



## PLASTICIDAD NEURONAL

Lic. Elaine Maciques Rodríguez

Conceptos:

- Plasticidad neuronal es la capacidad de las áreas cerebrales o de grupos neuronales de responder funcional y neurológicamente en el sentido de suplir las deficiencias funcionales correspondientes a la lesión.
- La capacidad de las neuronas de asumir el papel de otra que esté lesionada
- Reorganización sináptica y la posibilidad de crecimiento de nuevas sinapsis a partir de una neurona o varias neuronas dañadas.
- El término plasticidad cerebral expresa la capacidad adaptativa del sistema nervioso para minimizar los efectos de las lesiones a través de modificar su propia organización estructural y funcional.
- La Organización Mundial de la Salud (1982) define el término neuroplasticidad como la capacidad de las células del sistema nervioso para regenerarse anatómica y funcionalmente, después de estar sujetas a influencias patológicas ambientales o del desarrollo, incluyendo traumatismos y enfermedades.

La plasticidad cerebral es la adaptación funcional del sistema nervioso central para minimizar los efectos de las alteraciones estructurales o fisiológicas, sin importar la causa originaria. Ello es posible gracias a la capacidad que tiene el sistema nervioso para experimentar cambios estructurales - funcionales detonados por influencias endógenas o exógenas, las cuales pueden ocurrir en cualquier momento de la vida.

La capacidad del cerebro para adaptarse y compensar los efectos de la lesión, aunque sólo sea de forma parcial, es mayor en los primeros años de la vida que en la etapa adulta. Los mecanismos por los que se llevan a cabo los fenómenos de plasticidad son histológicos, bioquímicos y fisiológicos, tras los cuales el sujeto va experimentando una mejoría funcional- clínica, observándose una recuperación paulatina de las funciones perdidas.

La neuroplasticidad como propiedad universal del sistema nervioso (SN), se basa en mecanismos comunes en especies tan diferentes como insectos y seres humanos, y tienen en general carácter adaptativo, conservándose tanto ontogenética como filogenéticamente. Se expresan en cada etapa del desarrollo de un individuo, a partir de fenómenos genéticamente programados, como el crecimiento y la migración neuronal; y también asociados a las experiencias individuales como el aprendizaje o posterior a la ocurrencia de lesiones en el SN.

Estudios clínicos y experimentales permiten localizar las estructuras cerebrales que asumen la función que se realizaba antes de la lesión. La voluntad del paciente por recuperarse y el buen criterio y conocimiento del neurólogo y del médico rehabilitador pueden conseguir resultados espectaculares ante lesiones cerebrales no masivas y que no tengan carácter degenerativo. Pese a la mayor capacidad de plasticidad en el tejido cerebral joven, es necesario reconocer que en todas las edades hay probabilidades de recuperación.

El cerebro humano cuenta con billones de neuronas interconectadas por medio de múltiples sinapsis (capacidad instalada), muchas de ellas multiplicadas o repetidas (redundancia). Las neuronas son células post-mitóticas, lo cual significa que no se reproducen a partir de sí mismas; pero es posible observar cierta regeneración dendrítica y/o axonal después de lesiones, aunque su significado funcional puede ser controvertido. Existen conexiones neuronales que incrementan su nivel de actividad cuando ocurre la muerte de un grupo de neuronas que lideraban una determinada función originalmente (desenmascaramiento compensatorio). A los elementos anteriores siempre se asocian cambios en el balance excitatorio -inhibitorio de un grupo de sinapsis, por pérdida de la influencia de los grupos que pudieran estar afectados; con consecuencias locales y a distancia. La eficiencia de la transmisión sináptica puede también modificarse incrementando las funciones excitatorias de forma estable (LTP) o las inhibitorias (LTD).

