

## LA INERVACIÓN SENSITIVA SEGMENTARIA DERMATOMAS, MIOTOMAS Y ESCLEROTOMAS

DR. JORGE GALLARDO N\*

### INTRODUCCIÓN

Hace un tiempo un residente de anestesia me preguntó acerca de la inervación segmentaria y su rol en la anestesia regional y con mucha seguridad le respondí lo que sabía y le mostré los mapas de inervación segmentaria que seguramente conocen muchos de mis colegas que practican la anestesia regional. Sin embargo él insistió y me dijo ¿Cómo llegaron a crear esos mapas? ¿Cómo determinaron que un hueso tenía la inervación que señalan los mapas? A esto se sumaron otras interrogantes que me sumieron en dudas y que me han hecho investigar acerca de los orígenes e historia de la determinación de la sensibilidad de las diferentes estructuras corporales humanas. Espero que esta revisión pueda ayudar a nuestro conocimiento en este tema tan relacionado con nuestra especialidad.

### CONSIDERACIONES GENERALES Y EMBRIOLOGÍA

Comúnmente los anestesiólogos regionalistas utilizamos los mapas de dermatomas, miotomas y esclerotomas para nuestra práctica

clínica, mapas que nos entregan información sobre la sensibilidad de diferentes áreas del cuerpo y así el conocimiento de los troncos nerviosos que es necesario bloquear para producir anestesia en una zona determinada<sup>1</sup>.

La organización anatómica del sistema nervioso periférico se explica por la división primitiva segmentaria o metamérica del cuerpo del embrión y por sus modificaciones durante el desarrollo. Se conoce como metámero cada uno de los segmentos que se repiten en ciertos grupos de animales, celomados de simetría bilateral. La metamerización se da de modo característico en los anélidos. En los artrópodos, cada metámero puede llevar al menos un par de apéndices (que pueden ser patas) como el ciempiés en que cada uno de los segmentos que lleva un par de patas es un metámero<sup>2</sup>.

En los vertebrados, la organización metamérica no se ve tan fácilmente porque a lo largo de la evolución del grupo ha habido múltiples modificaciones, fusiones, reducciones, etc. de dichos metámeros y se ha perdido la metamería externa (pero no la interna como evidencian los peces)<sup>3</sup>.

En la embriología de los vertebrados los somitos o segmentos primitivos de los textos antiguos son masas de mesodermo distribuidos a ambos lados del tubo neural y que finalmente llegan a ser piel (dermatomas), músculo esquelético (miotomas) y vértebras (esclerotomas)<sup>4</sup>. Todos se originan en el mesodermo para-axial. Un esclerotoma en embriología es parte de un

\* Médico Anestesiólogo. Instituto Traumatológico. Santiago de Chile.

somito, una estructura del desarrollo embrionario de los vertebrados. Los esclerotomas se diferencian finalmente en las vértebras y la mayor parte del cráneo. La mitad de caudal de un esclerotoma se fusiona con la mitad craneal del adyacente para formar cada vértebra<sup>5</sup>.

Cuando el tubo neural crece también lo hacen los somitos alrededor de él y los nervios espinales. Las células de los esclerotomas crecen alrededor de la parte de médula espinal del tubo neural y los nervios espinales son formados por excrescencias de la médula espinal a nivel de cada segmento espinal. El nervio está asociado con el miotoma y dermatoma de cada segmento y es transportado junto con ellos manteniendo así la asociación aun cuando las células del miotoma y dermatoma migren lejos de su sitio de origen<sup>5</sup>.

La distribución de las fibras sensitivas tiene una distribución segmentaria en el cuerpo lo que resulta de la preservación de los niveles sensitivos del sistema nervioso de la división embriológica primitiva en metámeros. Los segmentos espinales que entregan inervación sensitiva y motora a una división embrionaria constituyen un metámero<sup>6</sup>.

El sistema nervioso periférico en los vertebrados tiene, pues una distribución metamérica que se manifiesta en los segmentos medulares. Sin embargo el concepto de segmento espinal es también problemático ya que la médula espinal no es segmentada en el embrión y sólo el mesodermo paraxial a lo largo de la notocorda está físicamente segmentado, pero este esquema de organización sirve clínicamente por lo que se mantiene en uso<sup>2</sup>.

Se conoce como dermatoma la zona cutánea inervada por un segmento medular, o sea la zona de piel que entrega información sensitiva a una raíz, miotoma el grupo muscular inervado por un solo segmento espinal y esclerotoma la zona del esqueleto inervada por un segmento medular<sup>1</sup>. A cada metámero corresponde un segmento medular, un dermatoma, un miotoma y un esclerotoma. Las raíces ventrales también inervan los dermatomas y esclerotomas entregando fibras vasomotoras, sudomotoras y pilomotoras, pero la distribución de las fibras sensitivas aferentes y motoras eferentes nunca coinciden<sup>6</sup>.

La inervación de las vísceras también se distribuye segmentariamente pero su número es sólo un 10% de las fibras somáticas aferentes en las raíces dorsales y su menor número es compensado por un área más extensa de inervación

Las lesiones de las raíces producen síntomas en sus metámeros correspondientes (distribución radicular). Las lesiones de los nervios producen síntomas que siguen una distribución peculiar, no metamérica, abarcando trozos de distintos metámeros (distribución neural). Las lesiones de los plexos semejan lesiones combinadas de varios nervios periféricos (distribución plexal)<sup>1</sup>.

