por pruebas de manipulación bimanual, de destreza unimanual y de pinza fina.

El programa diseñado para este estudio entrenó a los músculos en un orden descendente de proximal a distal, con relajación o contracción de grupos musculares afectados, siempre con una meta específica, mejorar la función manual; esto permitió que el tratamiento llegara a lograr los objetivos planteados.

No encontramos correlación entre la respuesta al tratamiento con la edad, escolaridad y causa de lesión.

El biorretroalimentador y el programa utilizado en esta investigación pueden ser utilizados incluso en el paciente con deficiencia mental superficial.

La cooperación y el entusiasmo del paciente, el apoyo de los padres, y el interés del investigador favorecieron la respuesta al tratamiento, ya que es una parte fundamental de la biorretroalimentación.

Se sugiere que en próximas investigaciones se realice seguimiento a corto y largo plazo para conocer si la respuesta al tratamiento perdura, si un mayor número de sesiones logran optimizar la respuesta, si el reforzamiento por medio de otras sesiones mejora o mantiene los avances obtenidos y se estudie la utilidad de esta opción terapéutica en otros tipos de parálisis cerebral.

## HOJA DE CAPTACIÓN DE DATOS

Fecha de elaboración:	Número de folio:
Nombre:	
Género:	Fecha de nacimiento y edad:
Escolaridad:	Lado afectado:
Causa de lesión:	
Tratamiento farmacológico:	
Nombre de la madre/padre/tutor:	
Domicilio:	
Teléfono:	

ESPASTICIDAD	PRE	POST
CODO		
FLEXIÓN		
EXTENSIÓN		
PRONACION		
SUPINACION		
MUNECA		
FLEXION		
EXTENSIÓN		
MTCF		
F/E 1°		
F/E 2°		
F/E 3°		
F/E 4°		
F/E 5°		
IFP		
F/E 2°		
F/E 3°		
F/E 4°		
F/E 5°		

ESPASTICIDAD	ESCALA DE ASHWORTH MODIFICADA
0	Sin aumento en el tono muscular
1	Escaso aumento en el tono muscular, manifestado por una detención y liberación o por una mínima resistencia al final del rango de movimiento
1+	Escaso aumento en el tono muscular manifestado por una detención, seguido de mínima resistencia a través del resto del rango de movimiento (menos de la mitad)
2	Incremento en tono muscular más marcado en la mayoría del rango de movilidad, pero la parte afectada se moviliza fácilmente
3	Aumento considerable en el tono muscular, movilización pasiva difícil
4	Parte afectada rígida en flexión o extensión

MOVILIDAD ARTICULAR	PRE	POST
CODO		
PRONACION		
SUPINACION		
MUNECA		
FLEXION		
EXTENSIÓN		
MTCF		
F/E 1°		
F/E 2°		
F/E 3°		
F/E 4°		
F/E 5°		
IFP		
F/E 2°		
F/E 3°		
F/E 4°		
F/E 5°		

MANIPULACION BIMANUAL 1	PRE	POST
MENOS 7 AÑOS		
1. Lanzar una pelota grande		
2. Romper en pedazos una hoja de papel		
3. Enroscar y desenroscar la tapa de una botella		
4. Abrir un paquete atado con cinta adhesiva		
MAS 7 AÑOS		
5. Abrir un paquete atado con un nudo sencillo		
6. Envolver un objeto en papel para formar un paquete		
7. Recortar figuras geométricas y pegarlas en papel		
8. Doblar una hoja de papel y meterla en un sobre		

0	No usa lado afectado
1	Usa el lado afectado con un patrón estereotipado como apoyo en la muñeca para sostener.
2	Cooperación del lado afectado para manipulación como sostener con un número restringido de patrones estereotipados.
3	Cooperación del lado afectado para sostener y manipular, usa una variedad de patrones

MANIPULACION BIMANUAL 2	PRE	POST
1. Cortar con tijeras		
2. Cargar una bandeja		
3. Abrir una botella de refresco		
4. Cortar una salchicha		
5. Subir un cierre		
6. Abotonar unos pantalones		
7. Atar unas agujetas		
8. Dar vuelta a las paginas de un libro		

- 0 No lo hace  
 1 Asiste sin hacer pinza  
 2 Se asiste con una pinza anormal  
 3 Se asiste con una pinza normal

#### TEST JEBSEN-TAYLOR

ACTIVIDAD	TIEMPO (MIN, SEG, CENTÉSIMAS)	
	PRE	POST
1. Voltar cartas		
2. Levantar objetos pequeños		
3. Simular comer		
4. Apilar fichas		
5. Levantar objetos livianos		
6. Levantar objetos pesados		

PINZA FINA	PRE	POST
1. 4 cm <sup>2</sup>		
2. 2,5 cm <sup>2</sup>		
3. 1 cm <sup>2</sup>		

- 0 Inhabilidad para tomar el cubo  
 1 Toma con toda la mano  
 2 Pinza radial o tridigital  
 3 Pinza pulgar-índice

## TEST DE JEBSEN-TAYLOR

### INSTRUCCIONES DE APLICACIÓN

Es un Test diseñado para evaluar la función manual, esta dividida en 7 subpruebas estandarizadas, representativos de actividades manuales comúnmente realizadas, medidos de manera objetiva por medio de un cronómetro. Las actividades son evaluadas antes y después del tratamiento.

El paciente debe encontrarse sentado sobre una mesa, en una habitación con adecuada iluminación. Las actividades se realizan siempre en el mismo orden, e iniciando del lado izquierdo. Se da la indicación de la actividad a realizar, se le hacen preguntas para saber si la comprendió y se le indica que lo tiene que realizar lo más rápido que pueda. De las actividades incluidas en el test se extrajo la de escribir una frase, lo anterior por la edad de los pacientes, ya que algunos se encontraban en proceso de aprendizaje de lecto-escritura. Las actividades fueron las siguientes:

1. Voltear cartas: Se utilizan 5 cartas de 3 x 5 pulgadas colocadas en forma horizontal sobre una tabla de madera que se encuentra fija a 5 pulgadas de la orilla de la mesa\*, separadas 2 pulgadas entre cada una, a 5 pulgadas del frente de la mesa. El tiempo se toma hasta que la última carta es volteada; no se toma en cuenta la colocación de las cartas.
2. Levantar objetos pequeños: Debe colocar los objetos en una lata vacía de una libra de café colocada frente al paciente a 5 pulgadas del borde anterior de la mesa. Los objetos son: 2 clips de papel de una pulgada orientados verticalmente, 2 tapas de botella de una pulgada de diámetro con la cara de la rosca hacia arriba y 2 monedas (pennies de EUA). Se colocan en el

- orden mencionado horizontalmente al lado izquierdo de la lata, con 2 pulgadas de separación entre cada uno. El tiempo se toma desde que inicia a tomar el primer objeto hasta que se escucha el sonido del último objeto al caer dentro de la lata.
3. Simular comer: Se colocan 5 frijoles de aproximadamente 5/8 de pulgada de largo sobre la tabla de madera \*. Los frijoles se colocan paralelos con 2 pulgadas de separación entre cada uno, en contacto con la tabla vertical. Se coloca una lata de café de una libra en el centro, frente a la tabla; el paciente debe tomar cada frijol con una cuchara de tamaño regular y colocarlo dentro de la lata. El tiempo es registrado desde que toma el primer frijol hasta que se escucha el último al caer dentro de la lata.
  4. Apilar fichas: Se colocan 4 fichas de madera, de tamaño standard (1-1/4 de pulgada de diámetro) colocadas sobre la mesa, al frente de la tabla en contacto con ella, a 5 pulgadas de distancia del borde anterior. Se ubican 2 fichas a cada lado del centro de la mesa y el paciente debe colocar cada ficha sobre la tabla, una sobre otra. El tiempo es registrado desde que toma la primera ficha hasta que la tercera hace contacto con la cuarta.
  5. Levantar objetos livianos: Se colocan 5 latas vacías de número 303 frente a la tabla, paralelas y verticales, delante del paciente, a 5 pulgadas del borde anterior de la mesa, con 2 pulgadas de separación entre cada una, con la parte abierta de la lata hacia abajo. El paciente debe subir las latas de la mesa a la tabla; el tiempo es registrado desde que toma la primera lata hasta que suelta la última.
  6. Levantar objetos pesados: Se colocan 5 latas del mismo tamaño pero llenas, con un peso de una libra. Se le pide que realice la misma actividad mencionada en la prueba anterior.

