

Base introductoria sobre el control motor

1

J. C. Miangolarra Page



SÍNTESIS CONCEPTUAL

Este capítulo tiene la vocación de servir como soporte de la actualidad científica y clínica de esta área. La capacidad para caminar, manipular objetos, practicar un deporte o las dificultades para recuperar la ejecución de estas habilidades tras una enfermedad son campos de interés del control motor.

La aparente sencillez de la ejecución del movimiento oculta la complejidad de la tarea y su gobierno subyacente. El sistema musculoesquelético es altamente redundante (potencialmente ineficiente), no lineal (con respuestas no ajustadas a la necesidad o demanda) y poco fiable en el resultado (potencialmente dismétrico o con errores). Además, el sistema sensorio-perceptivo, que proporciona información, es poco fiable, grosero y con un retraso en la transmisión de los resultados y del entorno. En definitiva, se requiere un proceso de regulación y optimización de la información y la respuesta: el control motor. En este campo científico se precisa conocer y emplear una terminología específica, correcta y adecuada al fin investigador y clínico.

Se han desarrollado conceptos y mapas de conocimiento, sin que exista, hasta la fecha, un acuerdo definitivo sobre algunos de ellos y sus relaciones, como consecuencia de tratarse de aspectos abstractos y aún en proceso de investigación.

■ INTRODUCCIÓN

El control motor humano es un área de avance del conocimiento relevante y emergente. La pregunta es: ¿cómo adquirir conocimientos científicos referentes al control motor? Se está produciendo un cambio en los paradigmas de la rehabilitación motora. Este cambio implica las siguientes transiciones:

1. De la confesionalidad a la profesionalidad. De las estrategias intuitivas, basadas en la pertenencia o vinculación a modelos cerrados y dogmáticos, a la selección de programas eclécticos basados en el conocimiento. Los métodos clásicos tratan de dar respuesta bajo un marco teórico de referencia que justifica los tratamientos que se han de aplicar e intenta explicar las causas de la patología y del déficit motor, desarrollan su interpretación del modelo de movimiento fisiológico, emplean herramientas de exploración y tratamiento ajustadas a cada modelo y desarrollan un lenguaje específico al margen de la neurofisiopatología.
2. De aplicar las manos sobre el paciente a guiarle sin las manos, empleando la medicina basada en las pruebas o evidencias durante el proceso.
3. De tratar uno a uno, unidireccionalmente, a cada paciente a la orientación mutua de grupos; entrenar basándose en las pruebas.
4. De implementar una práctica convencional/habitual a llevar a cabo una práctica basada en las pruebas, con una pérdida progresiva de la importancia de los métodos terapéuticos concretos en favor de la acreditación de la eficiencia de todos los métodos. Basándose en la mejor síntesis de la evidencia científica no se dispone de pruebas de la superioridad de cualquier enfoque. Las revisiones publicadas destacan deficiencias metodológicas en los estudios revisados y sugieren la necesidad de realizar ensayos adicionales de alta calidad. El empleo de directrices basadas en la evidencia científica, en lugar de en la preferencia del terapeuta, deben servir de marco a partir del cual los terapeutas aplicarán el tratamiento más efectivo.¹
5. De la generalización del conocimiento a la especialización, a la emergencia de un profesional especializado en la aplicación de metodologías con resultados predecibles y con aproximaciones no sesgadas en profesiones: un «neuroterapeuta».
6. De aplicar herramientas básicas a emplear una tecnología informática experta y de mecánica compleja. La robótica de la rehabilitación llegó para quedarse; habrá que convivir con ella y se implantará inexorablemente.