Cuando una raíz dorsal es lesionada y sufre inflamación, lo que puede suceder, por compresión o elongación en relación con el crecimiento de un tumor intraespinal o protrusión de un disco intervertebral, se produce dolor y otras alteraciones sensitivas en el territorio del dermatoma ya sea en su totalidad o en una parte pequeña de él.

#### DERMATOMAS

Cada uno de los nervios que salen de los plexos y de la médula espinal contiene fibras sensitivas y motoras de provienen de varios segmentos. Sin embargo en la distribución periférica de las fibras, el origen segmentario de éstas se mantiene y así las fibras sensitivas de un segmento espinal que corresponde a una raíz dorsal inerva una parte distinta de piel. Esta área de piel inervada por fibras sensitivas de un segmento espinal es llamada dermatoma<sup>7</sup>.

El desarrollo del sistema nervioso periférico producirá un dibujo de piel inervado por neuronas cutáneas de ciertos nervios vertebrales o craneales que son los dermatomas y representan regiones específicas de la recepción nerviosa de impulsos sensoriales.

Los dermatomas están ubicados en la región anterior y posterior del cuerpo y son consecutivos en el cuello y región del torso. Hay tantos dermatomas como segmentos espinales con la única excepción de C1 que no tiene distribución cutánea. Cada dermatoma representa un área contigua y diferenciada de piel. Debi-

do a que los dermatomas se traslapan cada punto de piel es inervado por fibras sensitivas de al menos dos raíces dorsales. Así la interrupción de una única raíz dorsal no se traduce en un déficit sensitivo claro. Sin embargo el examen cuidadoso muestra una estrecha zona central en el dermatoma donde la sensación de tacto esta disminuida y la de dolor abolida (analgesia)<sup>6</sup>.

En las extremidades, los dibujos de dermatomas, adyacentes se traslapan ligeramente y el orden de los dermatomas es notoriamente diferente en la cara anterior de la extremidad respecto de la parte posterior. El orden de los dermatomas aparentemente irregular en el brazo y en la pierna se debe a la velocidad irregular del crecimiento de los nervios en los botones embrionarios de los miembros.

El modelo no segmentario de los dermatomas en las extremidades publicado por Sherrington y Foerster se ha tratado de explicar con el concepto de desarrollo dermatómico propuesto inicialmente por Sherrington que sugiere que durante la vida embrionaria la parte espinal del embrión está dividida en metámeros y este ordenamiento metamérico pierde su uniformidad cuando ciertos grupos de metámeros migran en los botones embrionarios de las extremidades extendiéndose cada vez más distalmente con el crecimiento de la extremidad. Los dermatomas migrantes se agrupan en forma paralela al eje longitudinal de la futura extremidad excepto en su parte distal donde se ordenan en forma de semicírculo. De esta forma los dermatomas de los segmentos más altos (rostrales) se agrupan en el borde preaxial de la extremidad y los de los segmentos inferiores o caudales a lo largo del borde postaxial. Ambos grupos de segmentos se encuentran separados por las líneas axiales ventral y dorsal de la extremidad<sup>6</sup>. De esta manera se explica que el dermatoma C4 esté junto a l dermatoma T2 y el dermatoma L-2 esté vecino a S2.

El dibujo del dermatoma es de mucha trascendencia clínica especialmente cuando se desea anestesiar una zona especial del cuerpo. En áreas del cuerpo que son muy sensibles, es a veces necesario bloquear más de un dermatoma para producir el resultado deseado. Debido a que los dermatomas adyacentes se traslapan en

los brazos, las piernas, ingle y nalga, al menos tres nervios vertebrales deben ser bloqueados para conseguir una pérdida de la sensibilidad en estas regiones.

Anomalías en los dermatomas entregan pistas importantes sobre lesiones en la médula espinal o nervios vertebrales específicos. Si se estimula un dermatoma pero no se percibe ninguna sensación, se puede inferir que el nervio para ese dermatoma específico ha sido lesionado.

Si bien la palabra dermatoma se refiere a una correspondencia entre el sistema nervioso y la piel existe una ambigüedad que se manifiesta en cambios en los mapas de inervación según diferentes autores. Esto se debe a tres factores: 1) ¿qué función sensitiva de la piel se está determinando?, ya que distintas sensaciones cutáneas tienen distinta distribución; 2) ¿cuál es la estructura nerviosa investigada?, no siendo igual la distribución si se investiga la raíz dorsal, el nervio espinal o el segmento espinal y 3) la naturaleza de la correspondencia es decir si ésta es anatómica o fisiológica. A pesar de que generalmente se asume el dermatoma como una definición anatómica los mapas en uso han sido determinados por métodos fisiológicos<sup>7</sup>.

Los dermatomas normalmente son invisibles pero su presencia no puede ni debe ser ignorada. La erupción vesicular del herpes zoster, una infección viral de un nervio sensitivo segmentario, hace que el dermatoma lesionado se haga visible.