\* Tabla de madera de 41 ½ pulgadas de largo, 11 ¼ de ancho y ¾ de pulgada de grosor. Se coloca otra tabla sobre la anterior, verticalmente a 6 pulgadas del frente de la tabla, esta segunda debe medir 20 pulgadas de largo, 2 pulgadas de altura y ½ pulgadas de grosor colocada a 4-5/8 de pulgada del borde derecho de la

tabla. La parte anterior a la tabla vertical se divide a intervalos de 4 pulgadas para orientar más fácilmente los objetos a colocar (55).

## PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DE TRATAMIENTO DE BRA PROCOMPT-INFINITY BIOGRAPH SYSTEM V2.1

Para cada sesión, el equipo fue conectado y encendido, se ingresaba al programa de BRA, los datos del paciente y el número de sesión, se seleccionaba la opción de BRA electromiográfico y el paciente elegía el programa deseado de acuerdo con los seleccionados para la acción a tratar y gusto particular del paciente (Anexo 4), se explicaba al paciente el juego en caso de no conocerlo y la forma de retroalimentación, se colocaban los electrodos de contacto sobre la piel con autoadhesivo posterior a limpiar la piel con alcohol. Los electrodos eran tres, el primero de captación colocado en el vientre muscular o punto motor del músculo o grupo muscular a trabajar, el segundo de referencia, colocado cerca al anterior, y un tercero que actuó como tierra, colocado entre el electrodo de captación y el electrodo de referencia. El electrodo de captación se colocó sobre el punto motor.

Se utilizó una sesión para familiarizar al paciente con el aparato, se consideró que un periodo de 15 minutos fue suficiente según la bibliografía encontrada.. Durante las sesiones de tratamiento se indicó al paciente la acción a realizar, inicialmente relajación muscular de pronadores, posteriormente, contracción por medio de la realización del movimiento que involucra los músculos a tratar, en este caso los supinadores, después con la contracción y relajación alternada de pronadores y supinadores por medio de juegos diseñados para esta actividad y así sucesivamente con los flexores-extensores de muñeca, y flexores-extensores de dedos, siguiendo un patrón descendente de músculos proximales a distales. Lo anterior, permitió progresar de movimientos gruesos a finos, primero relajando los músculos que favorecen el patrón hemiparético secundario a espasticidad y posteriormente, entrenando a los músculos que realizan supinación, extensión de muñeca y de dedos. La relajación o contracción muscular llevada a

cabo por medio de movimiento, fue repetida durante la sesión. Cuando el paciente logró controlar la señal del BRA-EMG, es decir, al progresar, se fue incrementando la dificultad del juego (9) aumentando o disminuyendo los microvoltios necesarios para lograr el objetivo, ya fuera, contracción o relajación respectivamente. En los programas de contracción-relajación, se fue aumentando la velocidad con que el juego era controlado incrementando por consiguiente, el grado de dificultad. Posteriormente, se cambiaba al juego siguiente de acuerdo con el orden seleccionado para este estudio. Durante una misma sesión el paciente podía solicitar cambiar a otro programa si así lo deseaba mientras este fuera de la misma acción que se estaba tratando. Al término de la sesión, se grababa en la memoria de la computadora, se retiraban los electrodos, se cerraba el programa de BRA y el sistema operativo de la computadora, y se apagaba el equipo. Se utilizó incluso el lado sano, antes o durante el tratamiento del lado afectado para orientarlo acerca de la actividad muscular normal y anormal, indicándole como desglosar una actividad normal y a partir de ahí, que la realizara en el lado afectado.

El orden que se utilizó fue el siguiente:

1. Relajación de los pronadores de antebrazo(pronador redondo)
2. Contracción de supinadores de antebrazo (bíceps braquial)
3. Contracción-relajación de supinadores de antebrazo.
4. Relajación de flexores de muñeca (palmar mayor, palmar menor y cubital anterior)
5. Contracción de extensores de muñeca (primer radial, segundo radial y cubital posterior)
6. Contracción-relajación de extensores de muñeca.
7. Relajación de flexores de los dedos (flexor superficial de los dedos)
8. Contracción de extensores de los dedos (extensor común de los dedos, extensor del índice y del meñique)
9. Contracción-relajación de extensores de los dedos.

En la relajación, se le pidió al paciente que se relajara disminuyendo la tensión y el movimiento de la extremidad, haciendo que el movimiento fuera más lento por medio de la visualización de imágenes y de escuchar música o sonidos agradables. Para la contracción muscular se le pidió únicamente que intentara realizar el movimiento que hacía el músculo tratado. Durante los ciclos de contracción y relajación alternada del músculo, el paciente tenía que realizar o dejar de realizar la actividad dependiendo lo que solicitara el programa. Todos los juegos tenían en su extremo derecho o izquierdo una barra graduada en microvoltios que ascendía o descendía dependiendo el grado de contracción o relajación muscular.

El orden del programa anterior fue elaborado por el titular de la investigación basado en los estudios previos publicados y en los objetivos de la investigación.

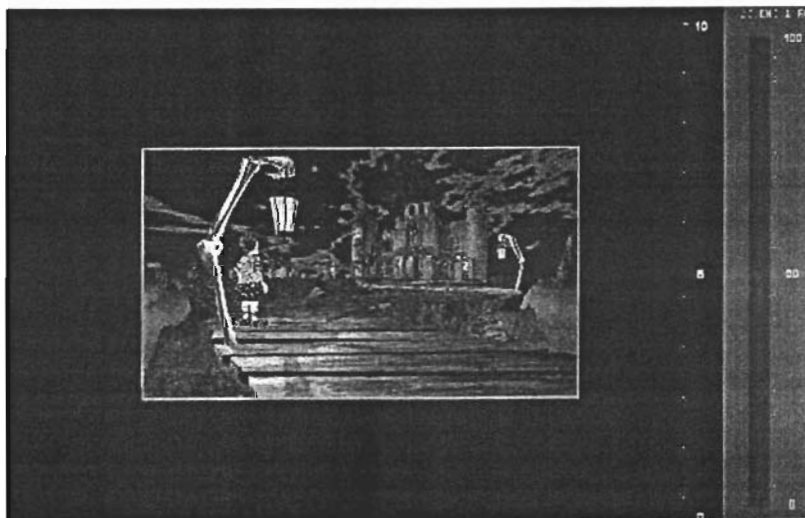
## TIPOS DE PROGRAMAS DE BRA QUE SE UTILIZARON

Los programas que se aplicaron en este estudio fueron divididos en tres de acuerdo al objetivo:

I. CONTRACCIÓN	II. RELAJACIÓN	III. CONTRACCIÓN
Calavera	Monalisa	-RELAJACIÓN
Perro	Auto	Escala musical
Boliche	Come-nariz	Circo
Duendes	Flor	
Laberinto	Carita feliz	

### I. Contracción:

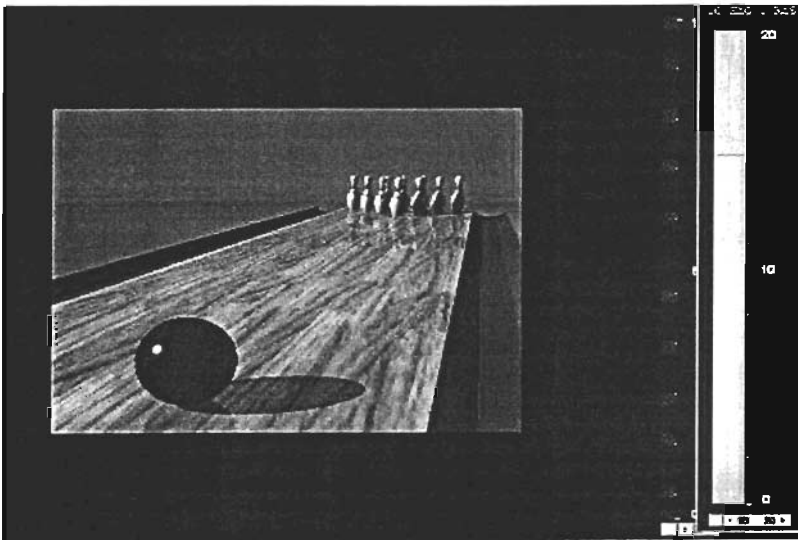
1. Calavera: El niño llama la atención de la calavera ubicada frente al castillo y alcanza a escapar de ella si el paciente realiza la contracción muscular, si no la realiza, la calavera no avanza. Se escucha una canción cuando la calavera avanza y se deja de escuchar al no avanzar.



