

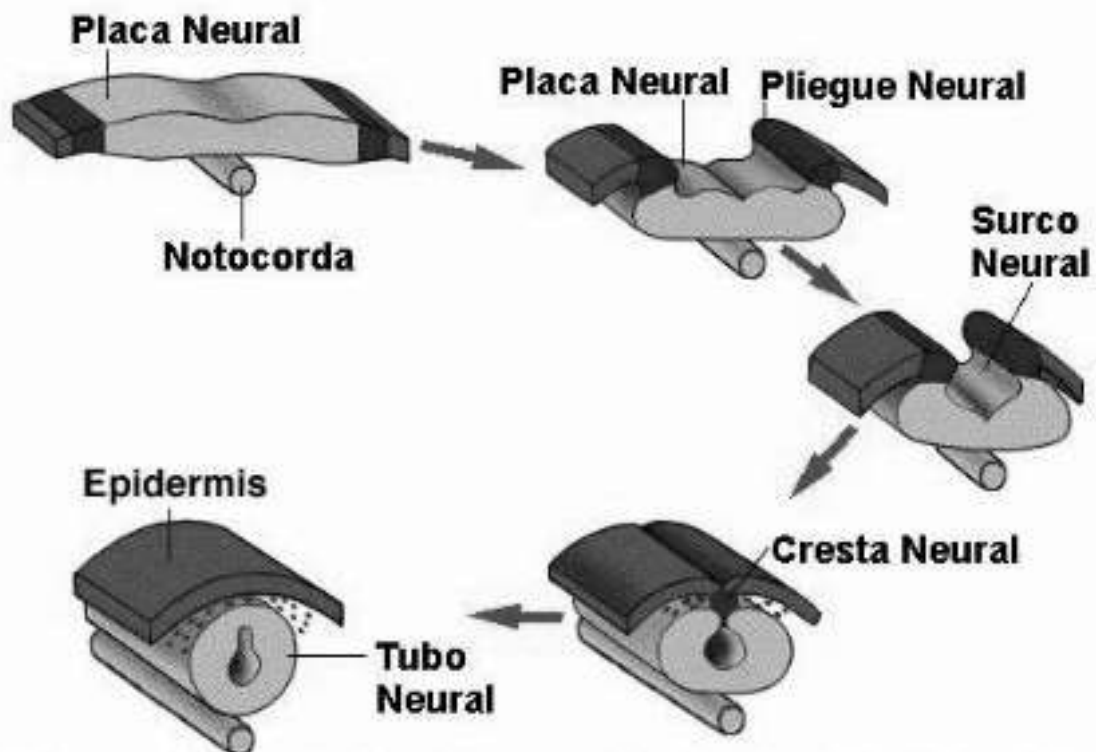
EMBRIOLOGÍA DEL SISTEMA NERVIOSO

Los procesos de inducción, migración y diferenciación celular que se llevan a cabo durante la formación del tejido nervioso generan un sistema altamente organizado, capaz de proporcionar al nuevo ser una eficiente red de comunicación con gran respuesta adaptativa y con la peculiaridad de responder autónomamente a estímulos físicos y químicos originados tanto en el exterior como en el interior del cuerpo. De esta forma, el sistema nervioso central integra y controla las diferentes funciones del organismo.

Si se observa la evolución de las especies, la centralización de la información es uno de los principios básicos de la organización de los seres vivos y es el sistema nervioso central el encargado de asumir tales funciones. Un conocimiento básico de la embriología ayudará a comprender de mejor manera las intrincadas interrelaciones de los distintos componentes del eje central.

