

## Bases anatómico-funcionales para el aprendizaje motor

Gabriel Darío Buffone

FaHCE, UNLP – La Plata

buffone75@gmail.com

Sebastian Parenti

FaHCE, UNLP – La Plata

Sebastian\_parenti@hotmail.com

### Resumen

Los contenidos de la Anatomía Funcional nos brindan los pilares fundamentales para comprender el aprendizaje motor, las formas básicas del movimiento y sus posibilidades de aplicación práctica en las diferentes esferas de expresión corporal. Para ello, es necesario, conocer cuál es la génesis del movimiento humano. El estudio del Sistema Nervioso Central (S.N.C), y más específicamente del Encéfalo, permite profundizar en aquellos aspectos NO visibles que se encargan de recibir e integrar la información proveniente del medio externo, procesarla, almacenar patrones de movimientos y a partir de esos datos recogidos, planificar y ejecutar el acto motor. La parte visible es la ejecución propiamente dicha por parte del sistema locomotor, quien responderá a lo que programó, ordenó y coordinó el sistema nervioso a partir de varias de sus estructuras, surgiendo el concepto de relación jerárquica del sistema nervioso motor.

Por otro lado, los procesos de feedback y feedforward son esenciales para el desarrollo de las respuestas motoras en la anticipación y aprendizaje de esquemas motores nuevos.

El objetivo central es brindar las herramientas necesarias para poder analizar cómo se origina el aprendizaje motor en el S.N.C y de esta manera, propiciar una mayor profundización de los procesos neuromusculares para mejorar la intervención docente, la reflexión y la discusión.

**Palabras clave:** Sistema Nervioso Central – jerarquía motora - Anatomía Funcional– Movimientos corporales – Aprendizaje motor – Retroalimentación sensitiva – aprendizaje motor

## **1-Introducción.**

Los movimientos corporales son el resultado del accionar de una innumerable cantidad de estructuras que los determinan. Dependen de la información que se integra del medio externo, del procesamiento de dicha información, y por último, de quienes se encargan de ejecutar los desplazamientos del tronco, la cabeza y las extremidades. La acción coordinada entre los sistemas nervioso y locomotor, resulta indispensable para llevar a cabo la conducta motora deseada. Entendemos al sistema nervioso, como aquel en donde se integran los datos externos y se origina el movimiento humano, y al sistema locomotor, el que reproduce visiblemente lo que el anterior planificó, ordenó y coordinó.

## **2- El sistema nervioso: génesis del movimiento humano.**

El sistema nervioso es el conjunto de formaciones anatómicas que tienen, entre otras funciones, la de permitir al individuo reaccionar frente al medio que lo rodea, ocupándose de la inervación sensitiva y motora de todas las regiones del cuerpo, integrando la información proveniente de los diferentes sistemas.

El sistema sensitivo somático transmite la sensibilidad táctil, dolorosa, térmica, y postural de los receptores sensitivos. El sistema motor somático facilita los movimientos voluntarios y reflejos con la contracción de los músculos esqueléticos. Este sistema de retroalimentación, es de vital importancia en cualquier movimiento de nuestro cuerpo, se trate de prácticas cotidianas sencillas, como también complejas (juegos y deportes), o para cualquier núcleo programático en una clase de Educación Física.

Está formado por millones de células, que son las neuronas, las cuales están especializadas para la recepción de estímulos y la conducción de un impulso nervioso en forma de potenciales de acción, entre ellas, o con otros tipos celulares, como por ejemplo, las fibras musculares. Para el entendimiento inicial del sistema nervioso deben tenerse en cuenta 2 conceptos principales y fundamentales: sustancia gris y sustancia blanca.

Sustancia gris: corresponde a aquellas zonas del sistema nervioso central de color grisáceo, e integradas principalmente por SOMAS neuronales y dendritas carentes de mielina junto con células gliales. En la médula espinal, se aprecian en su centro, en forma de mariposa, mientras que en el cerebro ocupa la zona periférica formando la “corteza cerebral”, con excepción de los internos ganglios basales que sirven como estación de relevo. La sustancia gris, al carecer de mielina, no es capaz de transmitir rápidamente los impulsos nerviosos, se relaciona más con el procesamiento de la información.