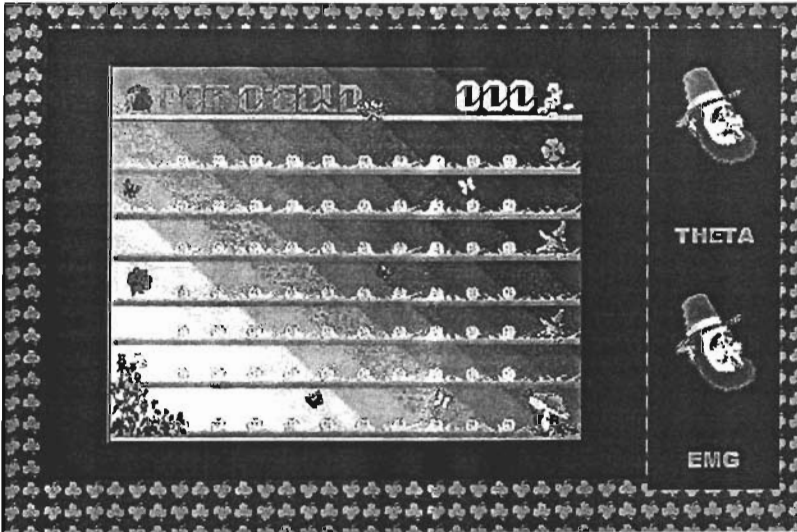
2. Perro: El perro corre por la calle y logra caer en la coladera antes de que lo atropellen si se mantiene la contracción muscular, de no mantenerse; el perro avanza por la calle. Se escucha una canción mientras el perro corre y se deja de escuchar en caso de no avanzar.



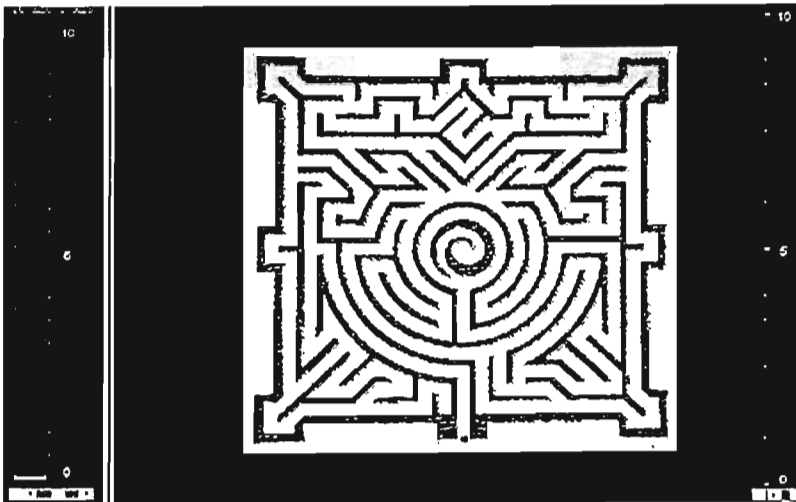
3. Boliche: La bola de boliche avanza hasta tumbar los bolos si el paciente realiza contracción muscular, de no realizarla la bola no avanza. Al momento que avanza se escucha una canción la cuál deja de escucharse al no avanzar la bola.



4- . Duende: Un duende avanza con una carretilla recogiendo las monedas si se realiza contracción muscular, de no realizarse retrocede en su camino y pierde las monedas recogidas. Al avanzar se escucha una canción la cuál se deja de escuchar al no avanzar.



5. Laberinto: Los puntos rojos que se encuentran al inicio del laberinto avanzan al realizar contracción muscular y retroceden al no realizarse. Se escucha una canción si avanzan y otra canción en caso de retroceder.

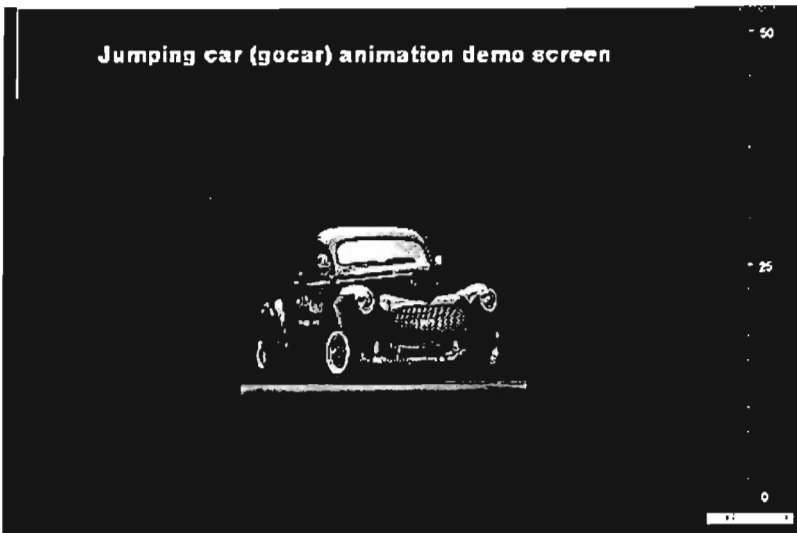


## II. Relajación

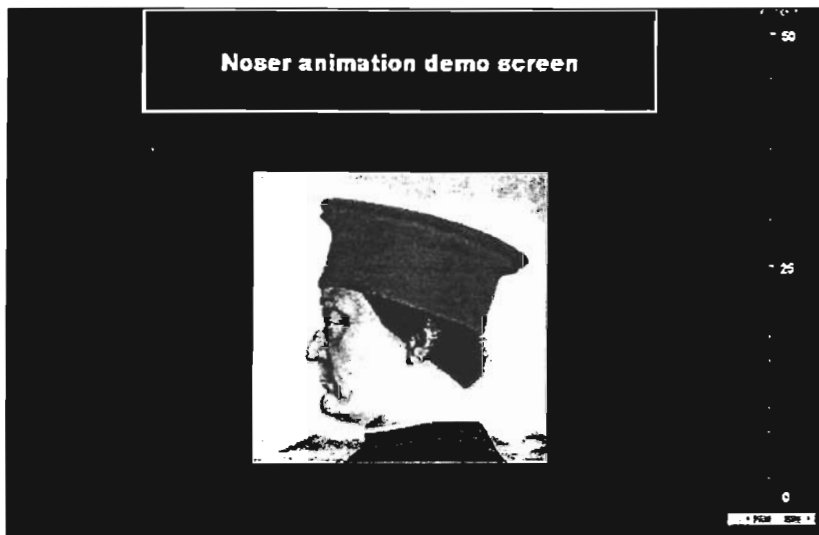
1. Monalisa: La pintura se va dibujando gradualmente al mantener la relajación muscular, si se realiza contracción la monalisa se va despintando. Se escucha una canción al mantenerse la relajación y se deja de escuchar al despintarse.