Las lesiones cerebrales provocan déficit motores, sensoriales, o cognitivos; éstos últimos constituyen la causa número uno de discapacidad y motivo de consulta en servicios de Neurología, Traumatología y Rehabilitación. Por eso muchas investigaciones en este campo se centran en la exploración de la función motora y los métodos para lograr una rehabilitación lo más completa posible. Las medidas terapéuticas que se toman desde el principio y una vez iniciada la rehabilitación en los pacientes persiguen el objetivo de estimular el establecimiento de cambios reorganizativos favorables (adaptativos) e inhibir aquellos que se consideren perjudiciales para la recuperación de los pacientes (mal-adaptativos) que involucran también cambios plásticos.

### **Plasticidad sináptica**

El concepto de plasticidad sináptica se ha desarrollado principalmente en estudios relacionados con la memoria y el aprendizaje. Los cambios de duración variable en la función sináptica y con origen en estímulos externos que condicionan aprendizaje, son denominados plasticidad sináptica.

- Lugaro y Ramón y Cajal. Con diversas variaciones, ambos expusieron que el aprendizaje involucra cambios plásticos funcionales en las propiedades de las neuronas o en sus interconexiones. Así, el aprendizaje podría ser el resultado de una modificación morfológica entre las interconexiones de las neuronas, similar a los fenómenos que ocurren durante la formación de sinapsis en la vida embrionaria.

- J. Kornoski (1948) y D. Hebb (1949) postularon que aun cuando los circuitos interneuronales se establecen genéticamente, la fuerza o la eficiencia de ciertas conexiones no están determinada totalmente; de ello infirieron que dichos circuitos son capaces de modificar sus propiedades como resultado de cambios en su actividad.
- La hipótesis de los cambios dinámicos fue propuesta desde 1922 por Forbes, refiriéndose a que el aprendizaje implica una persistencia de actividad en cadena de neuronas interconectadas.

## **Organización anatómica y funcional del SNC**

A pesar de que el cerebro humano muestra una complejidad anatómica considerable, los principios que rigen su funcionamiento son muy simples

### **Esquema**

### **Principios de organización funcional del SNC**

#### **Interconectividad**

- ◆ Intrahemisférica: fibras arqueadas, fascículo longitudinal superior e inferior
- ◆ Interhemisférica: cuerpo caloso, trígono, comisura blanca anterior

#### **Centralización**

#### **Jerarquía neuroaxial**

#### **Lateralidad cerebral**

#### **Especialización estructural y funcional**

#### **Organización topográfica**

#### **Plasticidad neuronal**

Todas las regiones sensoriales y motoras primarias del cerebro relacionadas desde un punto de vista funcional, se encuentran conectadas por fibras de asociación y comisurales. Las áreas de asociación cortical están directamente conectadas entre sí, mientras que las áreas corticales primarias se hallan conectadas entre sí indirectamente a través de las áreas de asociación. Las áreas homólogas de ambos hemisferios se conectan a través de fibras interhemisféricas. Esta interconectividad cerebral permite una interacción constante dentro de cada hemisferio y entre ambos hemisferios, y adecuar las respuestas de forma global y dinámica.

La capacidad para analizar y sintetizar múltiples fuentes de información y generar respuestas diferentes ilustra la organización centralizada y la función del cerebro. Existe una jerarquía en la organización neuroaxial de forma que los segmentos inferiores llevan a cabo funciones específicas sometidas al control y modulación de estamentos superiores, de modo que la complejidad del procesamiento de la información aumenta progresivamente a medida que el nivel llega a ser más cefálico. Desde la periferia pueden provocarse, con

determinados estímulos, respuestas en niveles superiores que fueren la organización o la adquisición de determinadas funciones.

La lateralidad cerebral se expresa en tres aspectos: simetría anatómica, diferencias funcionales unilaterales (como la localización del lenguaje, el habla y el procesamiento analítico en el hemisferio izquierdo, y las habilidades temporoespaciales, musicales y el repertorio emocional y humorístico, en el derecho) y control sensoriomotor contralateral. Comprender la funcionalidad del cerebro en estos tres aspectos es básico para entender los procesos que tienen lugar en la reorganización del cerebro tras una lesión.