Sustancia blanca: es una parte del Sistema Nervioso Central compuesta de fibras nerviosas mielinizadas. Las fibras nerviosas contienen sobre todo muchos axones. En el encéfalo, la sustancia blanca está distribuida en el interior.

En la médula espinal, la sustancia blanca se encuentra en la periferia.

### **3-Funciones de las diferentes regiones del sistema nervioso implicadas en la construcción de movimientos y el aprendizaje motor.**

Las respuestas motoras reguladas por el sistema nervioso, responden al accionar de varias estructuras anatómicas que interactúan para que los movimientos puedan ser llevados a cabo. Para ello, cada una de esas partes involucradas poseen, no solo una función determinadas, sino que existe una relación jerárquica entre ellas en relación a un objetivo. Aquí surge un concepto clave que es el de **relación jerárquica del sistema motor.**

Lo vamos a organizar en diferentes niveles, de la siguiente manera:

Nivel 1: el encéfalo:

-Corteza parietal: se encuentra ubicada posteriormente a la cisura central, ocupando lo que se denomina circunvolución parietal ascendente. Se encarga de integrar la información sensorial (visual y auditiva) y sensitiva.

-Corteza premotora: se encuentra inmediatamente anterior a la corteza motora primaria. El control de la estática de la posición parece llevarse a cabo en la corteza cerebral premotora. Desde este centro de control motor, se influye de manera decisiva sobre la coordinación de ojos y manos, así como el juego de conjunto de las extremidades. Ésta área se encarga de planificar el acto motor.

-Corteza motora suplementaria: se encuentra medialmente en los lóbulos frontales. Como señalan Cingolani y Houssay (2000: 944) “La estimulación eléctrica produce movimientos sinérgicos complejos, en muchos casos bilaterales. Los movimientos consisten en adoptar posturas, movimientos de marcha, desviación del tronco y la cabeza hacia el lado opuesto de la estimulación. Parece ser que los módulos de la corteza motora suplementaria pueden aprender programas de movimiento y almacenarlos como esquemas motores. Si el movimiento se automatiza, la función de control desaparece del módulo de dicha región suplementaria. Esta tarea parece ser que la asume la corteza del cerebelo.”

-Cerebelo: controla el automatismo de los movimientos, el tono muscular estático, las amplitudes de movimiento y su coordinación. El cerebelo sería el responsable del aprendizaje motor. Existen 3 teorías principales en relación con la naturaleza de la contribución cerebelosa al control del movimiento: 1) Duración: dirigir la extremidad hacia un objeto sin sobrepasarlo, donde el movimiento se realiza con una duración adecuada de la actividad muscular, de modo que la fuerza del antagonista surge a tiempo para detener el movimiento en el punto apropiado. 2) Aprendizaje: Adaptación de las órdenes motoras a los cambios del entorno y 3) Coordinación: Duración adecuada de la actividad muscular, como también, de la cantidad de actividad en diferentes articulaciones.

-Ganglios basales: “Entre sus funciones mas estudiadas, se destacan: 1-los ajustes posturales: algunas neuronas del Putamen y del Globo Pálido se activan

junto con la musculatura axial durante la ejecución de cualquier tipo de movimiento; 2-La ejecución de los movimientos: se basa en el hecho de que neuronas del Globo Pálido y del Putamen se activan junto con el movimiento de los miembros contralaterales; 3- Los movimientos secuenciales: 4-Donde se articula un movimiento seguido de otro en función de un objetivo; 5-La ejecución automática de planes motores: existen movimientos, que una vez aprendidos, se realizan automáticamente y que responden a un programa motor; 6-Los movimientos simultáneos: se encargan de ensamblar adecuadamente las diferentes subrutinas motoras para ejecutar esos movimientos”. (Cingolani y Houssay, 2000: 960).

### Nivel 2: el Encéfalo

-Corteza motora primaria: “Tiene una representación de los músculos contralaterales del cuerpo: los de la cabeza y los de la cara ocupan la parte inferior de la circunvolución precentral, mientras que parte de los del miembro inferior se ubican en la cara interna del hemisferio” (Cingolani y Houssay, 2000: 938). Aquí está representada la totalidad de la musculatura. Al igual que la corteza sensitiva primaria, las neuronas de la corteza motora primaria, forman un mapa topográfico invertido del cuerpo. Los movimientos musculares de esta región no se producen en forma independiente, más bien, solo se lleva a cabo, aquello que es ordenado por la corteza motora suplementaria, los ganglios basales y la corteza del cerebelo. Su función principal consiste en la ejecución del movimiento voluntario, activando analíticamente cada músculo.