DESARROLLO DEL SISTEMA NERVIOSO CENTRAL

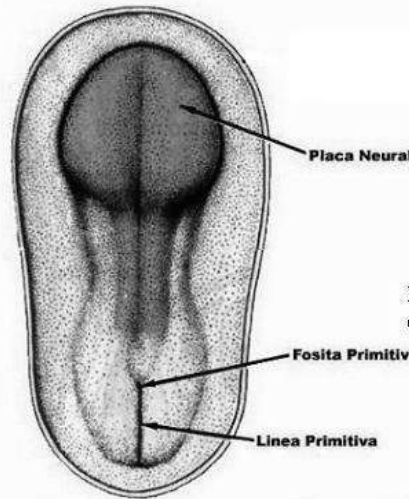
El sistema nervioso humano empieza a formarse durante la tercera semana después de la fecundación, cuando el embrión mide aproximadamente 1.5 mm. Inicia su desarrollo en la línea media de la región dorsal del embrión. La *neurulación* comprende los procesos de formación de la placa neural, los pliegues neurales y el desarrollo del tubo neural.



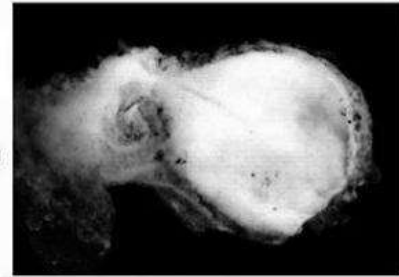
• **Proceso de Neurulación.** Observe cómo la migración de las células de la cresta neural ocurre mientras se fusionan los pliegues neurales.

Al comenzar la tercera semana, la *notocorda* en desarrollo y el *mesodermo* adyacente estimulan al *ectodermo* que está encima de estos. Este complejo proceso de inducción notocordal hace que el tejido ectodérmico se engrose (*neuroectodermo*) formando así la **placa neural**.

Alrededor del día 18 del desarrollo, los bordes laterales de la placa neural se elevan



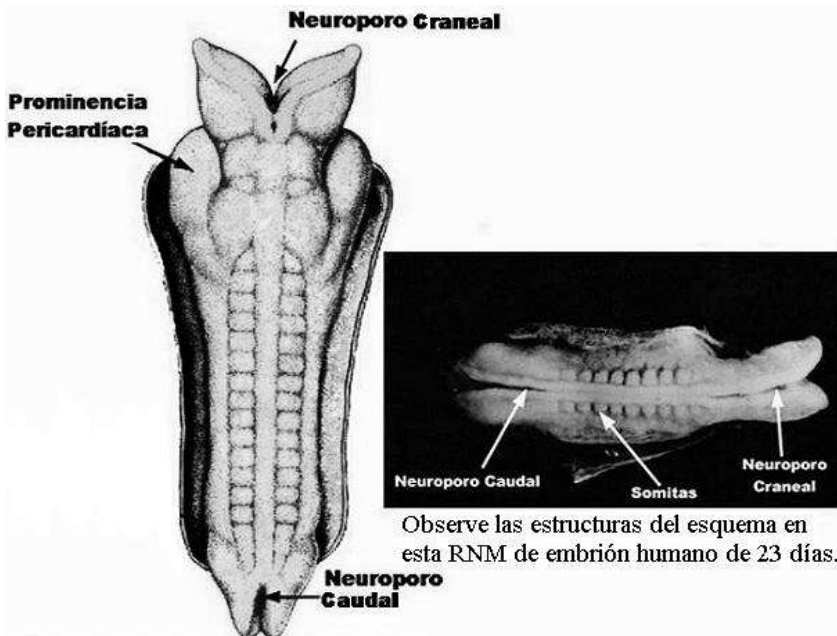
Vista Dorsal de Embrión Humano de 18 días.



