

Clasificación de movimientos en lactantes menores con riesgo de parálisis cerebral a través de un sistema de análisis de movimiento.

Dianey Y. Correa Pérez¹, M. en C. Alberto I. Pérez Sanpablo², M. en C. Ivett Quiñones Urióstegui³

¹Departamento de Ingeniería Biomédica, Universidad Iberoamericana, México D.F., México

²Lab. De Análisis de Movimiento Humano, Instituto Nacional de Rehabilitación, México D.F., México

Resumen— La parálisis cerebral (PC) es un trastorno frecuente en el desarrollo neurológico de los infantes. Su diagnóstico se basa en una evaluación clínica que resulta en una valoración tardía, evitando una intervención temprana. En el Instituto Nacional de Rehabilitación se desarrolló un sistema de análisis de movimiento para detección temprana de riesgo de PC en lactantes menores (AML), basado en el método de Prechtl. El sistema permite una descripción objetiva y cuantitativa de los movimientos generales del lactante. El objetivo de éste trabajo es obtener la clasificación de los movimientos adquiridos con el sistema en datos útiles y no útiles, por medio de un análisis descriptivo y posteriormente de una prueba no paramétrica (Kruskal-Wallis). Se determinó que un dato útil es aquel donde el lactante está dentro del área de medición, tranquilo, sin distracción y, un dato no útil es aquel donde el lactante está fuera del área de medición, presenta llanto o es manipulado de alguna forma. Se lograron identificar algunas variables que aportan información útil para la clasificación y los segmentos corporales con mayor contribución a esta clasificación. Un trabajo a futuro podría ser implementar éste análisis por medio de un algoritmo para una automatización de la discriminación como parte del sistema AML.

Palabras clave— Análisis de Movimiento, Método de Prechtl, Movimientos Generales (GM), Parálisis Cerebral, Sensores inerciales.

I. INTRODUCCIÓN

La parálisis cerebral (PC) se define como el deterioro motor que limita la actividad y se atribuye a trastornos no progresivos durante el desarrollo de fetos o recién nacidos. Los trastornos motores de la PC son a menudo acompañados por la cognición deteriorada, comunicación y percepción sensorial, con alteraciones en el comportamiento, trastornos convulsivos, o una combinación de estas características [1]. Las causas pueden ser muy diversas, y entre ellas se encuentran las prenatales, complicaciones en el nacimiento, bajo peso al nacer (inferior a 1.500 g), recién nacido prematuro, hemorragias intracraneales, traumatismos craneoencefálicos, crecimiento intrauterino retardado [2].

La prevalencia global de la parálisis cerebral se sitúa aproximadamente entre un 2 – 2.5 por cada 1000 nacidos vivos [3].

Actualmente el diagnóstico se basa en una evaluación clínica, generalmente en maniobras y observaciones visuales, sin embargo, el diagnóstico definitivo se obtiene hasta los cuatro años de vida evitando así una intervención

temprana que permita disminuir secuelas discapacitantes debidas a la PC [4].

Dentro de la observación visual se incluye la visualización de la actividad motora espontánea realizada por un médico especializado, hasta ahora ha resultado ser un criterio importante en el diagnóstico temprano de riesgo de PC descrito por Prechtl [5].

El método de Prechtl describe a los movimientos generales (GM) como un conjunto de movimientos complejos que se producen con frecuencia y que involucran a todo el cuerpo en una secuencia variable de movimientos de brazos, piernas, cuello y tronco. Este método consiste en una valoración cualitativa de los GM de los recién nacidos y niños de temprana edad para el descubrimiento oportuno de trastornos neurológicos, por lo tanto, la calidad de su ejecución es un indicador importante para un diagnóstico temprano.