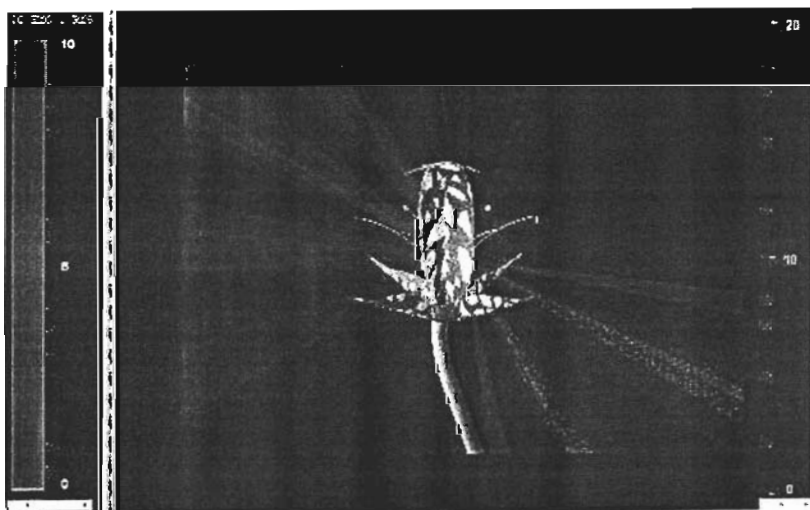
2. Auto: El auto se mueve deformándose al mantener relajado el músculo y se mantiene estático al realizar contracción muscular. Se escucha un sonido agradable al mantenerse la relajación y no se escucha sonido al contraerse el músculo.



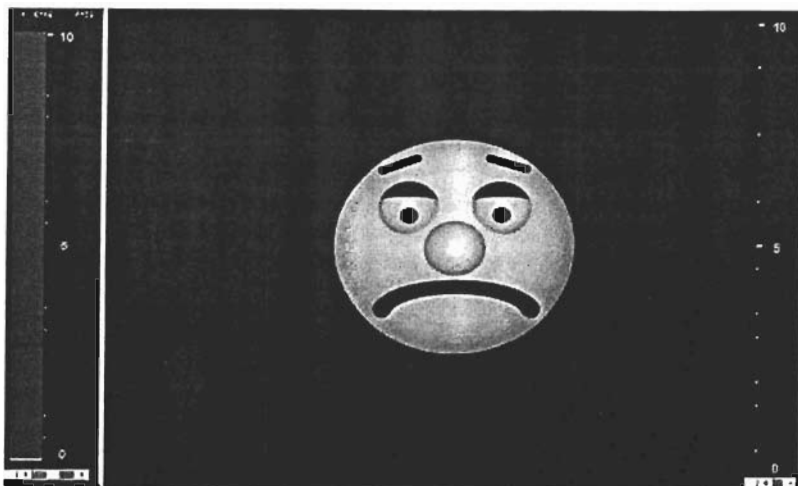
3. Come-nariz: Al hombre le crece la nariz hasta que se le desprende y se la come, de no mantenerse el músculo relajado, en caso de mantener la relajación retrocede el proceso antes mencionado. Se escucha sonido al mantener relajado el músculo y se deja de escuchar al realizar contracción muscular.



4. Flor: La flor se abre y sale de ella una luz si el paciente mantiene la relajación muscular, de realizar contracción la flor se cierra. Se escucha una canción agradable al abrirla y no se escucha sonido al cerrarse.

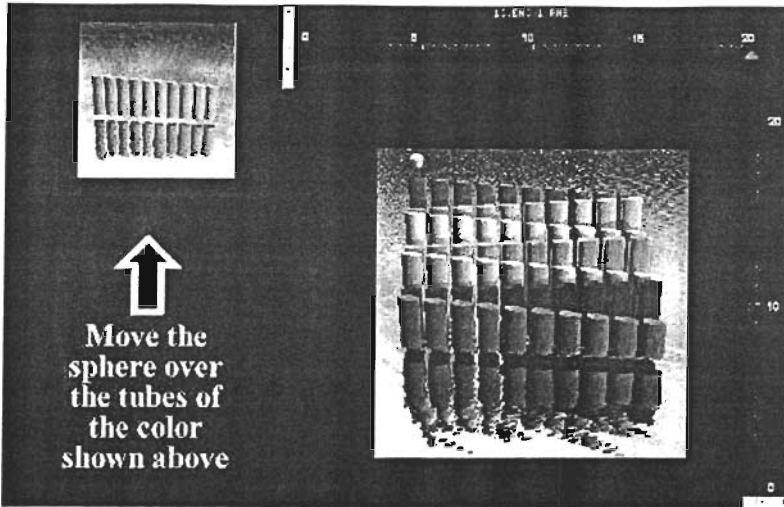


5. Carita feliz: La carita sonríe si se mantiene la relajación muscular, si se realiza contracción la carita se pone triste. Se escucha una canción si sonríe y no se escucha sonido si se pone triste.



### III. Contracción-relajación de un músculo:

1. Escala musical: La pelota va ascendiendo o descendiendo por los escalones si se presenta contracción o relajación respectivamente, el recuadro en el extremo superior de la pantalla va cambiando de color lo que le indica al paciente si la pelota debe ascender o descender peldaños. El sonido va cambiando en cada peldaño que se asciende o desciende.



2. Circo: Los animales del rectángulo superior van cambiando continuamente de lugar, el muñeco que se encuentra debajo se desplaza a la derecha o a la izquierda dependiendo si el paciente realiza contracción o relajación respectivamente, en el recuadro del extremo superior izquierdo van cambiando los animales y el paciente debe desplazar al muñeco a la derecha o a la izquierda. Durante la sesión se escucha una canción.



Imágenes obtenidas del equipo de biorretroalimentación utilizado. ProCompt-  
Infinity BioGraph System V2.1. Copyright Throught Technology Ltd. 2003. 2180  
Belgrave Avenue Montreal, Quebec, Canada. Licensed to Mind Media Labs, Inc.  
Registration Type: Royalty Free License.

## CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

México DF a de del 2005

Comité de Investigación del Sistema Nacional D. I. F y del  
Instituto Nacional de Pediatría

Yo.....padre /madre/tutor del  
niño..... Por este conducto acepto voluntariamente  
que mi hijo participe en el estudio Biorretroalimentación en el manejo de la función  
manual en niños con hemiparesia espástica secundaria a parálisis cerebral el cuál  
se realizará en el Instituto Nacional de Pediatría a partir de abril del 2005.

Tengo conocimiento que el objetivo de este estudio es demostrar si la  
función de la mano mejora al emplear biorretroalimentación, técnica que ya se me  
explicó en que consiste.

Se que este estudio no pone en peligro la integridad de mi hijo, también  
conozco que deberé comprometerme a asistir con mi hijo a sesiones de tratamiento  
de 30 minutos 3 veces por semana durante 18 sesiones y sé que, si una vez  
iniciado el tratamiento decido por razones personales u alguna otra causa dar de  
baja a mi hijo esto no ocasionará ninguna pérdida de mis derechos como paciente.  
Me fue informado que el tratamiento y las valoraciones son gratuitas y no implican  
gasto aparte del que corresponde al transporte.

Así mismo doy mi consentimiento para que los resultados producto del  
presente estudio de investigación sean publicados si así se requiriera y que mi hijo  
será valorado durante el estudio por la Dra. Itzel Fernández Camacho médico

**ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA**

residente del tercer año de la especialidad de Medicina de Rehabilitación quien conduce el presente trabajo.

Estoy enterado que la participación en este estudio guarda la confidencialidad personal de todos sus participantes.