Identifique las estructuras del esquema en esta RNM de embrión humano de 18 días.

y se forman los **pliegues neurales**. En la región media, entre los pliegues neurales, se forma el **surco neural**. Hacia el final de la tercera semana, los pliegues neurales se elevan y se acercan, fusionándose en la línea media dorsal formando finalmente el **tubo neural**. Durante el proceso de cierre del tubo neural, la fusión de los pliegues

neurales no es simultánea a lo largo de estos. Comienza en la región cervical del embrión y luego sigue hacia la región cefálica y caudal. Debido a esta fusión no simultánea de los pliegues, el tubo permanece temporalmente abierto a la cavidad amniótica en los denominados *neuroporos* anterior o cefálico, y posterior o caudal. El neuroporo cefálico es el primero en cerrarse a los 25 días de gestación, mientras que el neuroporo caudal se



Observe las estructuras del esquema en esta RNM de embrión humano de 23 días.

Vista Dorsal de un Embrión Humano de 23 días.

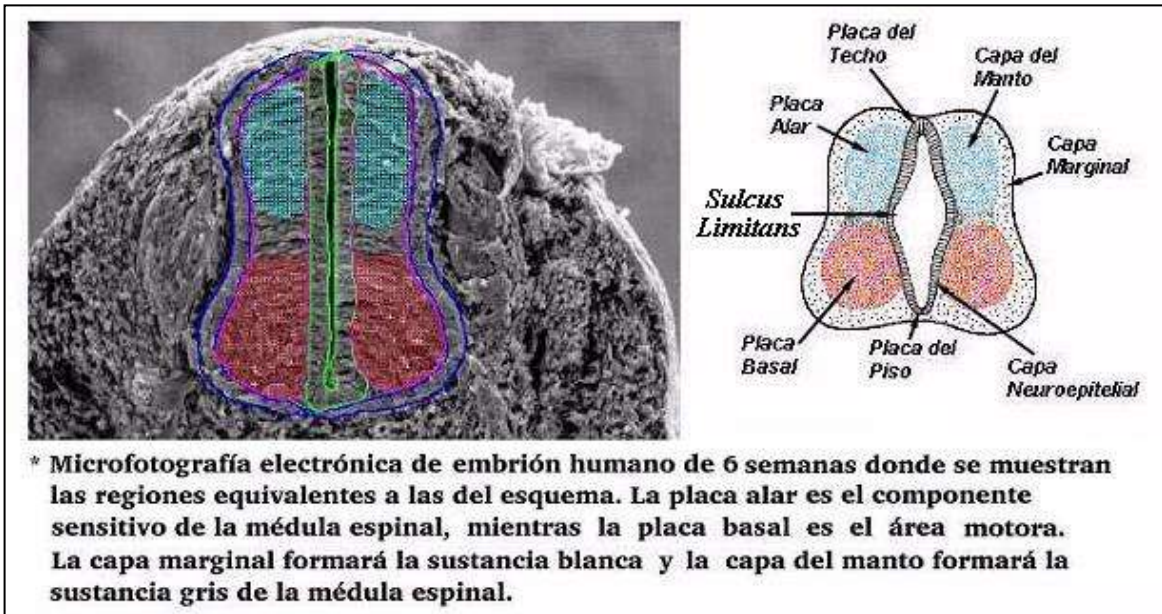
cierra dos días más tarde. Un defecto en el cierre de los neuroporos puede producir alteraciones graves en el desarrollo del sistema nervioso central (p.ej. anencefalia o mielosquisis). Por medio de unos complejos procesos de diferenciación celular y estructural, el tubo neural será el que se convertirá en encéfalo y médula espinal.

Cuando los pliegues neurales se acercan a la línea media dorsal para fusionarse, un grupo de células neuroectodérmicas cercanas al sitio de cierre del tubo pierden su afinidad con las células de la vecindad, y se separan y desplazan lateralmente para formar las **crestas neurales**. La migración de las células de las crestas neurales hacia el

mesodermo adyacente, transforman al neuroectodermo en una masa aplanada e irregular que rodea el tubo neural. Este grupo celular dará origen en gran parte al sistema nervioso periférico.

Mientras ocurre la fusión de los pliegues neurales, los bordes libres del ectodermo superficial se separan del tubo neural. Ambos bordes se unen y forman una capa continua en la superficie exterior que dará origen al epitelio epidérmico que recubre exteriormente el tubo neural.

