columna cortical – cortical column

Authored by

memjavad

November 25, 2025

ARABPSYCHOLOGY.COM

RECOMMENDED CITATION

memjavad (2025). *columna cortical – cortical column*. Spanish Psychological Databases. Retrieved from https://spanish.arabpsychology.com/?p=6079

Columna Cortical

Primary Disciplinary Field(s): Neurociencia, Biología Celular, Fisiología Cerebral

1. Definición Central

La columna cortical, o unidad funcional vertical de la corteza cerebral, es reconocida como la unidad de procesamiento fundamental dentro del **cortex cerebral** de los mamíferos. Este concepto postula que la información sensorial y motora no es procesada de manera homogénea a lo largo de la superficie cortical, sino que se segrega en módulos discretos que se extienden de forma vertical a través de las seis capas citoarquitectónicas (I a VI). Estas unidades se caracterizan por una conectividad intrínseca predominantemente vertical y por compartir propiedades funcionales o campos receptivos similares entre las neuronas que las componen. La columna representa, por lo tanto, un microcircuito altamente organizado y repetitivo, esencial para la computación neural compleja. Aunque existen variaciones significativas en tamaño y función dependiendo de la región cortical (sensorial, motora o de asociación), el principio de la organización columnar subyace a gran parte de la comprensión moderna sobre cómo el cerebro gestiona la información y genera respuestas conductuales.

Es crucial diferenciar entre la **minicolumna** (o microcolumna) y la macrocolumna (o columna funcional). La minicolumna es la unidad más pequeña propuesta, típicamente compuesta por aproximadamente 80 a 100 neuronas en un diámetro de 30 a 60 micrómetros, y se cree que es el componente básico de la arquitectura cortical. Varias minicolumnas se agrupan para formar una macrocolumna, que es la unidad funcional demostrable experimentalmente, como las columnas de dominancia ocular en la corteza visual. La macrocolumna, con un diámetro de 300 a 500 micrómetros, exhibe una coherencia funcional más amplia, siendo el foco principal de las investigaciones iniciales que establecieron el paradigma columnar. La esencia de esta organización radica en la eficiencia; al agrupar neuronas con propiedades de procesamiento similares verticalmente, el cerebro minimiza el tiempo de transmisión y optimiza la integración de señales dentro de ese dominio funcional específico.

El reconocimiento de esta estructura modular ha tenido profundas implicaciones para la neurociencia, proporcionando un marco para entender cómo la **plasticidad neuronal** y la especialización funcional se implementan a nivel microcircuital. La existencia de la columna cortical sugiere que, si bien la corteza parece ser una estructura superficial continua, su operación interna está parcelada en miles de unidades de procesamiento paralelo. Esta visión contrasta con modelos anteriores que consideraban la corteza como un campo homogéneo de procesamiento distribuido, destacando la importancia de la arquitectura vertical en la codificación de la información. El flujo de información dentro de una columna comienza típicamente con la aferencia talámica en la Capa IV, se propaga hacia las Capas II y III para el procesamiento asociativo y la

ARABPSYCHOLOGY.COM

salida, y utiliza las Capas V y VI para las proyecciones subcorticales y talámicas, respectivamente, manteniendo así un circuito completo dentro de los límites verticales de la columna.

2. Estructura Anatómica y Citoarquitectura

Anatómicamente, la columna cortical se define por la disposición radial de los somas neuronales, especialmente las **neuronas piramidales**, cuyos axones y dendritas apicales se alinean verticalmente a lo largo del eje perpendicular a la superficie cortical. Esta alineación es crítica, ya que facilita la comunicación rápida entre las distintas capas corticales. La Capa IV, que recibe la principal aferencia sensorial del tálamo, actúa como el punto de entrada primario de la información. Las neuronas de la Capa IV proyectan principalmente hacia las Capas II y III, que son las capas supragranulares, encargadas de la comunicación horizontal con otras áreas corticales y del procesamiento de la información de orden superior. La integridad estructural de la columna depende de la fidelidad de estas conexiones verticales.