**La especialización estructural y funcional es una característica destacada de la organización cortical. Los sistemas sensitivos y motores poseen células especializadas y distinguibles desde un punto de vista funcional, y ello permite una mayor velocidad de procesamiento de información y adecuación de respuestas.** Funcionalmente el SNC está compuesto por neuronas sensoriales, motoras y de asociación. La información proveniente de los receptores sensoriales llegan al SNC donde son integradas (codificación, comparación, almacenamiento decisión) por neuronas de asociación o interneuronas, enviando una respuesta que llega a algún órgano efector. Kandel sugiere que **los movimientos voluntarios son controlados por un complejo circuito neuronal en el cerebro, interconectando los sistemas sensorial y motor, creando un sistema motivacional.**

Toda la corteza cerebral está organizada en áreas funcionales que asumen tareas receptivas, integrativas y motoras del comportamiento. **Es responsable de actos conscientes, pensamiento y la capacidad de respuesta a la estimulación ambiental de forma voluntaria.** Existe un verdadero mapa cortical con divisiones precisas a nivel anátomo funcional, el cual está más o menos activado de forma constante en dependencia de la actividad que el cerebro esté realizando con independencia a las necesidades de integración constante de sus informaciones frente a los más simples comportamientos.

Las vías neuronales y sus proyecciones se someten a una organización topográfica, de forma que cada área visual se proyecta de manera diferente sobre la corteza visual occipital a través del tálamo. **Las fibras que conducen la información visual procedente de la retina retienen esta información conforme progresan hacia el tronco cerebral, el tálamo y la corteza visual, existiendo una continuidad en la representación sobre la corteza visual de áreas adyacentes del campo visual que se organizan en zonas con sensibilidad a una misma orientación y en forma de molinillo.** La misma relación existe entre un área definida de la corteza auditiva organizada en franjas de isofrecuencia y las células específicas de frecuencia de la cóclea. Del mismo modo, para la información somatosensorial se distribuyen mapas topográficos o somatotópicos de las diferentes funciones en el área motora primaria.

Por último, el principio de organización que fundamenta la aplicación de programas de intervención terapéutica para la recuperación funcional es la

plasticidad cerebral. Es la capacidad de reorganizar y modificar funciones, adaptándose a los cambios externos e internos. **La plasticidad inherente a las células cerebrales permite la reparación de circuitos corticales, integra otras áreas corticales para realizar funciones modificadas y responde a diversas afecciones. La capacidad del cerebro de adaptarse a los cambios tiene, además, importantes implicaciones en el aprendizaje.**

Las respuestas desencadenadas por el SNC son más complejas, cuanto más exigente sean los estímulos ambientales. El cerebro necesita una intrincada red de circuitos neuronales conectando sus principales áreas sensoriales y motoras, es decir, grandes concentraciones de neuronas capaces de almacenar, interpretar y emitir respuestas eficientes a cualquier estímulo, teniendo también la capacidad en todo momento, en correspondencia con nuevas informaciones, de reajustar sus conexiones sinápticas y nuevos aprendizajes.

El sistema nervioso central se encuentra protegido de golpes, compresiones y otras agresiones físicas por un estuche óseo constituido por los huesos del cráneo y de la columna vertebral. Tiene una protección química que evita que partículas y sustancias extrañas, que alcancen el torrente circulatorio puedan tener una influencia anormal sobre las neuronas.