Se distinguen dos tipos de movimientos generales: los movimientos serpenteantes (WM, *writhing movements*) y los movimientos enredadores (FM, *fidgety movements*). Los WM están presentes durante los primeras 5 semanas de vida y se caracterizan por ser movimientos pequeños de moderada amplitud y de pequeña a moderada velocidad. Posteriormente se da paso a los FM, estos movimientos permanecen hasta la semana 20, y se caracterizan por movimientos de pequeña amplitud, moderada velocidad pero con aceleración variable del tronco, cuello y extremidades, la ausencia de estos movimientos tienen una alta predicción de riesgo de PC. A partir de la semana 15 el lactante comienza a presentar movimientos voluntarios antigraedad.

También se incluyen los movimientos espasmódicos sincrónicos (CS), pueden aparecer durante la etapa de los WM y son de vital importancia ya que su presencia se asocia a un alto grado de riesgo de PC. Son movimientos anormales y parecen rígidos, carecen de carácter suave y fluido normal, las extremidades y los músculos del tronco se contraen y relajan casi simultáneamente.

El proceso de medición de éste método requiere de la grabación de los movimientos, la cual debe tener una duración de 30 a 60 minutos aproximadamente. El lactante debe estar cómodamente vestido o preferentemente desnudo. Se debe colocar en una posición decúbito supina completamente tranquilo y sin distracciones. [6].

A pesar de su utilidad el método es subjetivo y depende de la experiencia del evaluador por lo que se han desarrollado esfuerzos para darle mayor objetividad.

Meinecke [7] desarrolló un sistema óptico de análisis de movimiento tridimensional obteniendo la cinemática del movimiento usando marcadores, por problemas de oclusión en éstos únicamente fue posible obtener datos de las extremidades inferiores, tronco y cabeza de los lactantes. Sin embargo, se describen variables importantes para la descripción de los movimientos en la predicción de PC relacionados con el método de Prechtl [7].

Heinze [5] realizó un sistema basado en el anterior usando acelerómetros, éstos proporcionan suficiente calidad y fiabilidad en los datos registrados para acceder a las características de los trastornos del movimiento.

En el estudio se utilizaron 4 acelerómetros, los cuales fueron colocados en las extremidades del infante, sin embargo, en su validación sólo se incluyeron 4 lactantes menores. Este sistema obtuvo razones de detección superiores al 88% [5].

En el Instituto Nacional de Rehabilitación (INR) se desarrolló un sistema de análisis de movimiento para detección temprana de riesgo de PC en lactantes menores (AML). Este sistema incluye distintos dispositivos que permiten obtener información acerca del comportamiento postural del lactante, se cuenta con una plataforma de fuerza inalámbrica Wii Balance Board (Nintendo, Kyoto, Japón), 5 sensores inerciales (Xsens, Enchede, Países Bajos) para obtener aceleraciones y velocidades angulares de pies, manos y torso, captura de video con una cámara HD Pro Webcam C910 (Logitech, Morges, Suiza).

Los sensores inerciales son colocados y numerados de la siguiente forma, brazo derecho (sensor 1), pierna derecha (sensor 2), pierna izquierda (sensor 3), brazo izquierdo (sensor 4) y en el pecho (sensor 5) utilizado como referencia [8].

A pesar de los esfuerzos anteriores ningún estudio reporta valores de referencia para identificar los movimientos realizados por los lactantes menores. Por lo tanto, como punto inicial el presente trabajo tienen como objetivo la caracterización de los movimientos del lactante menor, para poder distinguir y discriminar aquellos que puedan ser útiles para analizar mediante el método de Prechtl.

Esta clasificación se logrará a través de un análisis descriptivo de todos los datos clasificados de acuerdo a la observación crítica del registro del video de cada lactante durante la medición. Posteriormente los datos son sometidos a una prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para encontrar diferencias entre los mismos.

II. METODOLOGÍA

El sistema AML consta de dos partes, aquella encargada de la captura de los datos y la encargada del procesamiento de los mismos. Los datos se almacenan en dos archivos de texto, uno contiene los datos crudos (RAW) y, el segundo contiene los datos procesados (PRO), son las variables calculadas a partir de los datos crudos. El sistema también

registra el video de los movimientos del lactante. Las variables se obtienen de los sensores inerciales (1-5).