Durante mucho tiempo se ha primado la relevancia de los métodos de tratamiento clínico sobre el conocimiento científico y los avances en otras disciplinas como la neu-

rofisiología o, recientemente, la ingeniería de la rehabilitación. Las metodologías específicas de terapia aplicada se han caracterizado por su déficit teórico y por la insuficiencia en el desarrollo de procedimientos diagnósticos, en resumen, de profundidad. Los avances en tecnología de la investigación en los laboratorios de neurofisiología y del movimiento han creado obsolescencias en los presupuestos de los métodos terapéuticos. Los avances de la propia neurofisiología han obligado a modificar los principios de las terapias (entrenamiento de patrones funcionales en lugar de la inhibición de reflejos, entrenamiento de la fuerza, conceptualización del aprendizaje y adaptación motora). En consecuencia, todos los métodos difuminan sus fronteras. En las últimas décadas los avances en neuroimagen diagnóstica, en electromiografía dinámica, así como los avances en ingeniería robótica, han socavado aspectos considerados inmutables. En realidad, el inmanente actual es el control motor, sobre el que se producen adelantos en investigación e hipótesis de modelos futuros.

■ DESARROLLO

CONTROL Y COMPORTAMIENTO MOTOR

La materia aplicada «control motor y neurorrehabilitación» pretende realizar una propuesta formativa para el avance del conocimiento de los profesionales centrado en conocer las bases del movimiento humano, normal y patológico; la supervisión de la ejecución de la acción y de los mecanismos implicados en las manifestaciones clínicas y funcionales; y el diseño y ejecución de protocolos de optimización: de la excelencia del movimiento y terapéuticos específicos.

El control motor se encuentra vinculado al proceso del logro de las competencias para la ejecución motora; es decir, aprender, mantener y recuperar la capacidad para la actividad. Es una ciencia que atiende al objetivo de lograr conocer la «dinámica de la adquisición de competencia motora». Su finalidad es entender los procesos implicados en aprender y ejecutar las habilidades motoras.^{2,3} El proceso debe permitir:

- Diseñar y confeccionar la conducta apropiada, el programa terapéutico y los contenidos del protocolo/currículo del paciente o deportista.
- Conducir experiencias dirigidas de ejecución más eficaces para el individuo.
- Diseñar programas tipo para la rehabilitación en una variedad amplia de habilidades motoras.

El control motor está relacionado o entiende de la ejecución de esos procesos que conducen al movimiento humano «experto», así como los factores que conducen a la interrupción de tales habilidades. Comprende aspectos innatos, adquiridos, conscientes o inconscientes. Puede ser encuadrado como una parte del comportamiento motor

que estudia la intervención de los procesos de recepción y procesamiento de la información y el control de la ejecución.⁴

Mediante el estudio del control motor se analizan las características de las acciones motrices desde la perspectiva del comportamiento, la neurofisiología, la biomecánica y la rehabilitación. El objetivo es entender los cambios que se producen en la ejecución técnica, tanto por el propio desarrollo motor del individuo como por el aprendizaje producto del entrenamiento.⁵ Las bases teórico-prácticas del aprendizaje, sustentadas en las teorías de control motor,⁶ serán los temas de interés en este capítulo.

En 1997, se propuso una concepción global del control motor como «disciplina que estudia los procesos subyacentes a la ejecución de un movimiento y a las modificaciones cronológicas producto del desarrollo evolutivo y del aprendizaje». Se vincularía, como subsidiaria de la ciencia del movimiento, la cinesiología, en un sentido estricto relacional biomecánico y neurofisiológico. Sin embargo, esta definición obvia los aspectos clínicos y terapéuticos que se han señalado previamente.

Al aprendizaje motor le competen aspectos educativo-metodológicos de los procesos neuromotores, con fines de mejora del rendimiento o ejecución en individuos sanos, o la adquisición primaria o secundaria (rehabilitación) de habilidades terapéuticas. Es preciso entender cómo se desarrollan los procesos que favorecen el movimiento, así como los factores que facilitan o inhiben este desarrollo. Se encuentra implicada la modificación en el comportamiento o la mejora de las habilidades motoras, debido a las condiciones de la experiencia o de la práctica. Estudia los procesos de modificación de la conducta motora humana que se manifiesten estables y son producto de la práctica.

