



I Documento: Sociedad Española de Fisioterapia en Pediatría. SEFIP

Avances en Neurociencia sobre: desarrollo, control y aprendizaje del movimiento

Por: M. Lourdes Macias. Fisioterapeuta Pediátrica del CDIAP Servei d'Atenció Precoç Paseo de Sant Juan, 100, 3r. 08009 Barcelona. Titulada Superior en Fisioterapia especializada por la Universidad Internacional de Catalunya.

En los últimos años ha habido un cambio espectacular en la evidencia clínica de la fisioterapia pediátrica. Los nuevos hallazgos derivados de las investigaciones en la ciencia del movimiento nos han brindado nuevas expectativas en la práctica de la fisioterapia. Tanto las bases teóricas como sus consecuencias prácticas han estado constantemente cambiando debido a un conocimiento más extenso y profundo de las ciencias involucradas en este campo. Esto ha derivado a una revisión y redefinición constante basada en nuevos conceptos de neurofisiología y patofisiología. El conocimiento actualizado de cómo el ser humano controla el movimiento, el desarrollo de la capacidad motriz y qué elementos intervienen en el aprendizaje motor nos proporcionan un marco teórico, basado en una evidencia científica, desde la cual podemos entender mejor cuando un individuo tiene dificultades en el control y aprendizaje del movimiento. Sin embargo, para entender como la ciencia hoy en día nos aporta un marco teórico actualizado, es importante ir revisando de cómo se ha entendido hasta ahora las bases teóricas del desarrollo y aprendizaje motor y comparar con lo que nos aporta la neurociencia contemporánea.

Es útil tener en cuenta que, mientras observamos el desarrollo gradual de los patrones motrices, el objetivo global del lactante será la de adquirir la habilidad motora del adulto. Específicamente los miembros superiores tienen que estar coordinados para alcanzar y manipular, y los miembros inferiores para el soporte, equilibrio y propulsión sobre segmentos distales fijos en bipedestación y sedestación (los pies y/o nalgas) en un entorno gravitacional. Estos son, en términos de desarrollo motor, los objetivos motrices cambiantes en el primer año de vida. Esto significa que el niño aprenderá gradualmente a usar sus atributos morfológicos de la estructura de segmentos unidos, las propiedades de inercia y geométricas del segmento unido, las características musculares, incluyendo las propiedades viscoelásticas y las propiedades de los músculos monoarticulares y bi o multiarticular, y todo en relación a los contextos del su entorno diferente y según las intenciones del niño.

Al considerar el desarrollo de la capacidad motriz, es útil tener en cuenta la adquisición de habilidad. La expresión “desarrollo del movimiento” está acuñada para describir los efectos de la maduración del sistema nervioso en los primeros años. Sin embargo también es interesante para el fisioterapeuta

estudiar cómo el niño adquiere las habilidades necesarias para el juego, la recreación, el deporte, etc. El desarrollo del movimiento es la oportunidad para generar movimientos autoiniciados y como una oportunidad para interactuar con el entorno con un movimiento activo. Por lo tanto el patrón de movimiento es el resultado de la interacción dinámica de subsistemas que se organizan con respecto a las demandas de la tarea específica y el entorno. Todos los componentes del sistema (músculo- esquelético, neurológico, nivel de alerta, crecimiento del cuerpo, propiedades viscoelásticas del músculo, fuerza muscular, cognición, percepción, motivación., etc) auto-organizados, producen patrones de movimiento preferidos y ocupan regiones preferidas en el espacio.