Luego del cierre del tubo neural, en la capa neuroepitelial o matriz se produce una intensa proliferación celular. Se distinguen en este período la formación de la capa de manto que dará origen a la sustancia gris y la capa marginal a la sustancia blanca. Seguidamente, en la capa de manto se distingue la formación de una placa basal o ventral y de una placa alar o dorsal separadas por el surco limitante. Las neuronas que se originan en los

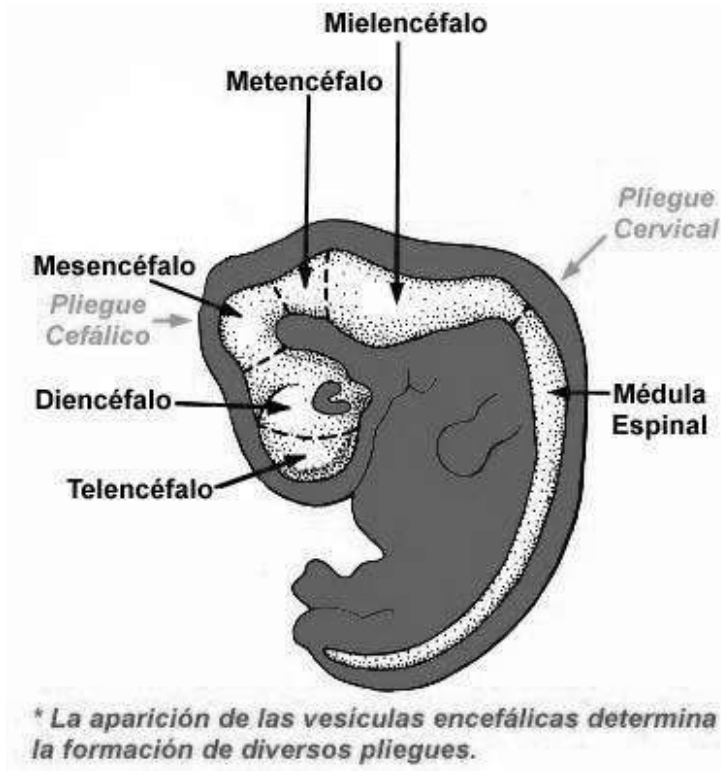


márgenes del surco limitante tendrán una función visceral, mientras que las de la placa alar serán somatosensitivas y las de la placa basal somatomotoras. Además de las neuronas, en el sistema nervioso se encuentran las células gliales o neuroglia. De estas, los astrocitos y las células de la oligodendroglia se originan del tubo neural, mientras que las células de Schwann y las células satélites se originan de las crestas neurales.

ENCÉFALO

Durante la cuarta semana, después del cierre de los neuroporos, el extremo cefálico del tubo neural se dilata considerablemente y aparecen las tres **vesículas encefálicas primarias**, a partir de las cuales se originará el encéfalo: 1. **Prosencéfalo** o cerebro anterior, 2. **Mesencéfalo** o cerebro medio, y 3. **Rombencéfalo** o cerebro posterior. Simultáneamente, se flexiona ventralmente formando el pliegue cefálico en el mesencéfalo y el pliegue cervical en la unión del rombencéfalo y médula espinal.

El extremo caudal del tubo se alarga y su diámetro se reduce para formar la médula espinal. La luz interior del extremo caudal del tubo neural se estrecha y pasa a formar el canal central del epéndimo de la médula espinal, que se continúa por arriba con las cavidades de las vesículas encefálicas para formar el sistema ventricular.