ATENTAMENTE

---

Firma o huella digital del padre/madre/tutor

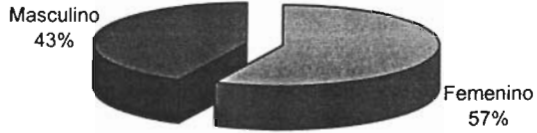
---

Nombre, firma y teléfono del testigo

## **CUADROS Y GRAFICAS**

Gráfica 1

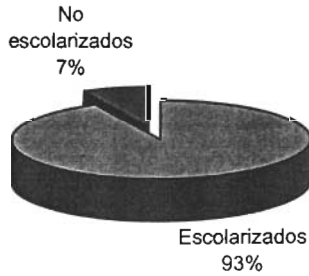
**DISTRIBUCION DE PACIENTES POR GENERO**



Fuente: Hoja de captación de datos

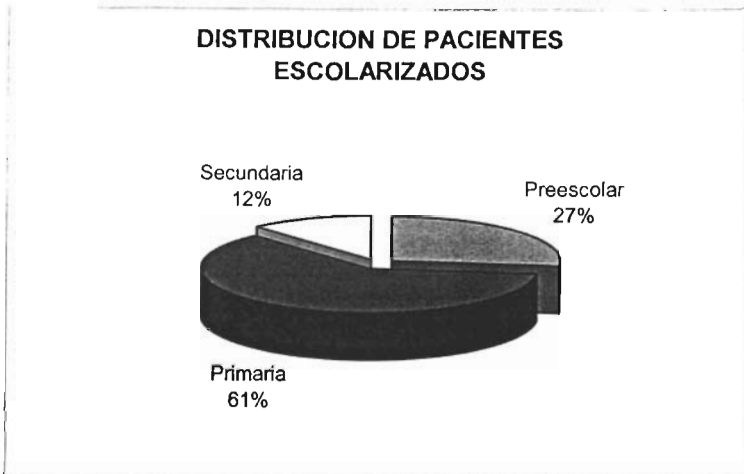
Gráfica 2

**DISTRIBUCION DE PACIENTES POR ESCOLARIDAD**



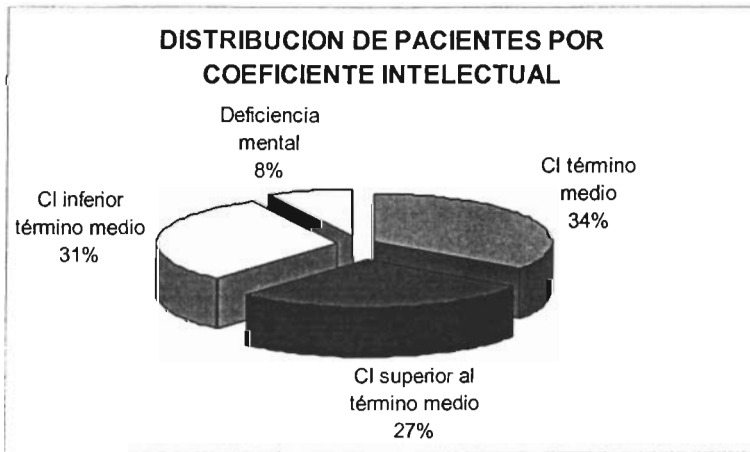
Fuente: Hoja de captación de datos

Gráfica 3



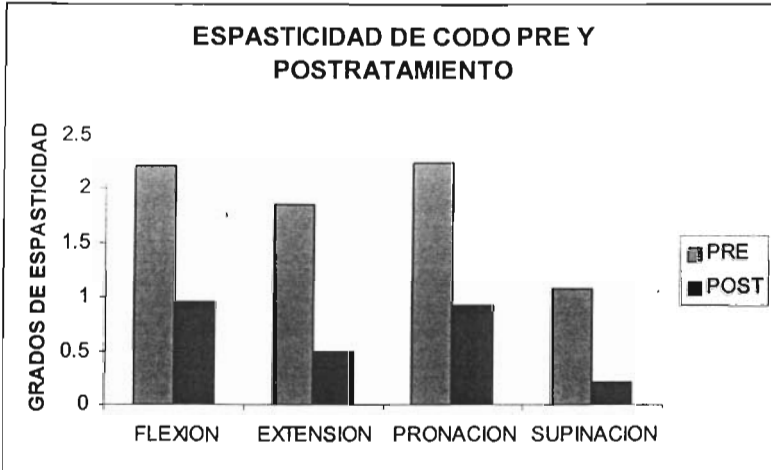
Fuente: Hoja de captación de datos

Gráfica 4



Fuente: Hoja de captación de datos

Gráfica 5



Grados de espasticidad de acuerdo con la escala de Asworth 1=1, 1+=2, 2=3, 3=4, 4=5

Fuente: Hoja de captación de datos

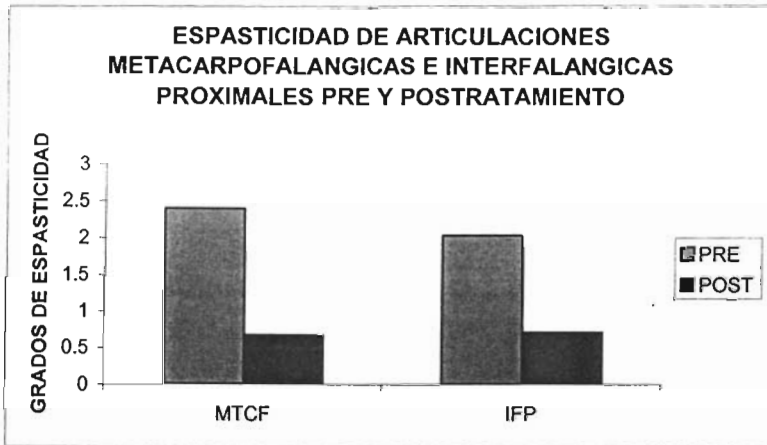
Gráfica 6



Grados de espasticidad de acuerdo con la escala de Asworth 1=1, 1+=2, 2=3, 3=4, 4=5

Fuente: Hoja de captación de datos

Gráfica 7



MTCF: Articulaciones metacarpofalángicas. IFP: Articulaciones interfalángicas proximales.

Grados de espasticidad de acuerdo con la escala de Asworth 1=1, 1+=2, 2=3, 3=4, 4=5

Fuente: Hoja de captación de datos

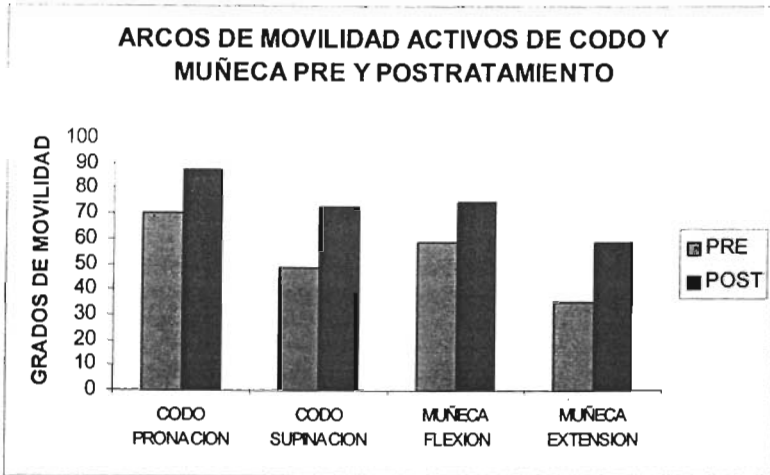
**Tabla 1. Medias y valor de P para Espasticidad pre y postratamiento con  $p < 0.05$**

Espasticidad	Valor de P	Media $\pm$ DS		
		Pre	Post	Diferencia
Codo: Flexión	0.000	2.18 $\pm$ 0.86	0.96 $\pm$ 0.774	1.21 $\pm$ 0.738
Extensión	0.000	1.89 $\pm$ 0.96	0.5 $\pm$ 0.694	1.39 $\pm$ 0.737
Pronación	0.000	2.25 $\pm$ 1.076	0.89 $\pm$ 0.956	1.36 $\pm$ 0.87
Supinación	0.000	1.07 $\pm$ 1.016	0.21 $\pm$ 0.568	0.86 $\pm$ 0.891
Muñeca: Flexión	0.000	0.96 $\pm$ 0.962	0.32 $\pm$ 0.67	0.64 $\pm$ 0.559
Extensión	0.000	2.18 $\pm$ 1.056	1.39 $\pm$ 0.994	0.79 $\pm$ 0.63
MTCF: Flexión	0.000	1.93 $\pm$ 0.979	0.61 $\pm$ 0.737	1.32 $\pm$ 0.723
Extensión	0.005	0.46 $\pm$ 0.793	0.07 $\pm$ 0.262	0.39 $\pm$ 0.685
IFP: Flexión	0.000	1.61 $\pm$ 1.031	0.68 $\pm$ 0.772	0.93 $\pm$ 0.663