Sabemos que para el aprendizaje del movimiento el niño recibe una información sensorial (feedback), pero para el aprendizaje también son necesarias las preparaciones posturales. Las preparaciones posturales o respuestas posturales anticipatorias son estrategias que utiliza el niño antes de un movimiento voluntario funcional, con el objetivo de incrementar la estabilidad ante un cambio que se puede producir en la base de soporte o para incrementar la actividad muscular alrededor de las articulaciones. El aprendizaje de una actividad incluye la práctica a base de ensayo-error, y a través de esta práctica y experiencia se desarrolla el feedforward (que involucra preparaciones posturales para el movimiento controlado (Montgomery y Connolly 1997). El lugar de entender el control postural como dependiente de reflejos, los ajustes posturales durante el movimiento están acompañados a través del feedforward o mecanismos anticipatorios. Los mecanismos de feedforward no requieren de impulsos sensoriales y son utilizados ante movimientos aprendidos rápidos. A partir de este hallazgo el SNC, más que transmitir un impulso sensorial como forma de reflejo, tiene la capacidad de generar movimientos centralmente, es decir, a partir del desarrollo del feedforward el SNC organiza el movimiento dentro de patrones de sinergias musculares que hacen que el movimiento sea más eficaz y reduciendo los movimientos innecesarios (o grados de movimiento libre a controlar)(Nashner 1979, Van Sant 1997). Las investigaciones en el campo de la biomecánica y las leyes que gobiernan los mecanismos del movimiento han ido incorporando a nuestros enfoques terapéuticos una perspectiva más apurada para el análisis del movimiento. Por tanto, el aprendizaje motor es un proceso de búsqueda de una solución a una actividad y emerge desde la interacción del individuo con la actividad, el contexto y el entorno, el cual el individuo posee la capacidad de auto-organizarse es este aprendizaje, para ello dispone de : mecanismos de feedback, practica con ensayo-error, capacidad de organizarse y desarrollo del feedforward. El feedforward involucra: preparaciones posturales para el movimiento controlado, diferentes construcciones de memoria, esquema motor y programa motor, y es una parte vital para el movimiento funcional que necesita estar organizado para una planificación sensorio-motriz y la intención de querer organizar el movimiento. El aprendizaje motriz serán siempre nuevas estrategias que surgen de un complejo proceso de percepción-cognición-acción (control del movimiento). En el proceso de aprendizaje es esencial: un estado de alerta, importante para que el SNC pueda preparar, recibir y procesar la información sensorial y perceptual, preparación de la actividad, decisión y finalmente acción. En la preparación de la actividad influyen factores como: variedad, complejidad, incertidumbre, tensión muscular inducida, intensidad de

los estímulos, ejercicio físico. El proceso de aprendizaje puede ser medido por el grado de retención a largo plazo de la habilidad aprendida y la posibilidad de poderlo transferir a otras situaciones o actividades.

Mientras que el feedback incorpora la información sensorial, modula y ajusta el movimiento, el feedforward incorpora diferentes construcciones de memoria esquema motor y programa motor. El feedback es una parte importante para aprender el movimiento, pero no es tan necesario para el rendimiento de una actividad o para que una actividad quede bien aprendida. En fisioterapia solemos utilizar nuestras manos como fuentes de feedback; damos una información somatosensorial y propioceptiva, por ejemplo, para proporcionar al niño una orientación postural. Sin embargo, un exceso de feedback puede provocar que el niño construya representaciones internas con límites de estabilidad, incluida la mano del fisioterapeuta y de este modo disminuya el desafío para su propio equilibrio. El fisioterapeuta debe centrar la actividad en dar oportunidad al niño para variar el patrón de las respuestas posturales con la actividad voluntaria y auto-iniciada por el niño (capacidad para auto-organizarse), en lugar de centrarse en un patrón postural perfecto. Por tanto, en la terapia es importante también dejar que el niño inicie la actividad motriz y que la práctica de esta actividad incluya ensayo-error; de esta forma podrá desarrollarse el control del feedforward (Hirschfeld 1992).

Actualmente, el concepto de que la práctica de un movimiento es esencial para alcanzar una habilidad, se refuerza con los conceptos de aprendizaje motor. Sin embargo el método de aplicación de la práctica ha cambiado. Mientras los enfoques tradicionales neuroterapéuticos usan la repetición continua, como una práctica cerrada (con la misma secuencia de movimientos), la teoría del aprendizaje motor enfatiza la repetición con la práctica al azar. Por tanto, el aprendizaje de una habilidad compleja incluye ambas: la práctica cerrada y la práctica al azar (que incluya ensayo-error).

El uso del feedback sensorial para aumentar o adquirir una conducta motora ha sido una herramienta terapéutica básica en todos los enfoques neuroterapéuticos. Según estas teorías la información sensorial es usada a un nivel inconsciente. Sin embargo, actualmente se considera que el feedback es necesario como una fuente de información a un nivel consciente y para ayudar a resolver problemas motrices o posturales. El feedback no sólo debe ser proporcionado por las manos del fisioterapeuta sino también a nivel verbal, visual (como la demostración- imitación) o reestructurando el ambiente. El feedback debería ser variado dependiendo de la novedad o complejidad de la actividad, ya que feedback continuo puede ir en detrimento del aprendizaje.

La asunción de que la estabilidad proximal es necesaria para el control distal del movimiento ha sido ampliada. La estabilidad proximal es necesaria para una acción distal, pero el control proximal no necesariamente se desarrolla precediendo al control distal. Fetters et al. evaluaron la relación del control proximal a distal en las extremidades superiores en niños y encontraron que las dos se desarrollan simultáneamente con las actividades de alcanzar. La terapia debería significar un progresión para que el niño pueda integrar las actividades aprendidas en habilidades funcionales. Por ejemplo, chutar la pelota puede ser

más funcional y motivante para desarrollar el equilibrio que practicar la bipedestación sobre un pie. Los niños con parálisis cerebral (PC) son más capaces de entender y realizar actividades perceptivomotrices concretas con consecuencias funcionales que las actividades abstractas. Hay muchos niños con PC que no tienen un nivel cognitivo adecuado o que presentan alteraciones conductuales; por tanto, las actividades deben estar adaptadas a su nivel de conducta y comprensión con consecuencias funcionales. Las actividades diseñadas para que el niño esté motivado y las pueda generalizar a otras situaciones son las que podrán influir en sus limitaciones funcionales.