Durante la quinta semana, el prosencéfalo y el rombencéfalo se dividen en dos **vesículas secundarias** cada uno. Del prosencéfalo se origina el **telencéfalo** o cerebro terminal, que consta de una parte media y dos evaginaciones laterales, y el **diencéfalo**. Del rombencéfalo se formarán finalmente el **metencéfalo** y **mielencéfalo**. Al principio, el encéfalo tiene su estructura básica muy similar a la médula espinal, sin embargo, con la aparición de las vesículas y los pliegues se producen variaciones considerables en la disposición de los diferentes elementos. En general, las placas alares y basales hasta el rombencéfalo y mesencéfalo se encuentran bien definidas.

PROSENCÉFALO

Telencéfalo

Es la vesícula encefálica más rostral. Consta de dos evaginaciones laterales. Sus cavidades (ventrículos laterales) comunican con el tercer ventrículo a través de los agujeros interventriculares (de Monro). Entre la quinta y doceava semana, de las evaginaciones laterales se originan los hemisferios cerebrales. Su expansión anterior forma los lóbulos frontales, la lateral superior los lóbulos parietales y finalmente, la posterior baja forma los lóbulos temporales y occipitales. La fusión de la región media de los hemisferios y el diencéfalo, permite el contacto entre los núcleos basales y el tálamo. Los tractos ascendentes y descendentes de la corteza cerebral, pasan lateralmente entre el tálamo y núcleos basales formando la cápsula interna. La región externa a los núcleos basales crece lentamente y queda oculta entre los lóbulos frontal, parietal y temporal, formándose así el lóbulo de la ínsula. Al final de la vida fetal, la superficie hemisférica crece tan rápido que se forman dobleces (circunvoluciones) separados por cisuras y surcos. Los surcos permiten un aumento considerable de la superficie cerebral y por ende, un aumento de la superficie cortical sin sobrepasar la capacidad del volumen del cráneo.

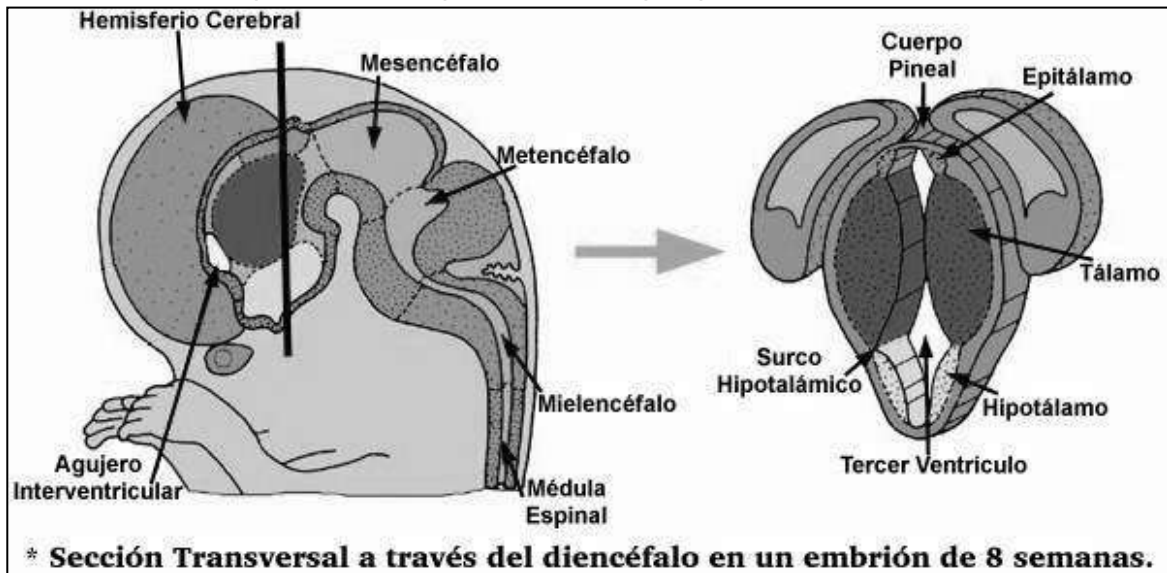
Corteza cerebral

Las neuronas que migran desde la zona intermedia hacia la zona marginal formarán la corteza cerebral. De esta manera, la sustancia gris queda ubicada superficialmente y los axones o fibras nerviosas se localizan en la profundidad del cerebro. La diferenciación

neuronal en diferentes capas, le da a la corteza cerebral un aspecto estratificado y origina zonas con una composición celular específica.