El proceso de adquisición de una competencia motora exige, inicialmente, clasificar las habilidades motoras. Es imprescindible determinar las características de dichas habilidades y el grado de dominio de experiencia del comportamiento motor. La habilidad motora es la capacidad de ejecutar el movimiento de una manera óptima. También ha sido definida como la tarea realizada de forma precisa y con una combinación adecuada de fuerza y potencia; como la eficacia de una tarea o conjunto de tareas; la flexibilidad con la que un sujeto consigue una meta motora dada, en diferentes circunstancias; o la óptima parametrización de la función de coordinación motora. La adquisición de habilidades implica dominar nuevos patrones de activación muscular, para lograr altos niveles de ejecución o *performance*, con el fin de minimizar errores sin una reducción de la velocidad. Expresa eficiencia, es decir, eficacia a bajo coste energético y de tiempo. Expresa también el denominado «poder de la ley de la práctica», y la mejora de la acción es consecuencia del número de repeticiones.

El estudio del comportamiento motor analiza y pretende descubrir cómo se produce la habilidad motora. Tres aspectos diferenciados, interrelacionados y esenciales

se encuentran comprometidos en el proceso y constituyen la base del comportamiento motor: desarrollo motor, aprendizaje motor y control motor. En el ámbito del aprendizaje motor se englobaría, según algunos autores, la adaptación motora, la adquisición de habilidades y la toma de decisiones.

CAPACIDAD MOTRIZ

La capacidad, destreza motriz o aptitud motriz, o habilidad (en otros idiomas: *dexterity*, *dexterité*, *ability*), es el empleo de determinados órganos y sistemas motores para aprehender, dominar y transformar los objetos materiales. Se caracterizaba en su sentido original por la calidad de las acciones hábiles que son ejecutadas por las manos (normalmente la dominante). Está influenciada por diferentes factores perceptivo-motores y de la aptitud física y su clasificación se acomete desde diferentes ópticas y en función de:

- La participación corporal o precisión del movimiento,⁷ considerando dos tipologías clásicas: motricidad gruesa y fina. Se basa en la cantidad de músculos involucrados para completar o ejecutar una habilidad: movimiento, motricidad o habilidad motora gruesa, que requiere de una gran diversidad de participación muscular, del conjunto del cuerpo o de movimientos poliarticulares o multimiembros; y habilidad motora fina, movimientos corporales muy pequeños y, generalmente, de manipulación de herramientas u objetos en sedestación.
- El grado de regulación, control y estabilidad ambiental. Se distingue la capacidad motriz autorregulada y de regulación externa.
- La duración del movimiento. Según se distinga o no entre el comienzo y el final del movimiento, se diferencia la habilidad motora discreta, que debe tener un comienzo y un final distintos y en la que la ejecución debe ser única para terminar la tarea, y habilidad motora continua. No se diferencia el inicio y el final del movimiento. Requiere de la repetición del modelo o patrón de movimiento.
- Planeamiento del entorno o grado de regulación. Se clasifica en habilidad motora abierta, o de regulación externa, descrita como entorno semipredicible o impredecible y que requiere del ejecutante ajustes/regulaciones del ambiente que contiene los objetos con cualidades espaciales y temporales, y habilidad motora cerrada o predicible. El ejecutante puede planificar por adelantado, sin miedo a cambios ambientales, o se pueden hacer cambios para permitir el avance de la predicción.
- Atendiendo al carácter continuo o discontinuo del movimiento, se clasificaría en discreta/continua y seriada.
- En función de la disponibilidad de retroalimentación, se clasifica en bucle cerrado o bucle abierto, y de retroalimentación continua o *a posteriori*.

- Según la participación de la exigencia en las diferentes áreas del individuo, puede ser predominante cognitiva o predominante física.
- Y atendiendo al requerimiento de la participación cognitiva, se diferenciará en habitual y perceptiva.

APRENDIZAJE Y CONTROL MOTOR

El aprendizaje motor se ocupa de dos aspectos: entender cómo se desarrolla el proceso que favorece el dominio o competencia para el movimiento y los factores que facilitan o inhiben este desarrollo o adquisición. Implica la modificación en el comportamiento o la mejora motora de una habilidad debido a las condiciones de la experiencia o de la práctica.