Tiene una reserva numérica de magnitud considerable, es decir, que el número de neuronas con que contamos es muy superior a la que necesitaríamos para una función normal, **la capacidad instalada** en nuestro SN está muy por encima del que utilizaremos en la vida. Un ejemplo fácil de comprender; cuando comparamos las habilidades de un gimnasta con las de un hombre común, parecerá que el primero tiene un SN diferente, sin embargo, cuando se estudian los caracteres estructurales de ambos no se encontrará ninguna diferencia en la composición anatómica; la diferencia está en el establecimiento de nuevas relaciones funcionales de una ampliación en el uso de esa capacidad de reserva. Este es un ejemplo claro de la plasticidad del SN y es el fundamento del proceso del aprendizaje y la rehabilitación de funciones perdidas por lesiones del SN.

## **Factores de la neuroplasticidad en la restauración de funciones en el SN**

### 1. Regeneración

axónica  
dendrítica

colateralización

### 2. Supervivencia

### 3. Desenmascaramiento.

### 4. Reorganización de funciones (ordenamiento de la excitación inhibición).

### 5. Capacidad disponible.

### 6. Patrones de activación.

## Regeneración

Todas las neuronas son capaces de regenerar su axón y sus dendritas cuando estas son lesionadas o destruidas. En el sistema nervioso periférico se logra una restitución anatómica completa cuando la lesión afecta al axón distalmente a una división colateral (Los axones amputados del cabo proximal dentro de una extensión nerviosa periférica, cuando se ponen en contacto con su lado distal, reinervan el órgano periférico denervado por la lesión, ya bien sea motor o sensitivo el nervio dañado).

La colateralización es otro proceso que ocurre en el sistema nervioso periférico que consiste en la emisión de colaterales en las ramas terminales de axones intactos, que van a inervar fibras musculares de unidades nerviosas denervadas cercanas.

## Supervivencia

Las lesiones que ocurren en el sistema nervioso (agudo, crónico, traumático, vascular, infeccioso) pueden ser destructivas en mayor o menor medida, permitiendo que una población neuronal sobreviva.

Cuando una neurona queda aislada funcionalmente, sin conexión sináptica, se atrofia y muere. Ocurren intercambios metabólicos en las terminales sinápticas de los axones y en la producción de factores de protección y crecimiento en las regiones sinápticas afectadas, actuando estos en una interacción constante entre las neuronas sinápticamente relacionadas y entre las neuronas y sus efectores o receptores y dicha interacción se realiza mediante elementos químicos que viajan en el flujo axonal, en ambos sentidos. De aquí que cuando una neurona queda aislada o se interrumpe su conexión sináptica degenera y muere.

Esta interacción protectora disminuye con el tiempo y debe representar un factor importante en el envejecimiento y en algunas enfermedades degenerativas en las cuales la enfermedad neuronal tiene una marcada sistematización.

Estudios han demostrado que existen factores capaces de proteger o dejar sin protección a las neuronas expuestas a la acción favorable o desfavorable de otras sustancias endógenas o exógenas al SNC.

## Desenmascaramiento

Se define como el uso de sinapsis existentes pero poco o nada funcionales hasta ese momento.

Cada neurona establece en su campo dendrítico un número elevado de conexiones sinápticas que la relacionan, en variadas escalas de intensidad con un número elevado de otras neuronas, en ocasiones procedentes de distantes y diferentes niveles del SN. Pongamos el ejemplo de la motoneurona espinal llamada "**vía final común**". Siendo neuronas con un gran campo dendrítico

presenta miles de contactos sinápticos procedentes de varios niveles del SN, de las motoneuronas corticales por la vía piramidal directamente o mediante neuronas intercaladas del propio segmento espinal, de las neuronas retículo-espinales del tronco cerebral, de las neuronas vestíbulo-espinales, rubro-espinales etc.

El desenmascaramiento puede entenderse en el proceso de rehabilitación por el efecto del "**entrenamiento repetitivo**", cuando tras una lesión se procura restablecerla organizando nuevas vías en la recuperación del movimiento normal. Al principio en un paciente hemipléjico se nota la dificultad para realizar movimientos con el lado lesionado y como con los ejercicios mejoran.

### **Reorganización de funciones**

En el proceso de rehabilitación de un paciente con lesión neurológica existe un reordenamiento de las funciones perdidas.