Diencefalo

El diencefalo se desarrolla en la región media del prosencéfalo y es la parte posterior de este, del cual se formarán el tálamo, hipotálamo, epitálamo y la retina del ojo. Además, dará origen al lóbulo posterior de la glándula hipófisis (neurohipófisis) que recibe fibras hipotalámicas. La glándula hipófisis también se forma totalmente del ectodermo embrionario. La cavidad del diencefalo es el tercer ventrículo. En las paredes laterales del tercer ventrículo aparecen tres prominencias que posteriormente formarán el tálamo,



hipotálamo y epitálamo. Una notable proliferación celular ocurrida en el tálamo hace que éste protruya hacia el tercer ventrículo, de modo que las estructuras talámicas derecha e izquierda se unen en la línea media formando una conexión llamada masa intermedia. El hipotálamo se diferencia en varios grupos nucleares que constituyen centros reguladores de variadas funciones del organismo (p.ej. alimentación, temperatura corporal, sueño, emociones, etc.).

MESENCÉFALO

El mesencéfalo originará la estructura anatómica del mismo nombre. Constituye la vesícula encefálica más primitiva que sufre menos modificaciones durante el desarrollo del sistema nervioso central, con un desarrollo muy parecido a la médula espinal. La cavidad del mesencéfalo se reduce considerablemente para formar un conducto estrecho llamado acueducto cerebral (de Silvio) que unirá al tercero con el cuarto ventrículo. La capa marginal de las placas basales se expande para formar los pedúnculos cerebrales, por donde descienden fibras desde la corteza cerebral a los centros motores inferiores del tronco encefálico y médula espinal. Una banda de sustancia gris adyacente al pedúnculo cerebral forma la sustancia negra (locus niger).

ROMBENCÉFALO

Metencéfalo

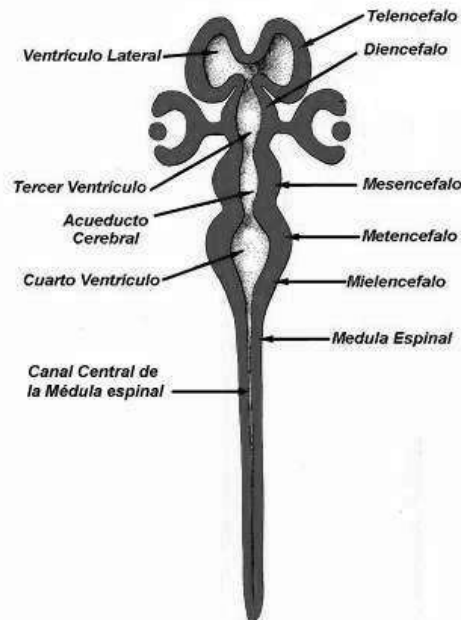
El metencéfalo dará origen a la protuberancia y el cerebelo. De la porción ventral se formará la protuberancia, mientras que la región dorsal formará el cerebelo. La cavidad del metencéfalo forma la parte superior del cuarto ventrículo, que se encuentra entre la protuberancia como su pared anterior y el cerebelo posterior. La protuberancia forma una importante vía de comunicación entre la corteza cerebral, cerebelo y médula espinal, razón por la cual se le denomina también con el apelativo de puente. El cerebelo es un centro de coordinación de postura y movimientos. Las placas basales originan los núcleos motores de los nervios trigémino, abductor y facial (V, VI y VII pares craneales respectivamente). Las placas alares forman los núcleos sensitivos principales de los nervios trigémino y vestibulococlear (V y VIII pares craneales).