Las capas infragranulares, Capas V y VI, constituyen las principales vías de salida de la columna. La **Capa V** contiene las neuronas piramidales más grandes, cuyos axones proyectan hacia estructuras subcorticales cruciales como los ganglios basales, el tronco encefálico y la médula espinal, siendo esenciales para la ejecución motora. La Capa VI, la capa más profunda, proyecta principalmente de vuelta al tálamo, cerrando el bucle tálamo-cortical y modulando la entrada sensorial. Esta organización en capas, aunque universal en la neocorteza, es precisamente lo que permite la especialización funcional dentro de la columna: la información entra por el centro (IV), se procesa y asocia en la parte superior (II/III), y se dirige a la acción o modulación en la parte inferior (V/VI).

Además de las neuronas piramidales excitatorias, la columna contiene una rica diversidad de **interneuronas** GABAérgicas, que son fundamentales para regular la actividad dentro del microcircuito. Estas interneuronas, que constituyen aproximadamente el 20% de la población neuronal, están distribuidas de manera específica en las capas y ejercen un control inhibitorio crucial. Por ejemplo, las interneuronas de la cesta (basket cells) y las interneuronas con dendritas orientadas verticalmente ayudan a sincronizar la actividad dentro de la columna, asegurando que la respuesta funcional sea precisa y temporalmente coordinada. La interacción precisa entre la excitación piramidal y la inhibición interneuronal es lo que dota a la columna de su capacidad para realizar cálculos complejos, como la selectividad de orientación o la detección de movimiento.

3. Organización Funcional y Circuitos

La característica definitoria de la columna cortical es su **homogeneidad funcional** vertical. En la corteza somatosensorial (S1), por ejemplo, las neuronas que atraviesan una columna responden preferentemente a la estimulación de un punto específico en el cuerpo. En la corteza visual

ARABPSYCHOLOGY.COM

primaria (V1), las neuronas dentro de una misma columna suelen compartir la misma selectividad de orientación para las líneas o bordes, o la misma preferencia de dirección de movimiento. Esta especialización implica que la columna actúa como un filtro o detector de características específicas del estímulo, realizando una porción elemental del procesamiento total. La organización funcional refleja directamente la conectividad sináptica; las neuronas que comparten propiedades funcionales están fuertemente interconectadas verticalmente.

Los circuitos locales dentro de la columna son altamente recurrentes. Una vez que la información sensorial llega a la Capa IV, se activa una cascada de procesamiento que involucra bucles de retroalimentación excitatorios e inhibitorios. Los circuitos excitatorios recurrentes son vitales para amplificar la señal de entrada y mantener la actividad neuronal durante periodos de tiempo relevantes para la memoria de trabajo o la integración temporal. Por otro lado, la inhibición lateral, mediada por las interneuronas, juega un papel clave en el fenómeno de la supresión lateral, que aumenta el contraste y la especificidad de la respuesta de la columna, permitiendo que la columna más fuertemente activada inhiba a sus vecinas. Este mecanismo es fundamental para la discriminación fina de estímulos.

El concepto de la columna implica un principio de **procesamiento en paralelo**. Miles de columnas operan simultáneamente, cada una procesando una porción diferente del campo sensorial o motor. Por ejemplo, en V1, las columnas adyacentes procesan orientaciones ligeramente diferentes, y el mapa completo de orientaciones se construye mediante la interacción de estas unidades modulares. Esta modularidad no solo permite una alta eficiencia computacional, sino que también confiere robustez al sistema, ya que la lesión de una sola columna no necesariamente compromete la función global de manera catastrófica. La interacción entre columnas adyacentes (conectividad horizontal), aunque menos intensa que la vertical, es crucial para la integración de características a través de un espacio más amplio.

4. Desarrollo Histórico del Concepto

El concepto de organización columnar de la corteza cerebral se formalizó y popularizó en la segunda mitad del siglo XX, marcando un cambio fundamental en la neurociencia. Antes de esto, la corteza era vista principalmente como una masa homogénea de tejido. El hito más significativo fue el trabajo de **Vernon Mountcastle** en la década de 1950, quien, utilizando registros electrofisiológicos en gatos y monos, demostró que las neuronas en la corteza somatosensorial (S1) que se encontraban a lo largo de una trayectoria perpendicular a la superficie cortical (es decir, dentro de una columna) compartían la misma modalidad sensorial y el mismo campo receptivo periférico. Mountcastle propuso en 1957 que esta organización vertical era un principio de diseño universal de la neocorteza.