### Nivel 3: el Tronco del Encéfalo:

Aquí se encuentran núcleos y vías nerviosas que son imprescindibles para la motricidad general. Encontramos muchos centros funcionales del sistema nervioso vegetativo. También es cruzado por la formación reticular, que controla el grado de activación del encéfalo.

### Nivel 4: la Médula Espinal:

Interviene en 3 funciones principales que, según Latarjet y Ruiz Liard (1999: 277), denomina como “médula segmentaria, donde tiene lugar el arco reflejo, la médula

Intersegmentaria, función en la cual se asocian varios mielómeros o somites entre sí y la médula como vía de tránsito”. En este último concepto, nos estamos refiriendo a todas las vías aferentes y eferentes que comunican al encéfalo con el resto del cuerpo, es decir que actúa integrando todas las funciones sensitivas que son llevadas hacia el encéfalo y desde él, como respuestas motoras integradas. A partir de las neuronas motoras localizadas en el asta anterior de la medula espinal, se origina la vía final común formada por los axones de esas neuronas, y que son los responsables de inervar a los músculos encargados de llevar a cabo los movimientos. Dichos axones forman el S.N.P.

#### Nivel 5: el Músculo:

No pertenece anatómicamente al sistema nervioso, forma parte del sistema locomotor y es el responsable de llevar a cabo los movimientos en respuesta a lo que planifican las neuronas de los centros superiores. Podríamos decir que responde al último eslabón en la respuesta motora. El músculo no decide lo que tiene que realizar, solo se acorta o se alarga para producir el movimiento deseado en función del programa elaborado en el encéfalo.

#### **4-El programa motor y la retroalimentación sensitiva.**

Cuando se realiza un movimiento o se elabora un plan de acción (programa motor), debe estar adecuado a las exigencias del medio y sus complejas variaciones. Ahonen J; Lahtinen T y Cols (2001: 59) destacan que “esta selección tiene lugar de 2 formas: en los movimientos señalados externamente, donde las instrucciones se basan en signos externos ambientales, y en los movimientos señalados internamente en los cuales las instrucciones proceden de la memoria sin que intervengan señales externas. Se piensa que el área motora suplementaria tiene una función preferente en los movimientos de señalización interna, mientras que la corteza premotora tiene un papel primordial en los movimientos de señalización externa”.

La función fundamental del sistema nervioso motor es la transformación de una idea en un plan o programa de movimiento a través de las áreas Premotora y Motora Suplementaria.

La retroalimentación sensitiva cobra un rol fundamental en estos procesos. Se utiliza para actualizar las informaciones, de modo que los movimientos posteriores se realicen de forma eficaz. La diferencia substancial en este aspecto, es que la corrección sensitiva no se produce paralelamente, pero es útil a posteriori de completar el movimiento, para actualizar las órdenes motoras la próxima vez que sean utilizadas. La información permite adaptar o mejorar una serie de órdenes motoras ya creadas. Sin Retroalimentación sensitiva se es incapaz de actualizar las órdenes, y adaptarlas a las nuevas demandas para lograr el objetivo propuesto. “Esta retroalimentación sensitiva en su mayor parte es inhibidora y sirve para modular la intensidad de la aferencia sensitiva” (SNELL, 2007: 312)

## **5- Desarrollo y aprendizaje motor.**

El conocimiento de cómo el ser humano controla el movimiento y qué elementos intervienen en el aprendizaje motor nos proporcionan un marco teórico, basado en evidencia científica, desde la cual podemos entender mejor cuando un individuo tiene dificultades en el control y aprendizaje del movimiento; elementos indispensables en la educación física.

Es útil tener en cuenta que, mientras observamos el desarrollo gradual de los patrones motrices, el objetivo global del niño será la de adquirir la habilidad motora del adulto.

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 contra la fuerza gravitacional.

Estos son, en términos de desarrollo motor, los objetivos motrices que el niño aprenderá gradualmente a usar. Lo hará de acuerdo a la morfología y estructura de los segmentos corporales, las características musculares y la función de los

músculos mono, bi o multiarticulares. Todo esto estará a su vez condicionado por un entorno cambiante y será modificable según las intenciones del niño.