De acuerdo con la escala de Asworth 1=1, 1+=2, 2=3, 3=4, 4=5

Fuente: Hoja de captación de datos

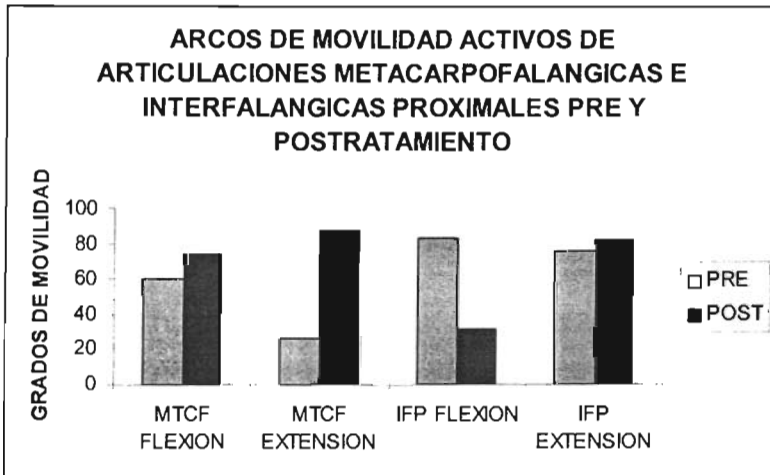
Gráfica 8



Medido en grados mediante goniometría

Fuente: Hoja de captación de datos

Gráfica 9



MTCF: Articulaciones metacarpofalángicas. IFP: Articulaciones Interfalángicas proximales.

Medido en grados mediante goniometría

Fuente: Hoja de captación de datos

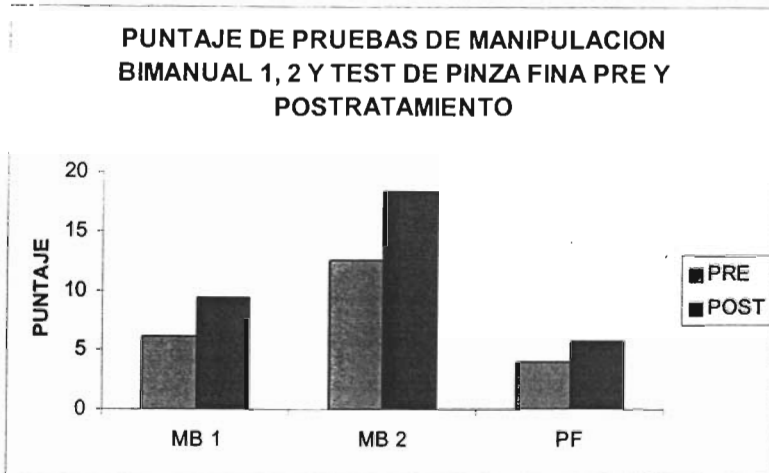
**Tabla 2 . Medias y valor de P del Arco de Movilidad Activo  
pre y postratamiento con  $p < 0.05$**

Arco de movilidad Activo	Valor de P	Media $\pm$ DS		
		Pre	Post	Diferencia
Codo: Pronación	0.000	69.63 $\pm$ 19.87	87.11 $\pm$ 7.067	17.48 $\pm$ 17.0
Supinación	0.000	48.64 $\pm$ 32.32	72.79 $\pm$ 27.18	24.14 $\pm$ 24.68
Muñeca: Flexión	0.002	58.5 $\pm$ 31.18	74.43 $\pm$ 22.91	26.79 $\pm$ 18.82
Extensión	0.000	31.57 $\pm$ 28.24	58.36 $\pm$ 21.05	15.93 $\pm$ 24.35
MTCF: Flexión 2da	0.000	54.43 $\pm$ 20.80	67.93 $\pm$ 17.29	13.5 $\pm$ 15.546
3ra	0.005	60.50 $\pm$ 21.55	74.64 $\pm$ 17.45	14.14 $\pm$ 13.73
4ta	0.007	62.36 $\pm$ 22.125	76.50 $\pm$ 17.58	14.14 $\pm$ 14.36
5ta	0.000	61.04 $\pm$ 22.67	75.19 $\pm$ 18.43	14.15 $\pm$ 13.30
Extensión 3ra	0.005	14.00 $\pm$ 26.02	32.14 $\pm$ 13.43	18.14 $\pm$ 31.542
4ta	0.007	13.57 $\pm$ 27.21	32.36 $\pm$ 13.3	18.79 $\pm$ 34.07

Medido en grados

Fuente: Hoja de captación de datos

Gráfica 10



MB 1: Prueba de Manipulación Bimanual 1. Puntaje total: 12

MB 2: Prueba de Manipulación Bimanual 2. Puntaje total: 24

PF: Test de Pinza Fina. Puntaje total: 9 .....Fuente: Hoja de captación de datos.

**Tabla 3. Medias y valor de P de la Prueba de Manipulación Bimanual 1  
pre y postratamiento con  $p < 0.05$**

Puntaje	Valor de P	Media $\pm$ DS		
		Pre	Post	Diferencia
1	0.000	1.57 $\pm$ 0.79	2.29 $\pm$ 0.713	0.71 $\pm$ 0.60
2	0.000	1.46 $\pm$ 0.881	2.29 $\pm$ 0.763	0.82 $\pm$ 0.67
3	0.000	1.57 $\pm$ 0.863	2.36 $\pm$ 0.685	0.82 $\pm$ 0.612
4	0.000	1.61 $\pm$ 0.629	2.39 $\pm$ 0.685	0.79 $\pm$ 0.686

Puntaje: 0: No usa el lado afectado,

Fuente: Hoja de captación de datos

1: Usa el lado afectado con un patrón estereotipado,

2: Cooperación del lado afectado con numero de restringido de patrones,

3: Cooperación para sostener y manipular, usa una variedad de patrones.

**Tabla 4. Medias y valor de P de la Prueba de Manipulación Bimanual 2 pre y postratamiento con diferencia p<0.05**

Puntaje	Valor de P	Media±DS		
		Pre	Post	Diferencia
1 Cortar con tijeras	0.000	1.61±0.629	2.39±0.685	0.79±0.568
2 Cargar una bandeja	0.000	1.93±0.663	2.5±0.638	0.57±0.634
3 Abrir una botella	0.000	1.68±0.612	2.46±0.693	0.79±0.630
4 Cortar una salchicha	0.003	1.64±0.826	2.07±0.539	0.43±0.690
5 Subir un cierre	0.000	1.75±0.585	2.36±0.731	0.61±0.629
6 Abonotar pantalones	0.000	1.32±0.905	2.11±0.737	0.79±0.686
7 Atar unas agujetas	0.000	1.18±1.056	2.14±0.803	0.96±0.922
8 Dar vueltas a un libro	0.000	1.39±0.737	2.32±0.772	0.93±0.766