Poco después, los trabajos seminales de **David Hubel y Torsten Wiesel** en la década de 1960 y

ARABPSYCHOLOGY.COM

1970 proporcionaron una confirmación espectacular de este principio en la corteza visual primaria (V1). Hubel y Wiesel descubrieron las columnas de dominancia ocular y las columnas de orientación, donde las neuronas dentro de una columna vertical respondían específicamente a líneas de una orientación particular. Sus hallazgos no solo validaron el concepto de columna funcional, sino que también revelaron la especialización extrema y la topografía organizada de la información visual, un trabajo que les valió el Premio Nobel. Estos estudios establecieron el paradigma columnar como el modelo dominante para entender la estructura funcional de las áreas sensoriales.

Sin embargo, el concepto de columna, especialmente en su forma de minicolumna, ha evolucionado y ha sido objeto de debate. El término "minicolumna" fue introducido por **Valentino Braitenberg**, quien enfatizó la importancia de la organización radial de los procesos dendríticos y axonales. A lo largo de las décadas siguientes, la investigación se centró en determinar si esta estructura modular es idéntica en todas las áreas corticales (sensoriales, motoras, de asociación) y en todas las especies. Aunque la evidencia de la macrocolumna funcional es sólida en áreas sensoriales, la definición y la universalidad de la minicolumna siguen siendo áreas de investigación activa y debate, especialmente en las áreas de asociación prefrontal, donde la especificidad del procesamiento es menos rígida.

5. Modelos y Variaciones Regionales

Aunque el principio de la organización columnar es omnipresente en la neocorteza, la implementación específica varía significativamente entre las diferentes áreas funcionales. En las áreas sensoriales primarias (V1, S1, A1), las columnas están altamente especializadas y son topográficamente organizadas, formando mapas detallados de la información sensorial. Por ejemplo, en V1, las columnas de orientación están organizadas en un patrón de "pinwheel" (molinete), donde todas las orientaciones posibles convergen en un punto central. En la corteza auditiva (A1), las columnas están organizadas según la frecuencia del sonido, un arreglo conocido como organización tonotópica. Estos mapas reflejan una codificación elemental y sistemática de las propiedades del estímulo.

En contraste, en las áreas corticales de asociación, como la corteza prefrontal dorsolateral, la evidencia de columnas rígidas y bien definidas es menos clara o, al menos, la propiedad funcional compartida es más abstracta. En estas áreas, la función principal es la integración de múltiples modalidades, la planificación y la memoria de trabajo, lo que requiere una mayor flexibilidad en la conectividad. Algunos modelos sugieren que si bien la estructura anatómica de la minicolumna persiste, la coherencia funcional puede ser más dinámica y depender del contexto conductual o del estado cognitivo. Esto ha llevado a la propuesta de que las columnas en las áreas de asociación podrían representar unidades de procesamiento de reglas o conceptos, en lugar de características sensoriales simples.

ARABPSYCHOLOGY.COM

Un modelo importante para conceptualizar la organización columnar es el modelo del "cubo cortical" propuesto por Hubel y Wiesel, que visualiza la corteza como una matriz tridimensional donde la información se codifica a través de las dimensiones espaciales (horizontal) y funcionales (vertical). Dentro de este marco, las macrocolumnas pueden subdividirse en unidades funcionales aún más pequeñas que interactúan. Las diferencias regionales también se manifiestan en la citoarquitectura; por ejemplo, las columnas en la corteza motora (M1) tienen una Capa IV menos prominente ya que no reciben una aferencia sensorial directa tan fuerte como S1, pero poseen una Capa V muy desarrollada para sus funciones de salida motora. Esta adaptabilidad arquitectónica subraya que la columna es una plantilla estructural que se ajusta a las demandas funcionales de cada región cortical.