El archivo con los datos crudos contiene a las siguientes variables: estampa de tiempo de los datos recibidos (Tiempo), aceleración (Acc), velocidad angular (Vang), en el eje X, Y y Z de los sensores 1 al 5, la coordenada X y Y del centro de presiones (COP) y por último el registro de la frecuencia cardiaca (FrecCardiaca).

El archivo con los datos procesados contiene a las variables de oblicuidad (Skew) de la aceleración, velocidad (Vel) y velocidad angular (respecto al eje X) de cada uno de los sensores; la correlación cruzada (Cov) entre la aceleración, la velocidad y la velocidad angular de un sensor contra otro; el promedio de las correlaciones cruzadas de las aceleraciones (PromCovAcc), aceleración máxima (MaxAcc), velocidad mínima (MinVel), periodicidad de la velocidad de los brazos (PeriodicidadBrazos) de los sensores (1,4) y piernas (PeriodicidadPiernas) de los sensores (2,3), área en la que el perfil de velocidad de los brazos (AreaBrazosMedia) y piernas (AreaPiernasMedia) se aleja de la media; área en la que el perfil de velocidad de los brazos (AreaBrazosSD) y piernas (AreaPiernasSD) se aleja de la desviación estándar; la medida de suavidad basada en tirón de cada uno de los sensores (SuavTiron), la porción del tiempo en que la velocidad de cada uno de los sensores se encuentra en reposo (MAPR), número de picos (Picos) en el perfil de velocidad; el recorrido (Recorrido), recorrido unitario (RecorridoUnitario), la razón de oscilación (RazonOscilación) y la oblicuidad del COP [7], [8].

Todas las variables fueron seleccionadas y definidas como importantes con base en una síntesis de datos reportados en trabajos desarrollados previamente [5], [7]. Cada variable proporciona información acerca del movimiento del lactante tomando en cuenta las características de los distintos movimientos descritos por Prechtl, como son amplitud, aceleración, velocidad y que en conjunto se deben caracterizar por ser fluidos, elegantes y complejos. La relación que existe con éstas variables es que describen los movimientos generales con base en sus características de forma cuantitativa.

Los datos de cada una de estas variables a lo largo de todo el registro se clasificó en útil y no útil con base en una observación crítica de todos los videos registrados por el sistema AML. Se determinó que un dato útil es aquel en donde el lactante se encuentra en una posición decúbito supina en el centro de la plataforma de fuerza sin salirse de ella; un dato no útil es aquel en donde el lactante se encuentra completamente fuera de la plataforma, si presenta llanto o si durante la evaluación es manipulado.

Con base en la observación crítica del video se registró el tiempo en el que cada dato útil ocurría para ubicarlo en los archivos de texto.

Una vez clasificados los datos, fueron sometidos a un primer análisis descriptivo, donde se obtuvieron los valores máximos (max), mínimos (min), promedio y desviación estándar (SD). Posteriormente fueron sometidos a un

segundo análisis utilizando el método no paramétrico de Kruskal-Wallis, éste fue implementado con la plataforma MatLab, para encontrar diferencias entre los datos útiles de los no útiles. Lo anterior para contrastar la hipótesis nula (h) y probar si un grupo de datos proviene de la misma distribución de datos que otro. En los datos que presentaron diferencias, se calculó la razón de promedios dividiendo el promedio de los datos entre los no útiles para cada lactante y la razón de SD dividiendo la desviación estándar de los datos útiles entre la misma de los datos no útiles para cada lactante.