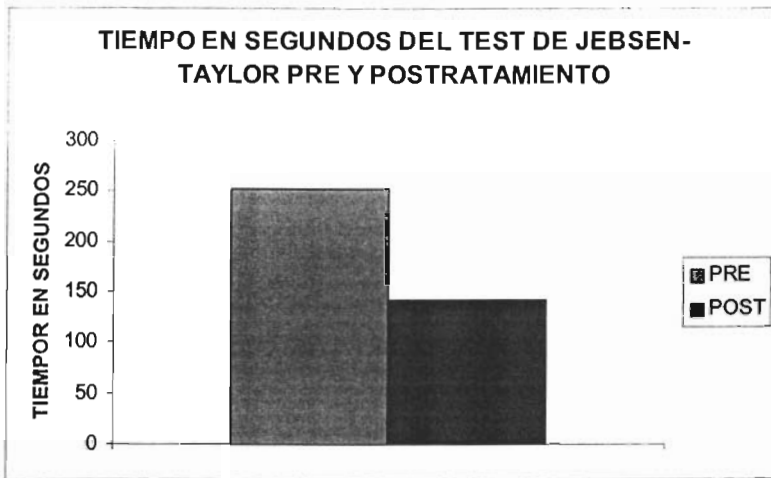
Puntaje: 0: No lo hace, 1: Asiste sin hacer pinza, 2: Se asiste con una pinza anormal, 3: Se asiste con una pinza normal. Fuente: Hoja de captación de datos

**Tabla 5. Medias y valor de P del Test de Pinza Fina pre y postratamiento con diferencia p<0.05**

Puntaje	Valor de P	Media±DS		
		Pre	Post	Diferencia
1 Cubo 4 cm <sup>2</sup>	0.002	1.25±0.887	1.61±0.956	0.36±0.559
2 Cubo 2.5 cm <sup>2</sup>	0.004	1.32±0.945	1.86±0.891	0.54±0.637
3 Cubo 1 cm <sup>2</sup>	0.002	1.39±0.956	2.25±0.799	0.86±0.803

Puntaje: 0:Inhabilidad para tomar el cubo, 1:Toma con toda la mano, 2:Pinza radial o tridigital, 3: Pinza pulgar-índice. Fuente: Hoja de captación de datos

Gráfica 11



Fuente: Hoja de captación de datos

**Tabla 6. Medias y valor de P del Test de Jepsen-Taylor  
pre y postratamiento\_con diferencia  $p < 0.05$**

Tiempo (segundos)	Valor de P	Media $\pm$ DS		
		Pre	Post	Diferencia
3 Simular comer	0.002	79.04 $\pm$ 58.49	34.20 $\pm$ 29.63	44.84 $\pm$ 44.53
4 Apilar fichas	0.004	63.58 $\pm$ 60.29	35.16 $\pm$ 31.78	28.42 $\pm$ 41.24
5 Levantar objetos livianos	0.002	71.79 $\pm$ 78.26	31.94 $\pm$ 33.78	39.85 $\pm$ 60.04
6 Levantar objetos pesados	0.006	52.36 $\pm$ 47.13	33.92 $\pm$ 43.21	18.43 $\pm$ 31.90

Fuente: Hoja de captación de datos

**Tabla 7. Medias y valor de P global de las Pruebas de Manipulación Bimanual 1 y 2, Test de Pinza Fina y Jebsen-Taylor pre y postratamiento con diferencia  $p < 0.05$**

Puntaje	Valor de P	Media $\pm$ DS		
		Pre	Post	Diferencia
MB 1	0.000	6.17 $\pm$ 3.05	9.32 $\pm$ 2.69	3.14 $\pm$ 2.08
MB 2	0.000	12.5 $\pm$ 4.76	18.35 $\pm$ 4.36	5.85 $\pm$ 2.42
Jebsen-Taylor	0.012	251.87 $\pm$ 171.38	141.61 $\pm$ 129.46	110.25 $\pm$ 126.67
Pinza Fina	0.000	3.96 $\pm$ 2.71	5.7 $\pm$ 2.46	1.75 $\pm$ 1.64

MB 1: Prueba de Manipulación Bimanual 1. Puntaje total: 12.

Fuente: Hoja de captación de datos

MB 2: Prueba de Manipulación Bimanual 2. Puntaje total: 24 Test Jebsen-Taylor, Test de Pinza Fina. Puntaje total 9.

## REFERENCIAS

1. Lin J. The cerebral palsies: a physiological approach. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2003; 74 (suppl I): i23-i29.
2. Proyecto de la Norma Oficial Mexicana NOM-173-SSA1-1998 para la atención a personas con discapacidad.
3. Pascual J, Koenigsberger M. Parálisis cerebral: factores de riesgo prenatales. *Rev neurol* 2003; 37 (3): 275-280.
4. Lazar R. Principles of neurologic rehabilitation. Chicago: The McGraw-Hill Companies; 1998.
5. Bringas A, Fernández a, García C, Barrera M, Toledo M, Domínguez J- Parálisis cerebral infantil: un estudio de 250 casos. *Rev neurol* 2002; 35 (9): 812-817.
6. Molnar G. Pediatric rehabilitation; 2nd ed. USA: Williams and Wilkins; 1992.
7. Badawi N, Watson L, Petterson B, Blair E, Slee J, et al. What constitutes cerebral palsy. *Dev Med Chil Neurol* 1998; 40: 520-527.
8. Legido A, Katsetos C. Parálisis cerebral: nuevos conceptos etiopatogénicos. *Rev Neurol* 2003; 36 (2): 157-165.
9. Registro de estadístico del Centro Nacional Modelo de Atención, Investigación y Capacitación para la Rehabilitación e Integración Educativa "Gaby Brimmer"; 2003.
10. Registros de estadística del servicio de rehabilitación del INP; 2004.
11. Fedrizzi E, Pagliano E, Andreucci E, Oleari G. Hand function in children with hemiplegic cerebral palsy: prospective follow-up and functional outcome in adolescence. *Dev Med Child Neurol* 2003; 45: 85-91.
12. Takanashi J, Brakivich A, Ferriero D, Susuki H, Kohno Y. Widening spectrum of congenital hemiplegia. *Neurology* 2003; 61: 531-533.
13. Behrman R, Kliegman R, Arvin A. Nelson W. Tratado de pediatría; 15ª ed. EUA: McGraw-Hill Interamericana; 1997.

14. Campos-Castello J, De Santos M, Jiménez-Alamo M, Ramírez R, Careaga-Maldonado J. Hemorragias cerebrales en el recién nacido a término. *Rev Neurol* 1999; 29 (3): 239-246.
15. Duff S, Gordon A. Learning of grasp control in children with hemiplegic cerebral palsy. *Dev Med Chil Neurol* 2003; 45: 746-757.
16. Eliasson A, Gordon A. Impaired force coordination during objects release in children with hemiplegic cerebral palsy. *Dev Med Chil Neurol* 2000; 42: 228-234.
17. Gordon A, Duff S. Relation between clinical measures and fine manipulative control in children with hemiplegic cerebral palsy. *Dev Med Chil Neurol* 1999; 41: 586-591.
18. O'Sullivan S. Physical rehabilitation. New York: F.A Davis Company; 2001.
19. Toner L, Cook K, Elder G. Improved ankle function in children with cerebral palsy after computer-assisted motor learning. *Dev Med Chil Neurol* 1998; 40: 829-835.
20. Colborne R, Wright V, Naumann S. Feedback of triceps surae EMG in gait of children with cerebral palsy: a controlled study. *Arch Phys Med Rehabil* 1994; 75: 40-45.
21. Fustinoni O. Semiología del sistema nervioso; 20va ed. Buenos Aires: El Ateneo; 1991.
22. Coutiño B. Daño neurológico encefálico por encefalopatía no progresiva. México D.F: Equipos interferenciales de México; 2002.
23. Adams A, Victor M, Ropper A. Principios de neurología; Séptima ed. EUA: McGraw-Hill; 2004.
24. Carr L, Harrison L, Evans A, Stephens J. Patterns of central motor reorganization in hemiplegic cerebral palsy. *Brain* 1993; 116: 1223-1247.
25. Elder G, Kirk J, Steward G, Cook K, Weir D, Marshall A, et al. Contributing factors to muscle weakness in children with cerebral palsy. *Dev Med Chil Neurol* 2003; 45: 542-550.