#### CÓMO HAN SIDO DETERMINADOS LOS DERMATOMAS

El método más antiguo para definir los dermatomas ha sido seguir la distribución de los nervios mediante la disección anatómica, pero seguir el curso de las fibras nerviosas desde su origen a través de los plexos no es nada fácil. Además la estructura frágil de los nervios sensitivos no permite seguir hasta su término las fibras sensitivas dolorosas que se han descrito como no disecables. Las fibras amielínicas acaban en terminaciones nerviosas finas, ramificadas libremente, desnudas y no encapsuladas que están concentradas en diferentes tejidos

pero presentan problemas para la investigación histológica, ya que son destruidas por los métodos de fijación con formalina, parafina caliente y otras preparaciones que se utilizan en los laboratorios de histopatología<sup>8</sup>.

Para la determinación de los dermatomas ha sido crucial el desarrollo del examen de la sensibilidad, como parte del examen neurológico, y el desarrollo de las neuro-ciencias. Aunque las respuestas sensitivas a los estímulos externos han sido conocidas por siglos, el desarrollo del examen neurológico no se inició sino hasta fines del siglo 19<sup>9</sup>. En 1838 Johannes Mueller (1808 a 1858) formuló la idea de una irritabilidad específica expresando que un mismo estímulo podía producir sensaciones diferentes si era aplicado a nervios con capacidades sensitivas diferentes<sup>10</sup>.

En 1890 la observación que la sensibilidad a la temperatura se alteraba frecuentemente en forma conjunta con el dolor hizo creer que ambas vías viajaban juntas hasta que en 1898 la distinción entre dos vías sensitivas fue claramente establecida cuando van Gehuchten reportó un caso de siringomielia y sugirió que las fibras de dolor y temperatura viajaban anterolateralmente y las fibras del sentido de posición lo hacían en la parte posterior de la médula espinal<sup>10</sup>.

Es difícil señalar en el siglo 19 quien fue el primero en emplear el uso de los movimientos articulares para el examen de la sensación propioceptiva, sin embargo Bell en 1826 ya hablaba de un sexto sentido que en el fondo no era nada más que la función propioceptiva. Aunque el sentido vibratorio había sido descrito por Cardano en el siglo 16, y se habían realizado exámenes en el siglo 19 por Rinne y Rumpf, no fue hasta 1903 que Rydel encontró que el sentido vibratorio y la propiocepción estaban muy relacionados y que ambos sentidos viajaban por las columnas posteriores de la médula espinal<sup>10</sup>.

En 1955 el examen de la sensibilidad incluía tacto leve, dolor superficial, temperatura, sentido de posición, vibración, dolor profundo (músculo) y discriminación entre dos puntos lo que se mantiene como examen básico actualmente<sup>11</sup>.

### *Desarrollo de los mapas de los dermatomas*

El desarrollo de la investigación de los dermatomas parte con el desarrollo de la neurología y los métodos para el examen neurológico especialmente el examen de la sensibilidad. La historia de los dermatomas se confunde pues con la historia de la Neurología y analizaremos algunas de las más importantes personalidades en este tema.

Charles-Edouard Brown-Séquard, (1817-1894), médico y fisiólogo francés. Nació en Port Louis, Isla Mauricio, de ascendencia norteamericana y francesa; estudió en París y ejerció la medicina en Estados Unidos, Gran Bretaña y Francia siendo conocido por sus intentos de prolongar la vida con ayuda de extractos glandulares. Desde 1863 hasta 1868 enseñó fisiología en la Universidad de Harvard. En 1878 fue nombrado jefe del departamento de fisiología experimental del Collège de France en París, cargo que conservó hasta su muerte. Fue el primero en describir un síndrome sensitivo que resultaba de la hemisección de la médula espinal producto de sus observaciones de asesinatos en París que atacaban a sus víctimas con estiletes que penetraban el canal espinal. El encontró disociación de las sensaciones con disminución del dolor y temperatura contralateral a la lesión y pérdida de la sensación de vibración y del sentido de posición ipsilateral a la lesión<sup>7,10,12</sup>.

Jean Martin Charcot (1825-1893) neurólogo francés, es considerado el padre de la neurología clínica. Nacido en París, era el mayor de cuatro hijos. Estudió en la universidad de París siendo nombrado médico en Salpêtrière en 1862. En 1873 ingresa en la *Academia Francesa de Medicina* y en 1882 se inaugura la primera cátedra de neurología del mundo, expresamente para él, creando una escuela de neurología en Salpêtrière, donde pronto comienza a impartir clases. En 1885 tuvo de discípulo a Sigmund Freud durante 5 meses<sup>13</sup>.

Localizó muchos de los centros motores de la corteza cerebral y fue el primero en describir la esclerosis lateral amiotrófica, pero también hizo importantes contribuciones en el examen de la sensibilidad, demostrando sus técnicas en sus lecciones. El examinó la sensación su-

perforial de dolor mediante pellizcos, pinchazos y estimulación eléctrica de la piel e inventó un dispositivo que a través de un termómetro caliente servía para la percepción de la temperatura. Mediante movimientos de torsión y extensión de las extremidades examinó las sensaciones de posición y la propiocepción). Jean-Martin Charcot padecía una insuficiencia coronaria severa de carácter crónico y murió de un infarto del miocardio<sup>7,10,11,14</sup>.