III. RESULTADOS

Con el sistema AML se realizó el estudio de tres lactantes menores con riesgo de PC, por lo tanto, se incluyeron únicamente estos datos. El primer registro se llevó a cabo con un embarazo gemelar de 33 semanas de gestación. El gemelo 1 de sexo femenino con un peso al nacer de 1.348 kg, talla de 40 cm, el gemelo 2 de sexo masculino con peso al nacer de 1.090 kg y talla de 35 cm ambos con 4 meses de edad, corregida a 2 meses y con un Apgar de 8/9. El tercer registro es de sexo femenino con 28 semanas de gestación, con un peso al nacer de 1.600 kg, talla de 37 cm y sin Apgar, ya que los médicos no lo pudieron calificar, edad 3 meses 3 semanas y corregida de 2 meses.

Los resultados obtenidos por la prueba de Kruskal-Wallis, pueden observarse en la Tabla I. Esta contiene 17 variables sin diferencias significativas entre los tres lactantes, utilizando únicamente los datos útiles. Se muestra el valor p (proveniente de la hipótesis nula (h)), el promedio, la desviación estándar (SD) y el rango de valores mínimo (min) y máximo (máx) de los parámetros.

En la Tabla II. puede observarse las 12 variables con diferencias significativas entre los lactantes. Debido a que uno de los lactantes no contaba con datos no útiles, en éste análisis se compararon únicamente los datos de dos lactantes. A diferencia de la Tabla I. se observó la razón de promedios y la razón de la SD, ambas razones registradas en rangos.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el primer análisis se puede observar que la SD es un parámetro importante que refleja una diferencia entre datos útiles y no útiles en los 3 lactantes. Los datos útiles tienden a estar dentro de un rango específico, mientras que el rango de los datos no útiles se encuentra por debajo y por encima del rango útil.

Existen ciertas variables como Vang1, min_Vel4, PeriodicidadPiernas, SuavTiron1,2 y 3 y, Picos3; en las cuales su rango de razón de SD es muy pequeño, por lo tanto, estas variables brindan poca información útil para lograr la clasificación de acuerdo a todas las demás variables. Con la razón de promedios los parámetros que brindan menor información son PeriodicidadPiernas y SuavTiron1.

Tabla I. Variables sin diferencias entre los tres lactantes menores, utilizando únicamente los datos útiles.

Variables sin diferencias significativas entre sujetos			
Datos PRO (procesados)			
Variable	Valor p	Promedio (SD)	[Min - Máx]
Skew_Acc2	0.85	0.17(0.78)	[- 2.77 - 4.04]
Skew_Acc3	0.09	0.19 (0.84)	[-2.91 - 4.46]
Skew_Vel2	0.48	0.15 (0.74)	[-2.91 - 3.64]
Skew_Vel3	0.08	0.16 (0.78)	[-2.83 - 4.02]
Skew_Vel4	0.14	0.16 (0.90)	[-3.00 - 4.49]
Skew_Velangx2	> 0.99	(-0.02) (0.73)	[-3.32 - 3.36]
Skew_Velangx3	> 0.99	(-0.01) (0.80)	[-2.83 - 4.09]
Skew_Velangx4	0.97	0.03 (0.86)	[-3.07 - 3.89]
Skew_Velangx5	0.96	(-0.02) (0.67)	[-2.30 - 4.33]
Cov_Acc1-3	0.45	0.01 (0.26)	[-1.32 - 8.85]
Cov_Acc1-4	0.19	0.01 (0.30)	[-2.10 - 10.14]
Cov_Acc3-4	0.09	0.00 (0.34)	[-2.10 - 17.91]
Cov_Velang1-2	0.16	0.03 (0.28)	[-1.20 - 5.66]
Cov_Velang1-3	0.22	0.02 (0.28)	[-0.98 - 4.47]
Cov_Velang2-4	0.09	0.02 (0.22)	[-1.55 - 3.26]
Cov_Velang3-4	0.13	0.03 (0.28)	[-1.24 - 6.72]
MARP4	0.08	0.31 (0.15)	[0.00 - 1.00]
Datos RAW			
Vang1	< 0.01	0.00 (1.00)	[-1.80 - 14.07]
Vang3	< 0.01	(-4.25) (0.64)	[-1.93 - 8.07]

Tabla II. Variables con diferencias significativas entre sujetos, utilizando datos útiles y no útiles.