El conocimiento de los efectos de la maduración del sistema nervioso y de cómo el niño adquiere las habilidades necesarias para el juego, la recreación o el deporte, son de vital importancia en la educación física. El patrón de un movimiento autoiniciado 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 sistema nervioso.

Sabemos que para el aprendizaje de los patrones de movimiento en general, el niño recibe una información sensorial que surge como respuesta de sus movimientos autoiniciados (feedback). Todo el feedback se almacena en forma de experiencias acumuladas que contribuirán a la formación de “preparaciones posturales o respuestas posturales anticipatorias” (feedforward) (Montgomery y Connolly 1997). El feedforward son estrategias inconscientes que utiliza el sujeto para prepararse para realizar un movimiento voluntario funcional. El objetivo del feedforward será incrementar la estabilidad ante un posible cambio en la base de soporte o para incrementar la actividad muscular alrededor de las articulaciones en preparación para un gesto motor específico. En síntesis, “el aprendizaje de una actividad incluirá la práctica a base de ensayo-error” (Hirschfeld, H. y Forssberg, H, 1992: 68), con su correspondiente feedback, y a través de esta práctica y experiencia, “el desarrollo del feedforward, que involucra preparaciones posturales para el movimiento controlado” (Montgomery y Connolly 1997).

En lugar de entender el control postural como dependiente de reflejos, los ajustes posturales durante el movimiento están acompañados del feedforward o mecanismos anticipatorios. Los mecanismos de feedforward no requieren de impulsos sensoriales y son utilizados ante movimientos aprendidos rápidos. El SNC, entonces, más que transmitir un impulso sensorial como forma de reflejo,



tiene la capacidad de generar movimientos centralmente. Esto significa que, 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.

## **6-Control del movimiento, postura y el rol del aparato locomotor**

Para comprender el control motor, se debe profundizar acerca del concepto de posición corporal. Cada movimiento que se realiza comienza y finaliza en una posición. Por posición se entiende la postura estática de una parte del cuerpo. La posición de las extremidades, del tronco y del conjunto del cuerpo se mantiene gracias al trabajo muscular. El movimiento cambia esta postura. El juego de conjunto entre las posiciones y los movimientos, es especialmente importante cuando se trata del aprendizaje de un movimiento nuevo. “Los responsables motrices del control nervioso de la posición adecuada son los ganglios basales y la corteza cerebral premotora” (Ahonen J, Lahtinen T, y Cols, 2001: 55). “Los núcleos basales no solo influyen en la ejecución de un movimiento particular de los miembros sino que además ayudan a prepararse para los movimientos, esto puede lograrse mediante el control de los movimientos axiales, los movimientos de la cintura del cuerpo y de la posición de los segmentos proximales de las extremidades. La actividad en ciertas neuronas del globo pálido se incrementa antes de que tengan lugar los movimientos activos en los músculos distales de los miembros. Esta importante función preparatoria permite colocar el tronco y los miembros en posiciones apropiadas antes de que la parte motora primaria de la corteza cerebral active movimientos separados en las manos y los pies.” (Snell, 2000: 347). Antes de adoptar una postura y realizar un movimiento, es imprescindible que el tono muscular sea lo suficientemente alto, de esta manera, se podrá mantener erguida la postura. Tanto los ganglios Basales como la corteza premotora reciben a cada instante informaciones de las articulaciones y los músculos, en base a los cuales decidirán si resulta necesario modificar un reflejo