El entendimiento del control postural también ha sido reforzado con las nuevas investigaciones, por ejemplo, el desorden del control postural que acompaña a los problemas del movimiento en niños con PC. La noción de que el equilibrio estático y las reacciones de enderezamiento son los componentes primarios necesarios para el equilibrio ha cambiado. Actualmente se considera que el sistema del equilibratorio posee muchas estrategias para controlar las posturas estáticas, dependiendo del tipo de perturbación que comprometa el equilibrio. Las sinergias musculares normales surgen e irradian desde la base de soporte y no originalmente del tronco (como implican algunas técnicas terapéuticas) y son necesarias en un orden apropiado y un tiempo específico para mantener el control del equilibrio (Horak et al. 1994). De este principio surge la evidencia clínica que “la calidad de la base de soporte dependerá la función muscular que depende de esta base”. Una sedestación anormal con una base de soporte donde exista una oblicuidad pélvica es evidente que los músculos que dependen de esta base de soporte inadecuada no desarrollarán una función tampoco adecuada. Para ello es crucial alinear la base de soporte para que los músculos que dependan de ella trabajen en las mejores condiciones y en las tareas específicas y/o funcionales. Por analogía también la base de soporte de los pies determina la eficacia del control bípedo y del equilibrio. Unos pies con apoyo, por ejemplo en equino-valgo, es evidente que la calidad de reacciones posturales anticipadas que se desencadenan según el desequilibrio que emerge de la base de soporte serán anormales, ya que con un pie equino-valgo el peso del cuerpo que cae dentro de esta base mal alineada proporcionará un feedback sensorial anormal que no será útil en el desencadenamiento de las reacciones posturales para proporcionar un equilibrio eficaz. Para ello es básico alinear la base de soporte para que reciba de forma distribuida el peso del cuerpo y los músculos que dependen esta base puedan trabajar adecuadamente en el control postural y equilibrio

Las recientes teorías, fruto de investigaciones en la ciencia del movimiento, ofrecen una amplia y extensa información al fisioterapeuta pediátrico que induce a ciertos cambios en la práctica diaria con el niño. Las múltiples investigaciones que continuamente se están realizando en estas ciencias implican que el fisioterapeuta debe estar abierto a ciertos cambios que, indudablemente influirán en el desarrollo de nuevas estrategias terapéuticas y, por tanto, a una mejora en la calidad asistencial y potencial de aprendizaje para el niño con disfunción del movimiento. Factores como la motivación para moverse, la influencia de la fuerza muscular en el crecimiento del niño, los conocimientos biomecánicos que nos permiten adaptar el control que el niño va adquiriendo para contrarrestar la gravedad, la capacidad para iniciar y terminar un movimiento bajo circunstancias

del entorno diferentes son elementos indispensables a considerar en el aprendizaje y control del movimiento (Stuberg et al. 1994).

Los fisioterapeutas deben notar cuando el niño no usa patrones de movimiento estereotipado o que conductas son tan estables que disminuye la variabilidad del movimiento, por ejemplo, un niño que ha desarrollado la capacidad de usar componentes que incluya el reflejo tónico asimétrico de cuello para agarrar o alcanzar un objeto puede que se desestabilice esta postura (o vaya usando otros patrones de movimiento) cuando se use material adaptado para mejorar su calidad el control postural. La utilización de material adaptado para evitar que el niño adopte la postura

“tónica asimétrica” puede dar lugar a que el niño vaya a la búsqueda o se organice de otras formas para agarrar o alcanzar los objetos como una propiedad del individuo para auto-organizarse en la actividad, sin la necesidad de usar el tónico asimétrico de cuello.

Los objetivos de tratamiento que se han utilizado en el pasado pueden haber incluido objetivos funcionales, pero también han dirigido los esfuerzos para disminuir las posturas anormales o el tono muscular anormal con la inhibición y facilitación de posiciones específicas siguiendo las secuencias del desarrollo normal. Actualmente, los objetivos relacionados con la inhibición y facilitación se han centrado de forma muy crucial en objetivos funcionales. Por ejemplo, para un problema concreto de un paciente, podemos escoger el objetivo de aprender la actividad o independientemente inducir un cambio para a través de una herramienta terapéutica para ayudar al niño a tener acceso a su entorno y mejorar su movilidad (ser independiente en su entorno natural). Podríamos aplicar los principios del aprendizaje motor en la actividad, permitiendo al niño iniciar la practica de forma cerrada y progresar hacia una practica al azar, que incluya el ensayo-error. La participación activa del niño y la incorporación de los principios del aprendizaje motor como la práctica para actividades funcionales específicas debe incluirse durante la sesión de tratamiento. La práctica debe ser variada para que el niño pueda descubrir las estrategias de movimiento variado que pueden acompañar la actividad, con la finalidad que el niño pueda transferir la actividad, practicada en el tratamiento, a su entorno natural. Las actividades que proporcionemos y practique el niño en la sesión deberían proporcionar un continuo aprendizaje fuera de la sesión de fisioterapia como una forma de proporcionarle oportunidades para que niño pueda resolver los problemas del movimiento en diferentes entornos.