Variables con diferencias significativas entre datos útiles y no útiles			
Variable	Valor p	Razón de Promedios	Razón de SD
Datos RAW			
Vang1	< 0.01	[0.00 - 0.05]	[0.89 - 0.91]
Vang2	< 0.01	[1.00 - 1.5]	[0.823 - 1.29]
Datos PRO			
Cov_Acc1-2	0.04	[0.00 - 8.00]	[0.266 - 3.10]
Max_Acc1	< 0.01	[0.78 - 2.80]	[0.37 - 1.8]
Max_Acc2	< 0.01	[0.75 - 1.26]	[0.55 - 0.79]
Max_Acc4	< 0.01	[1.25 - 1.28]	[0.87 - 1.03]
Min_Vel2	< 0.01	[0.50 - 1.00]	1.00
Min_Vel4	< 0.01	[1.00 - 2.00]	1.00
Min_Vel5	< 0.01	[0.13 - 1.00]	[1.00 - 2.00]
Periodicidad Piernas	< 0.01	[1.05 - 1.07]	[1.00 - 1.08]
SuavTiron1	< 0.01	[1.08 - 0.88]	[1.01 - 1.02]
SuavTiron2	< 0.01	[1.17 - 1.34]	[1.12 - 1.13]
SuavTiron3	< 0.01	[1.05 - 1.34]	[0.95 - 1.20]
Picos3	< 0.01	[1.04 - 1.24]	[1.00 - 1.10]

IV. DISCUSIÓN

Las variables reportadas en éste análisis se pueden considerar importantes ya que muestran información de los movimientos realizados por los lactantes para poder clasificarlos. Existen variables que nos ofrecen mayor información útil que otras de acuerdo al rango en el cual se presentan, esto debido a que algunos registros cuentan con un rango amplio aceptable de valores mientras que otros cuentan con un rango muy pequeño y difícil de clasificar.

Existen ciertas variables que no son reportadas debido a que registraron valores de cero, Cov_Vel1-4 y Cov_Vel3-4, Cov_Vel1-2, AreaBrazosMedia, AreaBrazosSD, AreaPiernasMedia, estas variables representan las correlaciones entre las velocidades de los miembros torácico y pélvico por hemicuerpo y las correlaciones entre las velocidades de ambos miembros torácicos. Estas correlaciones se relacionan con la presencia de movimientos sincrónicos. Por otro lado, las Áreas se relacionan con la presencia de movimientos espasmódicos que hacen que el movimiento de los miembros se aleje de una trayectoria suave. Esto es interesante pues al finalizar el video puede comprobarse que ninguno de los lactantes estudiados presentó movimientos espasmódicos sincrónicos. Aunque habría que comprobar esto realizando la valoración de niños que si presenten estos movimientos.

Como puede apreciarse la mayoría de los sensores tienen participación en el cálculo de las variables discriminantes, el sensor 1 (brazo der.) con $4/17=23.5\%$, sensor 2 (pierna der.) con $5/17=29.4\%$, sensor 3 (pierna izq.) con $7/17=41.1\%$, sensor 4 (brazo izq.) con $6/17=35.2\%$ y por último el sensor 5 (esternón) con $1/17=5.8\%$. Al igual en las variables con diferencias significativas (12 variables) el sensor 1 con $3/12=25\%$, sensor 2 con $5/12=41\%$, sensor 3 con $3/12=25\%$, sensor 4 con $2/12=16.6\%$, sensor 5 con $1/12=8.3\%$. Como puede verse el sensor de torso tiene una utilización limitada.