Un ejemplo sucede en pacientes con lesiones en el área de Broca que presenta una afasia motriz. Estos pacientes se recuperan al término de un período de rehabilitación activa, esta reorganización se realiza en zonas contiguas al área de Broca lesionada.

Intervienen los factores de regeneración-colateralización y desenmascaramiento en el reordenamiento de la función pérdida en áreas aledañas en las aferencias excitatorias e inhibitorias de las neuronas lesionadas y otras no lesionadas.

### **Capacidad disponible**

Se refiere a que la capacidad anatomofuncional en el SN del hombre es tan superior a sus propias necesidades que garantiza un funcionamiento adecuado en situaciones de pérdida de funciones o lesiones al sistema nervioso.

El sistema nervioso está organizado anatómicamente y funcionalmente por determinadas unidades integradas en niveles progresivos de complejidad, creando nuevas relaciones en virtud del aprendizaje, la memoria y la experiencia.

### **Patrones de activación**

Está demostrado que las propiedades funcionales de las unidades motoras (UM) están en dependencia de los patrones de activación de las motoneuronas. Esto quiere decir que las fibras musculares a pesar de su alto grado de especialización tienen la capacidad de cambiar sus propiedades bioquímicas, fisiológicas y estructurales en respuesta a los cambios en los patrones de activación de sus neuronas. Estos cambios consisten en aumento de la densidad capilar, de las enzimas oxidativas y de la resistencia a la fatiga.

Se señalan ocho factores relacionados con la reorganización de las funciones después de lesiones cerebrales.

- a) El sustrato neural.
- b) Una terapia adecuada.
- c) La edad.
- d) El tiempo.
- e) La motivación.
- f) El ambiente (entorno).
- g) La familia.
- h) El médico.

### **Tipos de plasticidad neuronal**

Se admite la posibilidad de que existen varios tipos de plasticidad neuronal, en los que se consideran fundamentalmente factores tales como edad de los pacientes, naturaleza de la enfermedad y sistemas afectados.

#### **Por edades**

- a) Plasticidad del cerebro en desarrollo.
- b) Plasticidad del cerebro en periodo de aprendizaje.
- c) Plasticidad del cerebro adulto.

#### **Por patologías**

- a) Plasticidad del cerebro malformado.
- b) Plasticidad del cerebro con enfermedad adquirida.
- c) Plasticidad neuronal en las enfermedades metabólicas.

#### **Por sistemas afectados**

- a) Plasticidad en las lesiones motrices.
- b) Plasticidad en las lesiones que afectan cualquiera de los sistemas sensitivos.
- c) Plasticidad en la afectación del lenguaje.
- d) Plasticidad en las lesiones que alteran la inteligencia.

La explicación anatómica debe buscarse en lo que se conoce como sistemas secundarios paralelos del cerebro. Estos son principalmente las vías subcorticoespinales, las cuales son probablemente las más importantes en el humano durante la época neonatal. Suplen la función de las vías corticoespinales más largas, que también tienen una importante función en el neonato a término, pero muestran diferente expresión en el cerebro con mayor grado de madurez. Estas vías suplementarias, generalmente polisinápticas,



son utilizadas en muchos casos en los que las vías fundamentales han sufrido perturbación de cualquier tipo.

Estos sistemas paralelos pueden ponerse en marcha por efecto de mecanismos intrínsecos o extrínsecos. La plasticidad anatómica de las neuronas en el sistema nervioso central es un fenómeno común en la sinapsis; tanto la estimulación fisiológica como las condiciones del entorno pueden dar origen a cambios numéricos y morfológicos. La plasticidad del axón, sin embargo, difiere de la sinapsis, ya que se considera como un fenómeno específico apreciado después de una lesión parcial, ya sea que esta haya tenido lugar en el sistema nervioso central o en el periférico y la cual, como es obvio, es más pronunciada durante la primera infancia.