A las 12 semanas, en el cerebelo se observan una parte media (vermis) y dos laterales (hemisferios). Inicialmente, la matriz cerebelosa consta de las capas de manto y marginal. La corteza cerebelosa alcanza sus dimensiones definitivas después del nacimiento.

Mielencéfalo

Es la vesícula encefálica más caudal y se diferencia en el bulbo raquídeo (médula oblonga). Su estructura general es bastante parecida a la médula espinal. La cavidad del mielencéfalo, que es la parte inferior del cuarto ventrículo, a este nivel toma una forma romboide. Ventralmente, las fibras corticoespinales que descienden desde la corteza cerebral forman las denominadas pirámides. Las placas alares y basales están bien definidas. Las placas basales dan origen a los núcleos motores de los nervios glosofaríngeo, vago, espinal e hipogloso (IX, X, XI y XII pares craneales). Las placas alares originan los núcleos sensitivos de los nervios facial, vestibulococlear, glosofaríngeo y vago (VII, VIII, IX y X pares craneales).

El líquido cefalorraquídeo es producido por los plexos coroides de los ventrículos laterales, tercero y cuarto. Circula entre las cavidades del sistema ventricular y en el espacio subaracnoideo alrededor del encéfalo y médula espinal. El taponamiento del sistema ventricular o del espacio subaracnoideo origina enfermedades tales como la hidrocefalia. Las malformaciones congénitas del sistema nervioso central son muy frecuentes, cerca de 3 por cada mil nacidos vivos. Dentro de estas, una de las más comunes son los defectos del cierre del tubo neural (disrafias) que se manifiestan en alrededor del 80% de los casos de malformaciones. Las malformaciones del sistema nervioso central pueden ser provocadas por factores genéticos (como la trisomía 21 o Síndrome de Down) o por factores ambientales (como malnutrición,



* Diagrama que ilustra las vesículas encefálicas y las cavidades ventriculares asociadas a cada una de ellas.

enfermedades metabólicas, agentes infecciosos o farmacéuticos). En general, la mayoría de los defectos congénitos se debe a una combinación de ambos factores de riesgo. Las malformaciones no sólo afectan al sistema nervioso central sino que también pueden involucrar los tejidos circundantes (p.ej. huesos, músculos y tejido conectivo). Así como algunas malformaciones congénitas producen incapacidad funcional en algún grado, otras simplemente son incompatibles con la vida.

MÉDULA ESPINAL

Durante la quinta semana, las células neuroepiteliales proliferan y producen un aumento en la longitud y el diámetro del extremo caudal del tubo neural. Los axones de las neuronas de la capa de manto migran a la periferia y forman los fascículos nerviosos de la capa marginal. Al mielinizarse estas fibras nerviosas, la capa marginal toma un aspecto blanquecino y constituye la sustancia blanca de la médula espinal.

Cuando el embrión tiene 12 semanas, la médula espinal se extiende a lo largo de todo el conducto raquídeo. A partir de ese momento, las vértebras y cartílagos intervertebrales crecen más rápido que el tubo neural. Esto ocasiona que el extremo terminal de la médula se desplace a niveles más altos, por lo que en el recién nacido el extremo terminal de esta se encuentra a nivel de la tercera vértebra lumbar (L3). Debido a este desplazamiento, los nervios raquídeos tienen una dirección oblicua y casi vertical en los segmentos más caudales desde su origen en la médula espinal.

En el adulto, la médula espinal termina a nivel L2 (esta es una medida promedio, ya que el extremo medular puede estar tan alto como T12 o tan bajo como L3). Debajo de esta, una prolongación filiforme de la piamadre forma el filum terminale que se adhiere a la primera vértebra coccígea (Co1) y señala la línea de regresión de la médula espinal embrionaria. Las fibras nerviosas bajo el extremo terminal de la médula espinal forman la cola de caballo (cauda equina), cuya denominación se debe a su semejanza.