Los resultados demostraron que la desviación estándar puede ser un parámetro con gran influencia en la clasificación de los movimientos, ya que nos lleva a establecer un rango específico en el cual se encuentran únicamente los datos útiles.

Un trabajo a futuro es la implementación de un algoritmo que realice el análisis antes mencionado a través de ventanas de tiempo para poder ubicar los datos registrados por el sistema y compararlos con los datos de acuerdo a la clasificación, logrando así una automatización de la clasificación del sistema AML para dar paso posteriormente al análisis para establecer el riesgo de PC.

V. CONCLUSIÓN

El sistema AML registra los movimientos generales de lactantes menores con riesgo, por medio de sensores inerciales. Se obtuvo información objetiva y cuantitativa importante de movimientos del lactante menor comparado con desarrollos de otros autores que no presentan ningún valor de referencia para caracterizar los movimientos. Con los resultados obtenidos en este proyecto se pueden clasificar los datos en útiles y no útiles utilizando un análisis descriptivo y una prueba no paramétrica.

Los resultados arrojaron que existen ciertos parámetros, entre ellos la SD que logran una discriminación entre los datos útiles y no útiles que sirven para establecer rangos en los cuales se presentan ciertos movimientos así como también ubicar qué sensores pueden brindar mayor información para la clasificación. Esto puede permitir la automatización del sistema ya desarrollado.

Es necesario que con el sistema AML se evalué una muestra mayor de lactantes menores con riesgo y sin riesgo para lograr una comparación de un mayor número de datos y llegar a establecer patrones o rangos mucho más específicos de cada movimiento del lactante menor.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. Lipson, D. Kerkovich, J. Mast, S. Mulroy, T. AL Wren, R. M Kay, S. A. Rethlefsen, "Cerebral palsy: clinical care and neurological rehabilitation," *Lancet Neurol.* vol. 10, pp. 844 - 852 Nov-2011.
- [2] E. Moraleta, M. Romero, M. Cayetano, "La parálisis cerebral como una condición dinámica del cerebro: un estudio secuencial del desarrollo de niños hasta los 6 años de edad", *Univ. Psychol.* vol. 12, no. 1, pp. 119-127, Ene-Marz 2013.
- [3] A. Legido, C.D. Katsetos, "Parálisis cerebral: nuevos conceptos etiopatogénicos," *Rev. Neurol.* vol 36, no. 2, p 157-165, 2003.
- [4] T. M. O'Shea, "Diagnosis, Treatment, and Prevention of Cerebral Palsy in Near-Term/Term Infants," *Clin. Obstet. Gynecol.*, vol. 51, no.8, pp. 816-828, Dec. 2008.
- [5] F. Heinze, K. Hesels, N. Breithbach-Faller, T. Schmitz-Rode, and C. Disselhorst-Klug, "Movement analysis by accelerometry of newborns and infants for the early detection of movement disorders due to infantile cerebral palsy," *Medical & Biological Engineering & Computing*, vol. 48, no. 8, pp. 765-772, May 2010.
- [6] C. Einspieler and H. F. R. Precht, "Precht's assessment of general movements: A diagnosis tool for the functional assessment of the young nervous system." *Mental Retardation and Developmental Disabilities Research Reviews*, vol.11 no. 1, Feb. 2005.
- [7] L. Meinecke, N. Breithbach-Faller, C. Bartz. R. Damen. G. Rau, and C. Disselhorst-Klug, "Movement analysis in the early detection of newborns at risk for developing spasticity due to infantile cerebral palsy," *Human Movement Science*, vol. 25, no. 2, pp. 125-144, Apr. 2006
- [8] A. Cárdenas de la Parra, A. Pérez Sanpablo, I. Quiñones Urióstegui, "Diseño de un Sistema de Análisis de Movimiento para Detección Temprana de Riesgo de Parálisis Cerebral en Lactantes Menores," presentado en Mexican International Conference on Computer Science, Morelia, Michoacán, Oct. 2013.