Silas Weir Mitchell (1829-1914) médico y escritor norteamericano. Hijo de médico nació en Filadelfia. Estudió en la Universidad de Pennsylvania y se recibió de médico en 1850. Durante la Guerra de Secesión en USA trabajó en el hospital Turners Lane en Filadelfia, donde trató muchos pacientes con graves lesiones de nervios periféricos llegando a ser un especialista en neurología. De sus observaciones dedujo que las fibras nerviosas y sensitivas se mantenían agrupadas en fascículos en el nervio espinal lo que constituye hoy un elemento esencial en el diagnóstico clínico y electromiográfico. En 1872 publicó el libro "Injuries of nerves and their consequences". Contribuyó con estudios sobre causalgia y distrofia, neuralgia traumática, dolor en amputaciones y miembro fantasma. Investigó sobre la fisiología del cerebelo y la distribución cutánea de los nervios, describiendo el reflejo cremasteriano. Dedujo el traslape de los territorios cutáneos inervados por los distintos nervios y esbozó un esquema de distribución nerviosa<sup>7</sup>.

Thomas Kocher (1841-1917), nació en Berna y estudió medicina en Suiza. Posteriormente viajó a Alemania donde conoció al cirujano Theodor Billroth y al patólogo Rudolph Virchow. Trabajó siempre en Suiza y realizó grandes aportes en la cirugía general en antisepsia y hemostasia (creó la pinza Kocher) y en cirugía de la tiroides. También hizo aportes en neurología. El fue uno de los primeros, antes de Henry Head, en crear un mapa completo de los dermatomas humanos. En 1909 fue galardonado con el premio Nobel de Medicina<sup>15</sup>.

Charles Sherrington (1857-1952), fisiólogo británico. Fue galardonado en 1932 con el Premio Nobel de Fisiología y Medicina por sus aportes trascendentales para la comprensión de las funciones del sistema nervioso central. Na-

ció en Londres y obtuvo el título de médico en la Universidad de Cambridge en 1885. También estudió bajo la tutela de los científicos alemanes Rudolf Virchow y Roberto Koch. A partir de sus estudios sobre los sistemas nerviosos y los reflejos de los mamíferos superiores, demostró que la estimulación de un grupo de músculos produce la inhibición simultánea del grupo de músculos antagonistas lo que expresó de la siguiente forma: *Cuando un músculo recibe un impulso nervioso para contraerse, su antagonista recibe simultáneamente otro para relajarse (inervación recíproca)*<sup>7,10</sup>.

Sherrington creó mapas de dermatomas del sistema nervioso periférico utilizando monos. En la última década del siglo 19, el estudió los dermatomas inervados por el ganglio de la raíz dorsal y cortó las raíces dorsales de monos sobre y bajo una raíz específica demostrando áreas de sensibilidad remanente que correspondían a la raíz intacta. La anestesia local de una o varias raíces dorsales a cada lado de una que es dejada intacta es lo que se conoce como método de sensibilidad remanente. Encontró territorios más pequeños para dolor y temperatura que para tacto. Su estudio está reflejado en la llamada ley de Sherrington que dice: *Cada raíz nerviosa raquídea posterior inerva una región especial de la piel, aunque esta región puede verse invadida por fibras de los segmentos raquídeos adyacentes*<sup>7,10</sup>. Se puede afirmar que Sherrington en 1890 entregó a la comunidad científica el primer mapa de dermatomas.

Existen ciertas enfermedades que afectan a una raíz dorsal y producen cambios restringidos al dermatoma inervado por esa raíz como el herpes zoster, infección viral del ganglio espinal que provoca erupciones vesiculares en la piel del dermatoma específico. La observación de los pacientes con herpes zoster permitió a Sir Henry Head (1861-1940) confeccionar un mapa de los dermatomas humanos.

Henry Head fue un neurólogo británico. Nació en Londres y estudió en Cambridge y Praga. En 1890 inició sus investigaciones sobre la transmisión de las sensaciones por los nervios. Gracias a sus estudios sobre el herpes zoster, que dieron como resultado el esclarecimiento de su etiología, llegó a determinar las áreas sensitivas de los distintos territorios del sistema

nervioso periférico. También llevó a cabo importantes trabajos sobre la distribución de los dolores referidos en las enfermedades viscerales, así como sobre los trastornos sensitivos en las lesiones cerebrales. Dirigió la revista *Brain* durante varios años y escribió *Studies in Neurology* en 1919. Frustrado por los informes insuficientes de los pacientes con pérdidas sensitivas el lesionó su propio nervio radial seccionando su rama superficial y documentó acuciosamente el retorno de la sensibilidad<sup>7,10,16</sup>.

Antes que él confeccionara sus dibujos los dermatomas eran señalados simplemente como puntos de dolor. A través de la investigación en sus pacientes y registrando sus erupciones fue capaz de construir un minucioso dibujo de todos los dermatomas en el sistema nervioso periférico, deduciendo de forma correcta que cada erupción estaba confinada a una sola raíz espinal<sup>10</sup>. Sus datos preliminares fueron publicados en 1893 con observaciones adicionales en 1900.