Gracias a las investigaciones en la *ciencia del movimiento* tenemos a nuestro alcance nuevos modelos teóricos sobre cómo el ser humano aprende, evidencia científica de los procedimientos terapéuticos, nuevas estrategias terapéuticas a incorporar en nuestra práctica diaria, utilización de herramientas de valoración e incorporación de nuevas tecnologías. Para ello es esencial realizar una revisión de los métodos existentes y replantear los objetivos y programas terapéuticos individuales. Teniendo en cuenta que en desarrollo motor, control y aprendizaje motor intervienen muchos subsistemas y aspectos a tener en cuenta: SNC, maduración, interacción de la lesión con el SNC y sistema músculo-esquelético, la gravedad, la percepción, cognición, los sistemas sensoriales (visual, vestibular y somatosensorial), la motivación, el

entorno, etc., es esencial establecer pautas de valoración y medición con el fin de:

- ✓ Permitir establecer los objetivos terapéuticos a corto y medio plazo
- ✓ Identificar cuantitativamente y cualitativamente la capacidad y evolución motriz del niño
- ✓ Establecer un diagnóstico fisioterápico del retraso evolutivo, de la dinámica motriz del niño, de su interacción con el entorno, de la adaptación de su sistema músculo-esquelético a la gravedad, etc.
- ✓ Determinar las capacidades motrices y déficit postural.

El fisioterapeuta pediátrico, ante la existencia de esta información actualizada y la valoración individual que debemos realizar en los diferentes subsistemas podremos enfocar y dirigir las actuaciones terapéuticas en base a una evidencia clínica. Para ello contamos con un arsenal de herramientas terapéuticas como nuestras manos, el juego, las adaptaciones posturales, los juegos motrices adaptados, las ayudas para la movilidad, los diferentes diseños ortésicos y otras herramientas cuya evidencia científica nos promete en un futuro próximo un salto cuantitativo y cualitativo en nuestra práctica fisioterápica diaria. Nuestro fin primordial en cualquier caso será en definitiva prevenir la discapacidad maximizando la función y prevenir o limitar las disfunciones secundarias.

Bibliografía

- Corcos DM. Strategies underlying the control of disordered movement. Phys. Ther. 1991;71:25-38.
- Campbell S. Physical Therapy for Children. Saunders 1999.
- Hirschfeld H, Forssberg H. Development of anticipatory postural adjustments during locomotion in children. J. Neurophysiol. 1992; 68: 542-550
- Horak F.B., Shupert C.L., Dietz V., et al. Vestibular and somatosensory contributions to responses to head and body displacements in stance. Exp. Brain Res. 1994, 100: 93-106.
- Kamm K, Thelen E, Jensen JL. A dynamical systems approach to motor development. Phys Ther. 1990;70:763-775.
- Macias ML. Enfoque de sistemas dinámicos aplicado al desarrollo motor y adquisición de la habilidad. Revista Associació Catalana d'Atenció Precoç. Decembre 2000,15-16.
- Macias L, Fagoaga J. Fisioterapia en Pediatría. McGraw Hill Interamericana 2002.
- Montgomery C. Connolly BH. Motor Control and Physical Therapy. Theoretical Framework-Practical Application. Cattanooga Group 1997.
- Nashner, L Woollacott MH, Tuma G. Organization of rapid responses to postural and locomotor-like perturbations of standing man. Exp. Brain es. 1979;36:463-476.
- Shepherd RB. Physiotherapy in Paediatrics. 3r.ed. Butterworth Heinemann. 1995.
- Shumway-Cook A., Woollacott M. Motor Control, Theory and Practical Applications. Williams & Wilkins 1995
- Stuberg W, Harbourne R. Theoretical Practice in Pediatric Physical Therapy: Past, Present and Future considerations. Pediatr. Phys Ther. March 1994.
- Thelen E, Fisher DM. Newborn stepping an explanation for "disappearing reflex". Developmental Psychology. 1982;18:760-775.
- Winstein CJ, Knecht HG. Movement science and its relevance to physical therapy. Phys. Ther. 1990; 70:759-762.
- Woollacott MH., Shumway Cook A. Changes in posture control across the life span. A system approach. Physical Therapy. 1990, 70:799-807.