6. Implicaciones en la Computación Neural

La organización columnar proporciona un mecanismo eficiente para el **código neural**. Al agrupar neuronas con propiedades funcionales similares, la columna facilita la codificación de información mediante códigos de población localizados. Cuando un estímulo se presenta, solo un subconjunto de columnas altamente especializadas se activa, lo que permite al cerebro representar características complejas utilizando la actividad combinada de estos módulos. Esta modularidad es fundamental para la capacidad del cerebro de realizar cálculos rápidos y paralelos, un requisito esencial para la percepción en tiempo real y la toma de decisiones.

Desde una perspectiva de la neurociencia computacional, la columna cortical puede ser vista como un módulo de **red neuronal artificial** altamente optimizado. Su estructura de entrada (Capa IV), procesamiento interno (Capas II/III) y salida (Capas V/VI) imita las capas de procesamiento en modelos computacionales. La robustez y la repetibilidad de la unidad columnar sugieren que podría ser el bloque de construcción fundamental que permite al cerebro escalar su capacidad computacional, replicando esencialmente el mismo microcircuito básico millones de veces para manejar la enorme cantidad de información sensorial y cognitiva.

Además, la disfunción en la organización columnar ha sido implicada en varias **enfermedades neuropsiquiátricas**. Por ejemplo, se ha postulado que en el trastorno del espectro autista (TEA), podría existir una alteración en la estructura o el espaciado de las minicolumnas, resultando en un exceso de neuronas o una conectividad horizontal reducida. Estos cambios podrían contribuir a los déficits en la integración de información y la percepción que caracterizan al TEA. De manera similar, se han reportado anomalías en la densidad y el espaciado columnar en la esquizofrenia. Esto resalta la importancia de la arquitectura columnar no solo para la función normal, sino también como un punto vulnerable en la patología cerebral.

7. Debates y Críticas

ARABPSYCHOLOGY.COM

A pesar de su aceptación generalizada, el concepto de columna cortical, especialmente el de la minicolumna, no está exento de controversia. El principal debate gira en torno a la rigidez y la universalidad de esta estructura. Algunos críticos argumentan que la delimitación entre columnas no es tan nítida como se sugiere en los modelos clásicos. En lugar de ser módulos discretos, la actividad funcional podría estar organizada en gradientes continuos, donde las propiedades funcionales cambian gradualmente a lo largo de la superficie cortical. Esta visión sugiere que la conectividad horizontal entre las neuronas es mucho más influyente de lo que el modelo estrictamente vertical implica.

Otro punto de discusión se centra en la dificultad de demostrar universalmente la existencia de la minicolumna anatómica en todas las áreas corticales. Mientras que la macrocolumna funcional es clara en S1 y V1, la evidencia histológica de la minicolumna ha sido cuestionada debido a las dificultades técnicas para definir sus límites precisos en estudios post-mortem. La variabilidad en los métodos de tinción y análisis ha llevado a resultados inconsistentes, lo que obliga a la comunidad científica a reconsiderar si la minicolumna es una entidad estructural fija o más bien una tendencia organizativa de la conectividad local. Algunos investigadores prefieren referirse a la organización como una "preferencia de conectividad vertical" en lugar de una unidad modular obligatoria.

Finalmente, la crítica se extiende a la aplicabilidad del modelo columnar en especies no mamíferas o en las áreas corticales más evolucionadas, como la corteza prefrontal humana. Si bien la estructura laminar es conservada, la complejidad de las interacciones sinápticas en estas áreas sugiere que el procesamiento puede depender más de la dinámica de las redes distribuidas que de la segregación estricta en columnas. El consenso actual tiende a aceptar la columna como un principio organizativo fundamental, pero reconoce que la funcionalidad de esta unidad es altamente adaptable y que sus límites funcionales pueden ser más fluidos de lo que los modelos iniciales de Mountcastle y Hubel y Wiesel sugirieron, especialmente en contextos cognitivos complejos.

8. Lecturas Adicionales

Corteza cerebral (Wikipedia)
Minicolumna cortical (Wikipedia)
Vernon Mountcastle (Wikipedia)
David H. Hubel y Torsten Wiesel (Wikipedia)
Campo receptivo (Wikipedia)

ARABPSYCHOLOGY.COM