Así usando el herpes zoster como modelo, Head fue capaz de determinar los dermatomas y efectuar la correlación con las raíces espinales específicas. Head además definió tres sensibilidades distintas en el sistema nervioso periférico, una sensibilidad profunda relacionada con los músculos y articulaciones, una protopática para estímulos dolorosos cutáneos y frío y calor extremos, y una sensibilidad epicrítica que permitía discriminar entre dos puntos y reconocer pequeños cambios de temperatura<sup>10</sup>.

Otfrid Foerster (1873 a 1941) neurocirujano alemán, a través de 30 años de investigación en dermatomas humanos, demostró la sobreposición de la distribución nerviosa. La implicancia de los reflejos espinales en la génesis de la espasticidad muscular lo llevó a sugerir que era posible el tratamiento quirúrgico interrumpiendo la rama sensitiva de los nervios torácicos y lumbares y de esta forma Foerster desarrolló en 1908 una operación para cortar la raíz posterior (rizotomía) para aliviar la espasticidad y el dolor intratable. Así Foerster examinó la sensibilidad residual en sus pacientes utilizando la estimulación eléctrica del extremo periférico de la raíz posterior durante las intervenciones en que las raíces dorsales eran cortadas para quitar el dolor.

Para determinar algunos dermatomas cervicales y torácicos él usó el llamado método constructivo que consistía en determinar las áreas de innervación y de anestesia de las raíces que eran seccionadas y de esta manera el borde superior de la zona anestesiada representaba el borde inferior del dermatoma innervado por la raíz intacta inmediatamente superior. Además usó el método de la respuesta antidrómica en la cual determinaba la vasodilatación que seguía a la sección de la raíz dorsal determinando el área en que esta ocurría<sup>6</sup>.

Publicó mapas que no mostraban la parte posterior de las extremidades inferiores debido a la posición quirúrgica e informó que no sólo existía un gran traslape entre los dermatomas contiguos sino también variaciones individuales importantes. También Foerster sugirió el concepto de compuertas de dolor postulando que en una experiencia dolorosa las grandes fibras podrían inhibir las fibras pequeñas. Además demostró que la resección de una única raíz en el humano no era seguida jamás de pérdida de sensibilidad lo que también había demostrado Sherrington en monos<sup>7,10,17,18</sup>.

Los mapas de dermatomas de Head en las extremidades inferiores son similares a los reportados por Foerster pero existen diferencias importantes entre los modelos de distribución de dermatomas de Head y Foerster en las extremidades superiores.

La estimulación eléctrica de las raíces dorsales (Foerster) y la comparación de observaciones intraoperatorias de hernias discales protruidas versus la información proporcionada previamente por el paciente respecto de la situación geográfica del dolor y pérdida de sensibilidad también ayudaron en la localización de los dermatomas. William Thorburn un cirujano inglés reportó modelos de alteraciones sensitivas en pacientes con lesiones de la médula espinal y esto lo llevó a publicar los primeros mapas detallados de dermatomas lumbares y sacros, lo que fue corroborado por el Dr. Allen Starr de Nueva York que construyó mapas similares a los de Thorburn<sup>7</sup>.

Los primeros informes de hernias discales con sus secuelas de dolor de espalda y de las piernas aparecen en 1934. Keegan y Garret en 1943 comentan que la herniación del disco pro-

duce compresión de una raíz nerviosa lo que se traduce en sensibilidad disminuida. Esto parecía contradecir los trabajos de Sherrington y Foerster pero se ha determinado que los resultados de la sección de la raíz posterior no son iguales a la compresión de ella. Keegan y Garret también construyeron mapas de dermatomas para las extremidades inferiores<sup>7</sup>.

Keegan usó varias técnicas para la determinación de dermatomas: la primera es el dibujo detallado, a través de un examen e interrogación cuidadoso del paciente, del área de dolor y alteraciones sensitivas asociadas a la compresión de una única raíz nerviosa por hernia del disco intervertebral. El diagnóstico de compresión de una raíz única entonces fue corroborado por la cirugía. Por otra parte estudió en diez voluntarios, la anestesia provocada por la inyección paravertebral de procaína en nervios cervicales individuales llevada a cabo bajo control radiográfico<sup>6</sup>.

Derek Ernest Denny Brown y colaboradores publicaron estudios experimentales en monos en 1968, que modificaron la visión de los dermatomas que hasta entonces se veían como estructuras anatómicas y estáticas. Encontraron en los monos, que los dermatomas correspondientes al ganglio de la raíz dorsal eran diferentes a los correspondientes solamente a la raíz dorsal, que los dermatomas podían cambiar de tamaño únicamente por cambios fisiológicos sin cambios anatómicos, y que lesiones menores de la médula espinal aún caudales al nivel de la raíz podían alterar el tamaño del dermatoma<sup>19,20</sup>. Denny Brown demostró que el territorio anatómico de un nervio determinado podía ser alterado utilizando solamente manipulación fisiológica. Esto es una nueva visión que aún no es asimilada totalmente por la neurología moderna<sup>7</sup>.