26. Siebes R, Wijnroks L, Vermeer A. Qualitative analysis of therapeutic motor intervention programmes for children with cerebral palsy: an update. *Dev Med Chil Neurol* 2002; 44: 593-603.
27. Volpe J. *Neurología del RN*; 4ta ed. EUA: McGrawHill; 2001.
28. *Miembros de la clínica mayo. Examen clínico neurológico*; 3ra ed. Minnesota: La prensa médica mexicana; 1984.
29. Levitt S. *Tratamiento de la parálisis cerebral y del retraso motor*; 3ra ed. EUA: Panamericana; 2001.
30. Valvano J, Newell K. Practice of a precision isometric grip-force task by children with spastica cerebral palsy. *Dev Med Chil Neurol* 1998; 40: 464 - 473.
31. Utley A, Sugden D. Interlimb coupling in children with hemiplegic cerebral palsy during reaching and grasping at speed. *Dev Med Child Neurol* 1998; 40: 396-404.
32. Berger W. Cerebral palsy: aspects of pathophysiology and principles of therapy. *Neurorehabilitation* 1998; 10: 257-265.
33. Gerloff C, Corwel B, Chen R, Hallet M, Cohen L. The rol of the human motor cortex in the control of complex and simple finger movements sequences. *Brain* 1998; 121: 1695-1709.
34. Forssberg H, Eliasson A, Redon-Zouitenn C, Mercuri E, Dubowitz L. Impaired grip-lift synergy in children with unilateral brain lesions. *Brain* 1999; 122: 1157-1168.
35. Wissel J, Ebersbach G, Gutjahr L, Dahlke F. Treating chronic hemiparesis with modified biofeedback. *Arch Phys Med Rehabil* 1989; 70: 613-116.
36. Catalan M, Honda M, Weeks R, Cohen I, Hallet M. The functional neuroanatomy of simple and complex sequential finger movements. A PET study. *Brain* 1998; 121: 253-264.
37. Gordon A, Charles J, Duff S. Fingertip forces during object manipulation in children with hemiplegic cerebral palsy. I: anticipatory scaling. *Dev Med Child Neurol* 1999; 41: 176-185.

38. Thickbroom G, Byrnes M, Archer S, Nagarajan L, Mastaglia F. Differences in sensory and motor cortical organization following brain injury early in life. *Ann Neurol* 2001; 49:320-327.
39. Hanna S, Law M, Rosenbaum P, King G, Walter S, Pollock N, et al. Development of hand function among children with cerebral palsy: growth curve analysis for ages 16 to 70 months. *Dev Med Child Neurol* 2003; 45: 448-455.
40. Fietzek U, Heinen F, Berweck S, Maute S, Hufschmidt A, Schulte-Monting J, et al. Development of the corticospinal system and hand motor function: central conduction times and motor performance tests. *Dev Med Child Neurol* 2000; 42: 220-227.
41. Hopkins H, Smith H. Willard Spackman Occupational Therapy; 8 ed. New York: Lippincott publishers; 1993.
42. Mayston M, Harrison L, Stephe J. A neurophysiological study of mirror movements in adults and children. *Ann Neurol* 1999; 45: 583-594.
43. Staudt M, Grodd W, Gerloff C, Erb M, Stitz J, Krageloh-Mann. Two types of ipsilateral reorganization in congenital hemiparesis a TMS and fMRI study. *Brain* 2002; 125: 2222-2237.
44. Johansson B. Brain plasticity and stroke rehabilitation. *Stroke* 2000; 31: 223-230.
45. Carey J, Kimberley T, Lewis S, Auerbach E, Dorsey L, Rundquist P, et al. Analysis of fMRI and finger tracking training in subjects with chronic stroke. *Brain* 2002; 125: 773-788.
46. Delisa J, Currie D, Gans B. Rehabilitation medicine principles and practice; 3th ed. Philadelphia: Lippincott-Raven publishers; 1998.
47. Kapandji A. Fisiología articular, tomo I; 5ta ed. Paris : Panamericana; 1998.
48. Dutton, M. Orthopaedic examination, evaluation, and intervention; EUA: McGraw-Hill; 2004.
49. Frontera W, Silver J. Essentials of physical medicine and rehabilitation; Boston: Hanley and Belfus; 2002.

50. Hoppenfeld S. Exploración física de la columna vertebral y las extremidades. Nueva York: Manual moderno; 1979.
51. Kottke F, Lehmann L, Krussen. Medicina física y rehabilitación; 4ta ed. España: Panamericana; 1993.
52. Krumlinde-Sundholm L, Eliasson a. Comparing test of tactile sensibility: aspects relevant to testing children with spastic hemiplegia. *Dev Med Child Neurol* 2002; 45: 604-612.
53. Alon G, Stibrant K, Geurts A, Ohry A. A home-based, self-administered stimulation program to improve selected hand functions of chronic stroke. *Neurorehabilitation* 2003; 18: 215-225.
54. Jebsen N, Taylor R, Trieschmann M, Trotter A, Howard L. An objective and standardized test of hand function. *Arch Phys Med Rehabil* 1969; 50: 311-319.
55. Basmajian J. Biofeedback in rehabilitation: a review of principles and practices. *Arch Phys Med Rehabil* 1981; 62: 469-474.
56. Burnside L, Tobias S, Bursill D. Electromyographic feedback in the remobilization of stroke patients: a controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil* 1982; 63: 217-221.
57. Dahlkef F, Ebersbach G, Gutjar I. Treating chronic hemiparesis with modified biofeedback. *Arch Med Phys Med Rehabil* 1989; 70: 612-616.
58. Trombly C. Terapia ocupacional para enfermos incapacitados físicamente; México: La prensa médica mexicana; 2001.
59. Gordon A, Charles J, Duff S. Finger forces during objet manipulation in children with hemiplegic cerebral palsy. II: bilateral coordination. *Dev Med Child Neurol* 1999; 41: 176-185.
60. Dursun E, Hamaci N, Dönmez S, Tüzünalp Ö, Cakci A. Angular Biofeedback device for sitting balance of stroke patients. *Stroke* 1996;27:1354-1357.
61. Inglis J, Donald M, Monga T, Sproole M. Electromyographic biofeedback and physical therapy of the hemiplegic upper limb. *Arch Phys Med Rehabil* 1984; 65: 755-758.

62. Hummelsheim H. Rationales for improving motor function. *Curr Opin Neurol* 1999; 12: 697-701.
63. Schleenbaker R, Mainous A. Electromyographic biofeedback for neuromuscular reeducation in the hemiplegic stroke patient: a meta-analysis. *Arch Phys Med Rehabil* 1993; 1301-1304.
64. Day C, Pease W, Hubbell S. Biofeedback and functional electric stimulation in stroke rehabilitation. *Arch Phys Med Rehabil* 1988; 69: 401-405.
65. Basmajian J, Gowland C, Brandstater M, Swanson L, Trotter J. EMG feedback treatment of upper limb in hemiplegic stroke patients: a pilot study. *Arch Phys Med Rehabil* 1982; 63: 613-616.
66. Basmajian J, Gowland C, Finlayson A, Hall A, Swanson L, Stratford P, et al. Stroke treatment: comparison of integrated behavioral physical therapy vs traditional physical therapy programs. *Arch Phys Med Rehabil* 1987; 68: 267-272.
67. Mandel A, Nymark J, Balmer S, Grinnell D. Electromyographic versus rhythmic positional biofeedback in computerized gait retraining with stroke patients. *Arch Phys Med Rehabil* 1990; 71: 649-653.
68. Shumway-Cook A, Anson D, Haller S. Postural sway biofeedback: its effect on reestablishing stance stability in hemiplegic patients. *Arch Phys Med Rehabil* 1988; 69: 395-399.
69. Colborne R, Olney S, Griffin M. Feedback of ankle joint angle and soleus electromyography in the rehabilitation of hemiplegic gait. *Arch Phys Med Rehabil* 1993; 74: 1100-1106.
70. Seeger B, Caudrey D. Biofeedback therapy to achieve symmetrical gait in children with hemiplegic cerebral palsy: long-term efficacy. *Arch Phys Med Rehabil* 1983; 64: 160-162.