de estiramiento. La percepción de una posición corporal determinada da cuenta que la corteza cerebral ha recibido los estímulos correctos. El dominio de la posición erguida es una parte importante del control del movimiento. Aquí, surge el concepto de equilibrio. Al respecto, los estímulos que producen las complejas y versátiles series de movimientos para conservar el equilibrio corporal, provienen del oído interno. Las informaciones provenientes de los sentidos se procesan en las regiones cerebrales responsables de las percepciones visuales y espaciales y transformadas en imágenes móviles. Las órdenes para llevar a cabo un movimiento se originan en el encéfalo y son llevadas a la práctica por el aparato locomotor. Éste lleva cabo lo que planifica (hablando en términos generales) el sistema nervioso. Lo importante cuando hablamos de sistema nervioso, no es solo el mantenimiento de la postura en relación a los movimientos, sino también saber utilizar la musculatura en el orden temporal correcto con el objeto de conseguir una sucesión fluida de movimientos y lograr el objetivo deseado. A partir de aquí, es insoslayable remarcar y comprender el concepto de esquema corporal. El esquema del cuerpo incluye las informaciones acerca de las posiciones corporales, de los propios movimientos, de las percepciones del entorno donde se encuentra el sujeto, del conocimiento de la propia capacidad de rendimiento y de todas las experiencias sensitivas y sensoriales que están unidas a todos estos mecanismos. La imagen del cuerpo se trata de un modelo psíquico, de la conciencia del propio cuerpo. Si la imagen del cuerpo esta desorganizada o distorsionada, consecuentemente la postura del cuerpo también lo estará. La actividad física, deportiva y todo tipo de experiencias de movimiento, aumenta la conciencia de uno mismo, y de la relación con sus pares y el entorno. Uno de los factores clave para el desarrollo de las habilidades, es la sensibilidad del sentido cinestésico, más exactamente, de la capacidad de quien practica, de percibir sus posibilidades de fuerza y las posiciones de sus articulaciones durante el movimiento. Cuanto más adecuado y ajustado sea el conocimiento del esquema corporal, mayor será el dominio de las respuestas motoras.

## **7-Conclusiones.**

A partir de los conceptos vertidos, se arriba a las siguientes conclusiones, las cuales distan de ser cerradas, por el contrario, parten y culminan hacia y desde una idea de reformular y mejorar nuestros fundamentos teóricos y nuestra práctica.

1-La actuación del sistema nervioso es fundamental en el origen de los movimientos corporales. Recibiendo la información del medio externo, programando planes de acción y ejecutando la respuesta deseada. Es el sistema que vamos a educar y adaptar.

2-Como docentes vamos a propiciar los medios para que las respuestas motrices sean lo más versátiles posibles, teniendo en cuenta que en el desarrollo, control y aprendizaje motor intervienen una gran cantidad de subsistemas y aspectos a tener en cuenta: SNC, maduración, interacción del SNC y el sistema músculo-esquelético, la gravedad, la percepción, la cognición, los sistemas sensoriales (visual, vestibular, etc), la motivación, el entorno, etc.

-Es necesario, a la hora de implementar metodologías corporales, comprender cómo se dan éstos fenómenos. De esta manera, se logra establecer los objetivos a corto y mediano plazo e identificar, cuantitativa y cualitativamente, la capacidad y evolución motriz del alumno, para mejorar nuestro análisis profesional y la posterior intervención como educadores.

-Desarrollar bases sólidas a través de los conocimientos de los procesos neuromusculares, resultan de vital importancia para, no solo planificar nuestra actividad, sino también para abrir un espacio de reflexión y discusión, que son pilares para una mejor educación.

## **BIBLIOGRAFIA**

AHONEN J; LAHTINEN T; SANDSTROM M; POGLIANI G; WIRHED R (2001). "Kinesiología y anatomía aplicada a la actividad física" (del título original: Kehon rakenne, toiminta ja lihashuolto). Barcelona, Editorial paidotribo. 2º edición.

CINGOLANI, HORACIO E; HOUSSAY ALBERTO B. Y COLS. (2000). "Fisiología Humana". Buenos Aires; Editorial El Ateneo. 7º Edición.

HIRSCHFELD, H; FORSSBERG, H. (1992). "Development of anticipatory postural adjustments during locomotion in children". Journal of Neurophysiology, 68: 542–550.

LATARJET M., RUIZ LIARD A. (1999). "Anatomía Humana". Madrid; Editorial Médica Panamericana. 5º reimpresión de la 3º edición.

MONTGOMERY B; CONNOLY H (1997). "Motor Control and Physical Therapy Theoretical Framework and Practical Applications" (pp. ... Hixson, TN: Chattanooga Group ... Motor Control: Theory and Practical Applications (2nd Ed.). ... Sveistrup, H., & Woollacott, M. H.

SNELL, RICHARD. (2007). "Neuroanatomía Clínica" Madrid; Editorial Médica Panamericana. 6ta. Edición.