Las diferencias del dibujo dermatómico sugiere que no son simples dibujos sensitivos resultantes de la distribución anatómica de los axones sensitivos de cada raíz dorsal sino que la interacción de las fibras sensitivas aferentes primarias de varios segmentos con neuronas cuyos axones se encuentran en el tracto de Lissauer determinan probablemente no sólo el tamaño del dermatoma sino también a calidad de la sensación<sup>6</sup>.

Luego de esta publicación se han realizado sólo estudios menores que no han significado mayores aportes en la neuro-modulación. Permanece sin clarificar el por qué estos modelos representan la inervación anatómica máxima de un nervio espinal y en que medida los ganglios espinales sensitivos adyacentes contribuyen a su extensión.

Bonica hizo observaciones sobre los mapas de dermatomas estudiando pacientes que se sometían a bloqueo paravertebrales identificando el nervio por la distribución de la parestesia obtenida, por control radiográfico de la ubicación de la aguja e inyección de medio de contraste (2 ml) con control radiográfico posterior. Entonces inyectó un pequeño volumen de anestésico local (2 ml) para evitar la difusión a otros segmentos y registró el área de anestesia obtenida. A lo largo de 40 años el usó esta técnica experimental evaluando más de 400 pacientes y elaboró mapas de dermatomas con ligeras variaciones respecto de lo ya publicado<sup>6</sup>.

Nuevos métodos para la investigación de los dermatomas incluyen la termografía. Esta es un medio seguro y eficaz para la evaluación de la inestabilidad vasomotora debido a la irritación o lesión de las raíces vertebrales, nervios o fibras simpáticas. Es considerada una prueba adicional y no únicamente diagnóstica excepto en distrofia simpática refleja. Mientras uno no puede extender la utilidad de la técnica de termografía para demostrar los fenómenos principales de la percepción del dolor, es útil en detectar inestabilidad vasomotora asociada a síndromes de dolor complejos relacionados con la artritis, las lesiones de tejido blandas, síndrome lumbociático o distrofia simpática refleja y proveer datos objetivos para identificar la irritación en raíces lumbares, nervios periféricos, y daño para el sistema nervioso simpático.

Actualmente se trabaja en estudios con potenciales evocados para establecer mapas de dermatomas en animales.

La capacidad del sistema nervioso central de modular la actividad de las neuronas sensitivas primarias a través de mecanismos de supresión, facilitación y reorganización sugieren que los dermatomas no representan unidades anatómicas estáticas<sup>7</sup>.

Debe tenerse siempre presente que todos los mapas de dermatomas están compuestos de muchas observaciones individuales ya que en cada persona se determinan sólo unos pocos dermatomas.

### MIOTOMAS

Este término se refiere al grupo de fibras musculares inervadas por los axones motores de cada nervio segmentario o raíz. La mayoría de las raíces inerva más de un músculo y la mayoría de los músculos son inervados por más de una raíz.

En la embriología de los vertebrados los somitos o segmentos primitivos de los textos antiguos son masas de mesodermo distribuidos a ambos lados del tubo neural y que finalmente llegan a ser piel (dermatomas), músculo esquelético (miotomas) y vértebras (esclerotomas) Todos se originan en el mesodermo para-axial<sup>2,5</sup>.

La determinación de los miotomas ha sido más fácil que la de dermatomas y esclerotomas ya que la lesión nerviosa se traduce en una pérdida de la función del músculo afectando la movilidad lo que es bastante obvio en el examen neurológico.

### ESCLEROTOMAS

El *esclerotoma* es la zona del esqueleto inervada por un segmento medular es decir es el área de inervación sensitiva segmentaria del esqueleto definida por la irradiación del dolor referido.

La neuro-anatomía segmentaria del esqueleto es un principio olvidado del dolor óseo que merece ser re-estudiado. El tema ha sido descuidado por varias razones. Una de ellas es que el orden vertebral segmentario de inervación sensorial en general tiende a ser oscurecido o distorsionado por la embriogénesis de los botones de los miembros, por la sobreposición normal entre los segmentos, y por el reordenamiento complejo de las raíces de los nervios segmentarios en troncos nerviosos periféricos mixtos mezclados dentro de los plexos<sup>8</sup>.

Por otra parte está la frágil estructura de los nervios sensitivos que conducen la sensación de dolor, la mayoría de los cuales están formados por fibras no miélicas, las más pequeñas dentro de las fibras de los nervios sensitivos periféricos. La disección grosera de estas fibras nerviosas ha sido un fracaso para demostrar dónde entran en la superficie del hueso y los anatomistas las han descrito como no disecables<sup>8</sup>.

Las fibras amielínicas acaban en terminaciones nerviosas muy finas, ramificadas libremente, desnudas y no encapsuladas que están concentradas en el periostio, ligamentos, tendones, cápsula articular y otros tejidos y presentan problemas para la investigación histológica. En cualquier tejido, ellas tienden a ser destruidas por la fijación de formalina, parafina caliente y otras preparaciones que son rutinarias en los laboratorios de histopatología. Dentro del firme tejido del hueso, las delicadas fibras nerviosas y las terminaciones nerviosas son destruidas durante el proceso de descalcificación y sufren también rápidamente autólisis. Con microscopía de luz, se ven fragmentos de restos entre las células que pueden contener axones amielínicos, lo que es verificable con microscopía electrónica. El desarrollo de tinciones de plata para objetivar los axones permitió en 1930 a varios investigadores determinar una red extensa de fibras nerviosas en el interior del hueso<sup>8</sup>.