El núcleo de interés de la adaptación motora y la adquisición de habilidades motoras han requerido numerosos intentos de acercamiento y clasificación. En la actualidad se considera la consecución de la tarea como la culminación motora. Se señalan tres aspectos esenciales al respecto: motivación del individuo para interactuar y ejecutar la acción, capacidad o competencia conservada para ejecutar la acción (en situaciones patológicas la capacidad de disminuir el déficit) y, finalmente, dominio de la habilidad (la gestión eficiente del aprendizaje y la adaptación motora). Esta última explicita el proceso de dominio.

La «adquisición de habilidades» es la capacidad de lograr un cierto resultado final con el gasto mínimo de energía, o de tiempo y de energía; es la capacidad de ejecutar un movimiento de una manera óptima.

Es un cambio relativamente permanente en el comportamiento, que ocurre como resultado de la experiencia y de la práctica, no atribuible al desarrollo natural y a la maduración. Caracteriza a la habilidad motora que requiere de la existencia de movimiento, que exige ser aprendida, y que exige un alto grado de precisión y exactitud. Se describe en términos generales como un acto o gesto y es un indicador de calidad de la ejecución (en valores cuantitativos serían, por ejemplo, los tantos marcados o el porcentaje de aciertos).

Características de la adquisición de habilidades

- El proceso de aprendizaje es el resultado de la práctica o de la experiencia.
- El proceso no es directamente observable (sí sus consecuencias). Así, la sonrisa presupone felicidad, el griterío, tristeza o felicidad, o la facies de disgusto, vergüenza o cólera.
- Los cambios en el dominio de las habilidades se deducen de los cambios del funcionamiento.
- El proceso es un fenómeno interno que no se puede observar directamente; puede ser deducido solamente de la observación del funcionamiento de las personas.



ADAPTACIÓN MOTORA

En la actualidad, el concepto emergente de adaptación motora ha modificado algunos aspectos. Adaptación motora y adquisición de habilidades son dos procesos fundamentales para el desarrollo, actividad, flexibilidad y aplicabilidad terapéutica del control motor humano. Ambos son dos de los modos posibles aplicables para la rehabilitación motora del daño cerebral sobrevenido, que los investigadores han comenzado recientemente a emplear como códigos internos del sistema para el diseño de tratamientos convencionales y robóticos.

Se entiende por adaptación una modificación de un movimiento desde un ensayo de prueba al siguiente, empleando como base la retroalimentación de la información (los errores cometidos). Se calibran los movimientos ante nuevas demandas, y las adaptaciones repetidas pueden conducir al aprendizaje de una nueva calibración motora. Es la respuesta a perturbaciones externas, cambios en el cuerpo que ocasionan errores en el movimiento. Constituye la respuesta del sistema motor a las condiciones ambientales alteradas para recuperar un nivel previo de ejecución (*performance*) en el nuevo entorno. Supone el dominio/adquisición de una nueva relación entre los movimientos ya bien dominados/adquiridos y una nueva meta espacial. Está implícito, sin conciencia de cómo se ha producido.

La adaptación se considera como un proceso en el que el sistema nervioso aprende a predecir y cancelar los efectos de un nuevo entorno. Es volver el movimiento a la línea de base (condiciones no perturbadas). Una visión alternativa es que la cancelación no es el objetivo de la adaptación.

El objetivo es maximizar el rendimiento en ese entorno. Si los criterios de rendimiento están bien definidos, la teoría permite predecir que la trayectoria se reoptimice, de tal manera que si, ante un movimiento de alcance, las fuerzas dependientes de la velocidad perturban la mano perpendicular a la dirección de dicho, el mejor plan del alcance no sería la línea recta, sino una trayectoria curva que compensaría el exceso de la fuerza.

Si este entorno es estocástico (pasando de un ensayo a otro), el plan de reoptimización debería tener en cuenta la incertidumbre y eliminar el exceso de compensación. Si el ambiente estocástico es de media cero, las velocidades pico del movimiento deberán aumentar para permitir más tiempo para acercarse a la meta. Se observan todas estas tendencias en cómo las personas se adaptan a ambientes nuevos. El control motor en el nuevo entorno no es un simple proceso de cancelación de la perturbación. El proceso se asemeja a un nuevo cálculo o reoptimización. Así, mediante la práctica en el nuevo entorno, se aprenden modelos internos que predicen las consecuencias sensoriales de órdenes motoras. Durante el proceso basado en el logro del éxito o recompensa, se utiliza el modelo interno para buscar un plan del mejor movimiento posible, que

minimice los costes implícitos motores y maximice los aciertos.