La plasticidad axonal y sináptica no tendría utilidad práctica si el ciclo funcional no se completara por la acción de los neurotransmisores específicos. Se considera que los cambios en la eficacia y liberación de los mismos representan un papel fundamental en la plasticidad sináptica.

### **Posibilidades de intervención**

A pesar de que los avances en las neurociencias nos ofrecen cada vez un conocimiento mayor acerca de la maduración cerebral y los principios que rigen su funcionamiento y adaptación a las lesiones, queda mucho por entender y comprender. Se abren cada día nuevas líneas de investigación intentando describir y descifrar las respuestas que el cerebro va dando a lo largo de la vida a los diferentes acontecimientos vitales. Sólo conocemos y aprovechamos un leve porcentaje del potencial del cerebro que hoy no alcanzamos a comprender. Conforme avancemos en el conocimiento de los mecanismos neuroquímicos y neuroanatómicos que dirigen la plasticidad cerebral y la capacidad de recuperación funcional, podremos diseñar estrategias específicas de actuación temprana cada vez más adecuadas y adaptarlas a la población infantil con alto riesgo de sufrir secuelas derivadas de patologías neurológicas.

A la luz de los últimos estudios, surge la posibilidad de intervenir y modular la plasticidad cerebral con distintas estrategias:

**Desde el punto de vista físico**, adecuando los programas de intervención, estimulación y rehabilitación a los conocimientos sobre los diferentes mecanismos con los que el córtex es capaz de adaptarse, la capacidad de plasticidad interhemisférica del córtex motor, la plasticidad cruzada para el córtex visual y auditivo, la reorganización o la transferencia contralateral en el córtex relacionado con el lenguaje, etc.

**Desde el punto de vista farmacológico**, se puede apoyar o combinar la terapia física con la administración de fármacos que prolonguen o abran el período crítico para fomentar cambios neuroplásticos.

**Desde el abordaje cognitivo y conductual**, trabajando la atención durante la ejecución de las tareas, se aprende y se recuperan funciones más

rápidamente. En cuanto a la recuperación de déficit cognitivo y funciones mentales superiores, incluyendo el lenguaje, antes de diseñar las estrategias de rehabilitación es imprescindible realizar una valoración neuropsicológica completa para determinar los componentes afectados del sistema, y cuáles son los conservados que pueden servir como apoyo y punto de partida a la terapia. Además, si conductualmente conseguimos un tono más adecuado, los estudios sugieren que este tono conductual actuaría facilitando la plasticidad neuronal a través de la estimulación noradrenérgica y serotoninérgica, fundamentalmente.

**La utilización de técnicas físicas** abre la posibilidad de aumentar la excitabilidad de la corteza que interese, facilitando su entrenamiento y posibilitando un incremento de la capacidad de aprender aquello que se entrene en las horas subsiguientes.

### **¿Cual es el más efectivo?**

Quizá logremos demostrar que las armas que la neurociencia ofrece hoy para fomentar la recuperación funcional del córtex motor o somatosensorial pueden aplicarse a los mecanismos que rigen la cognición y la patología neuropsicológica. Esto nos abriría las puertas al conocimiento de patologías complejas del neurodesarrollo que tienen su origen en etapas precoces, como las derivadas de la privación de estímulo en algunos grupos de niños: déficit neurosensoriales, privación de experiencias en niños adoptados, niños afectos de parálisis cerebral que no han tenido la experiencia de un esquema motor normal. Recordemos que tanto la falta de estimulación como la intervención temprana son capaces de modular la actividad gabaérgica básica para iniciar los cambios neuroplásticos implicados en la recuperación funcional, lo cual permite nuevas posibilidades de estudio y acercamiento a diversas patologías y su recuperación, y quizá nos ayude a encontrar, desde la humildad del desconocimiento, la clave para entrar en el cerebro de los niños con necesidades especiales.