El ordenamiento segmentario sensitivo dentro de las estructuras esqueléticas fue señalado por el neurólogo francés Jules Déjerine, quien en 1906, describió por primera vez la inervación segmentaria de los huesos de la pelvis y las extremidades inferiores.

Jules (Joseph) Déjerine (1849-1917) fue un neurólogo francés que nació en Suiza en 1849. Su padre Jean Dejerine era cochero al igual que el de Charcot. Realizó sus estudios en Ginebra donde era muy conocido por su afición al boxeo y a la natación más que por su dedicación al estudio. En 1870 se decidió a estudiar medicina por su interés en la biología así como en la anatomía comparada<sup>22</sup>.

Durante la guerra franco prusiana trabajó como voluntario en el hospital de Ginebra y en 1871 se traslada a París para seguir sus estudios

clínicos y obtiene el doctorado en 1879 con una tesis sobre las lesiones del sistema nervioso en la parálisis ascendente aguda. En 1880 fue jefe de clínica en el Hospice de la Charité y en 1882 es nombrado médico de los hospitales. En esos años conoció a su futura esposa, la estudiante de medicina, Augusta Marie Klumpke, norteamericana, nacida en 1854 en San Francisco, la primera mujer que fue nombrada interna de hospitales en 1886, y con quien contrajo matrimonio en 1888. Fue médico jefe en Salpêtrière desde 1895 a 1897. Encargado del curso de patología interna en 1889, es nombrado Profesor de la cátedra de Historia de la Medicina en la Facultad de Medicina de París en 1901 y llega a ocupar la cátedra de Clínica de las enfermedades del sistema nervioso en Salpêtrière en 1910.

Realizó numerosos estudios sobre anatomía del sistema nervioso central y también sobre afasia, localizaciones encefálicas, neuritis y patología de la médula espinal (descripción de claudicación intermitente de origen medular en 1894 y con Gustave Roussy del síndrome talámico en 1906). Los Drs. Dejerine y Roussy en 1906 fueron los primeros en describir los síntomas de dolor central en pacientes que habían sufrido un accidente vascular lo que fue conocido como síndrome Dejerine Roussy.

Aunque la mayor parte de la obra de Déjerine se refiere a la neurología, también estuvo interesado en los desórdenes funcionales y como muchos eminentes neurólogos de su época se llegó a interesar en la psicología y en tratamientos de psicoterapia

Es autor de dos libros importantes en la historia de la neurología: la "Anatomie des centres nerveux" (1890-1901) en dos volúmenes (1895-1901)<sup>23</sup>, en colaboración con su esposa, obra notable por sus dibujos anatómicos y la "Sémiologie des affections du système nerveux" (1914), publicada en 1914, que fue considerada durante muchos años como una obra maestra<sup>24</sup>. Sus numerosas publicaciones cubren un período de 40 años. Las obras de Dejerine, y de otros neurólogos franceses supusieron la culminación de lo que se suele conocer como "neurología clásica".

Gran parte de los mapas de dermatomas y de esclerotomas que se publican hoy en día en nu-

merosos textos hacen referencia a Dejerine y fueron publicados en 1914<sup>24</sup>. (Déjerine J. Sémiologie du système nerveux. Paris: Masson, 1914).

El ordenamiento segmentario descrito por Dejerine, fue corroborado posteriormente por estudios clínicos y experimentales de dolor referido profundo por Foerster, y Kellgren. Kellgren dio una idea general de la distribución del dolor de ligamentos, la cual era diferente de los conocidos dermatomas. Descubrió que fascia, periostio y tendones daban origen a dolor de distribución segmentaria<sup>25</sup>.

Los mapas de inervación segmentaria de Dejerine, Foerster y Kellgren fueron verificados en 1944 por Inman y Saunders. Inman dibujó la irradiación de la sensación de dolor referido profundo desde los huesos, en pacientes con patología ósea focalizada y Saunders utilizando agujas pinchó periostio, ligamentos y tendones en voluntarios sanos y también dibujó la irradiación del dolor referido profundo desde las estructuras esqueléticas. Los resultados de ambos basados en sus estudios clínicos y experimentales coincidieron y confirmaron los mapas de autores previos<sup>26</sup>.

Las zonas de sensación de dolor referido profundo se correspondían con los segmentos nerviosos espinales y no estaban relacionadas con nervios periféricos, vasos sanguíneos o con los dermatomas de la piel. Los autores definieron el esclerotomo como una banda longitudinal de estructuras esqueléticas inervadas por un nervio espinal segmentario sensitivo, zona que se traslapaba y se extendía más allá de su dermatoma y miotoma segmentario<sup>26</sup>. Figura 1

Verne Thompson Inman fue un médico norteamericano (1905-1980) que nació en California y estudió en Berkeley donde llegó a ser instructor clínico en cirugía ortopédica y también en anatomía. Hizo grandes aportes en la biomecánica del hombro y de la marcha.