Por otro lado, la adquisición de habilidades es un mecanismo básico conductual que permite una generalización limitada (basada en alguna forma de representación interna adquirida), la «adaptación» no lo permite. Se considera como un proceso en el que «el sistema» aprende a predecir y cancelar los efectos de un nuevo entorno.

En el proceso de rehabilitación se ha investigado cuál de los dos es el modelo adecuado para la recuperación motora de pacientes con daño cerebral sobrevenido (entrenados y no entrenados) empleando técnicas de análisis del movimiento que ofrecen información sobre parámetros cinemáticos y macrométricos que incluyen suavidad (gesto óptimo), y micrométricos (submovimientos específicos analíticos). Los resultados señalan que los movimientos en los individuos con entrenamiento y sin él muestran cambios cinemáticos similares en el ámbito macrométrico y en el de submovimientos/cinética, que están altamente correlacionados. A medida que avanza la recuperación del paciente, en el cerebro se vuelve a generar una representación interna de la tarea en un proceso que se asemeja mejor a la «adaptación motora».

La adquisición de habilidades permite saltos cualitativos, como del equilibrio dinámico a la marcha o de la marcha a las escaleras. Sería el método candidato para proponer en las primeras etapas del proceso de la rehabilitación neurológica y en el caso del daño cerebral leve y moderado. La adaptación mejora el rendimiento observado después de dominar una tarea, favorece la adquisición de excelencia o rendimiento de la competencia y permite lograr el virtuosismo.⁸

CONTROL MOTOR Y FUNCIONAMIENTO MOTOR EXPERTO: ADAPTACIÓN

El funcionamiento motor experto es aquél en el que se puede generar un movimiento eficiente, rápido y de alta calidad, con bajo coste energético y que logre un objetivo predeterminado. Puede caracterizarse por:

- Ser una secuencia organizada de movimientos, que requiere de una organización espacial (ajuste de patrones eficaces del movimiento, con la selección de los grupos apropiados de músculos para ejecutar el movimiento seleccionado), además de una organización temporal (control del modelo o patrón del movimiento, en cuanto a la sincronización apropiada de la temporización de la contracción y relajación muscular específica).
- Implicar exactitud, uniformidad y ejecución con un propósito.
- La secuencia ocurre por el hecho de que cada grupo de músculos funcione o responda en el momento apropiado.

Funcionamiento/ ejecución motora-gestual/*performance*

Se puede definir de forma simple como el comportamiento observable o la consecuencia observable de una acción motora. En términos de habilidades motoras, el comportamiento observable es lo que se ve que una persona individual (no un grupo) hace cuando domina una habilidad. El proceso de aprendizaje es una adquisición compleja. Este proceso formativo precisa identificar el comportamiento o las expectativas finales (plan de la acción del terapeuta, profesor o entrenador), temporizar el refuerzo (de continuo a fijo), supervisar una evolución progresiva, después de que aparezca progresivamente deberá cristalizar el comportamiento deseado, observándose un resultado consecuencia del refuerzo de aprendizaje, y, finalmente, determinar el grado de cumplimiento y resultados del comportamiento final.

El aprendizaje está sometido a dos avatares principales: la inhibición proactiva (cuando el aprendizaje de una nueva habilidad es deteriorado por una tarea previamente dominada) y la inhibición retroactiva (volver a aprender/rehabilitar una habilidad previamente dominada y posteriormente deteriorada por una enfermedad o lesión). Se deteriora la habilidad recientemente adquirida por el aprendizaje de una nueva habilidad. Estos fenómenos condicionan el quehacer profesional constantemente. Entre otras cuestiones, condicionan las curvas de aprendizaje en función del tiempo o de los intentos.

Implicaciones para el proceso de rehabilitación neurológica, desde el control motor, referidas al aprendizaje motor



- El entrenamiento en un reducido conjunto de actividades tipo. Sería suficiente para obtener resultados bajo el paradigma de la adquisición de habilidades. Los programas exhaustivos de conjuntos de diversas tareas específicas basados en la adaptación motora no serían necesarios inicialmente.
- Las ganancias persisten por un período significativo después del entrenamiento.
- Las ganancias se generalizan a tareas no entrenadas.
- El enfoque terapéutico basado en el control motor *top-down* (de arriba hacia abajo) capacita para la realización de tareas funcionales (modelo reciente). Sería el enfoque adecuado en el daño cerebral leve-moderado. Emplea la combinación de terapias actuales como el *Brain Computer Interface* con electroencefalografía, la estimulación eléctrica funcional, la rehabilitación robótica asociada a tareas funcionales facilitadoras, así como mediante los métodos Bobath, Vojta, Brünstrom, Perfetti o Kabat-Voss, además de la integración sensorial, la rehabilitación orientada a tareas o a la terapia por restricción del lado sano.
- El enfoque *bottom-up* (de abajo hacia arriba) descompone las tareas funcionales en subcomponentes de instrucción (modelo tradicional). Sería más eficaz inicialmente para pacientes con daño moderado-severo.



CONCLUSIONES

El control motor es un área emergente de investigación y del saber, si bien se basa en aspectos de la neurofisiología y neuropsicología y es de interés para la kinesiológica. Además, es esencial para las manifestaciones clínicas de la neurofisiopatología y, especialmente, en el proceso de rehabilitación. Las terapias aplicadas en fisioterapia, terapia ocupacional y logopedia, entre otras, precisan de su estudio y conocimiento. El análisis de la adaptación motora y el aprendizaje de habilidades generan preguntas. Preguntas ¿sin respuesta?

1. ¿Cómo se aprenden las habilidades motoras y cuáles son las variables que influyen en ese aprendizaje?
2. ¿Cómo realizamos o supervisamos los seres humanos el control y la coordinación de nuestro sistema musculoesquelético?
3. ¿Cómo y por qué se adquieren estas habilidades y se modifican desde la niñez y declinan en la vejez?
4. ¿Cómo se deteriora el control motor en los diversos procesos patológicos?
5. ¿Cómo se orienta e implementa el proceso de rehabilitación?

En esta obra se intenta la aproximación a las respuestas a estas cuestiones. Es la ciencia del «control motor».

REFERENCIAS

1. Hömberg V. Neurorehabilitation approach to facilitate motor recovery. *Neurological Rehabilitation*, 110. En: Barnes M, Good D, eds. *Handbook of clinical neurology*. Edinburgh: Elsevier, 2014; p. 110.
2. Miangolarra-Page JC. Modelos y teorías del control motor. En: Cano de la Cuerda R, Collado-Vázquez S, eds. *Neurorehabilitación. Métodos específicos de valoración y tratamiento*. Madrid: Editorial Médica Panamericana, 2012; p. 105-114.
3. Cano de la Cuerda R, Molero A, Carratalá M et al. Theories and control models and motor learning: clinical applications in neuro-rehabilitation. *Neurología* 2015; 30(1): 32-41.
4. Schmidt R, Lee TD. *Motor control & learning*. Illinois: Human Kinetics, 2005.

5. Abernethy B. Neural bases of human movement. The sub-discipline of motor control. En: Abernethy B, Mackinon L, Neal R, Kippers V, Hanrahan S. The biophysical foundations of human movement. Champaign Illinois: Human Kinetics, 1997; p. 5-23.
6. Latash, ML. Fundamentals of motor control. Amsterdam: Elsevier. Academic Press, 2012; p. 113.
7. Cratty BJ. Teaching motor skills paperback. Englewood Cliffs: Prentice Hall NJ, 1973.
8. Golhofer A, Taube W, Nielsen JB. Routledge handbook of motor control and motor learning. London & NY: Routledge Taylor & Francis Group, 2012.

MATERIAL COMPLEMENTARIO



PREGUNTAS DE AUTOEVALUACIÓN



GLOSARIO



BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