John Bertrand de Cusance Morant Saunders (1903-1991), nació en Sudáfrica, era hijo de un médico militar y estudió en primero en Sudáfrica y luego en Edimburgo. En 1931 llegó a la Universidad de California como profesor y luego decano de anatomía. Junto con Inman dirigieron el laboratorio de Biomecánica de Berkeley donde estudió la columna normal y

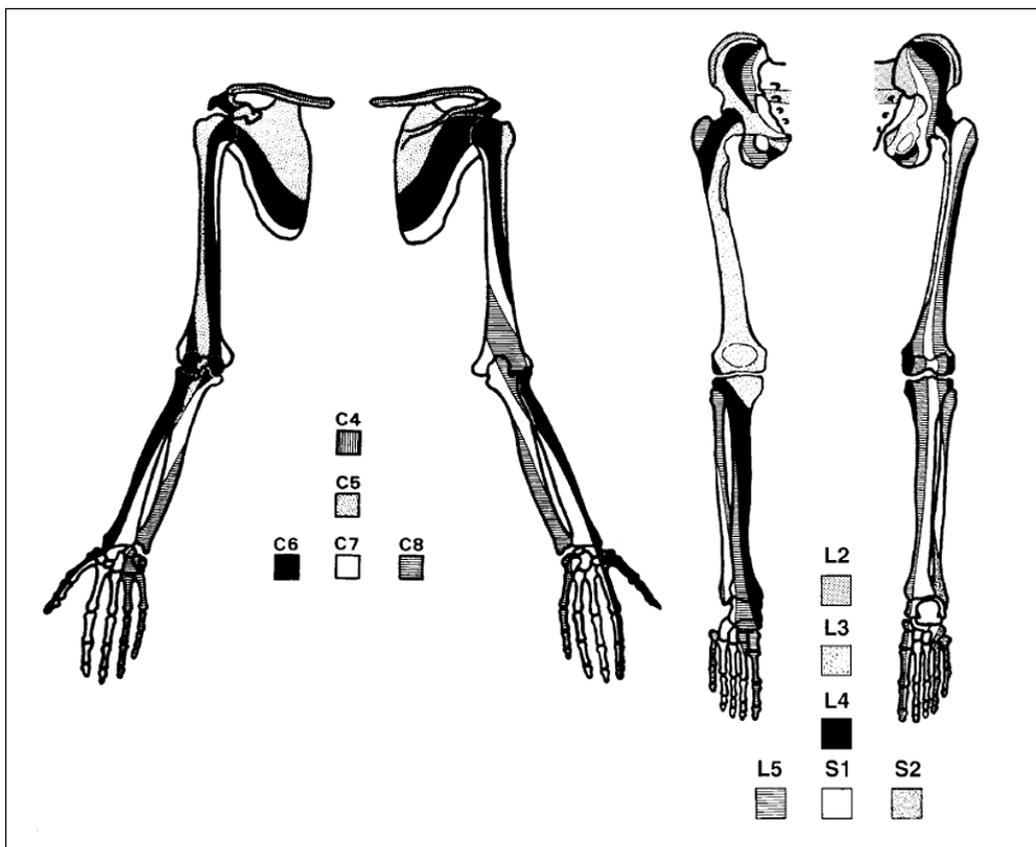


Figura 1. Esclerotomas de la extremidad superior e inferior determinados por Inman y Saunders Reproducidos de *J Nerv Ment Dis* 1944; 99: 660-7.

patológica, las lesiones nerviosas y la regeneración, la mecánica de las articulaciones y la marcha normal y patológica.

Feinstein en 1954 dio una idea general de la distribución para el dolor y el malestar cuándo existe irritación del ligamento ínterespinoso<sup>27</sup>. Varios segmentos vertebrales refirieron dolor a la pared anterior del pecho y también las articulaciones facetarias, pero no hay mayores estudios recientes de los mecanismos envueltos en la génesis del dolor.

Los esclerotomas son la contraparte de los dermatomas y miotomas. Cada esclerotoma parte en el neuroeje y se extiende hacia la periferia. Debido a su orientación longitudinal los esclerotomas cruzan articulaciones y subdividen los huesos incluyendo los huesos de la cintura escapular y pélvica cambiando los conceptos tradicionales de la anatomía clásica<sup>26,28</sup>.

Este concepto de esclerotoma fue aplicado en la clínica, pero no fue aceptado por los anatomistas clásicos quienes requirieron evidencias objetivas (y no sobre bases subjetivas de dolor referido) de la existencia de los esclerotomas<sup>28</sup>.

Por este motivo los mapas de esclerotomas no estaban disponibles libremente en 1961 cuando ocurrió la catástrofe de la talidomida y la ocurrencia de las deformidades por reducción longitudinal de las extremidades o dismelia. No fue hasta el desastre de la talidomida que los modelos subyacentes fueron reconocidos. El gran número de casos permitió el análisis de los modelos de dismelia y su correlación con los esclerotomas<sup>8</sup>.

La talidomida es ftalil-imido-glutarimida, una droga sintetizada en Alemania en 1953. La droga con efectos sedantes e hipnóticos fue desarrollada por el laboratorio alemán Grunenthal. Se vendió entre 1957 y 1961 en más de 50 paí-

ses. Principalmente prescrita a mujeres en el primer trimestre del embarazo como antiemético para las náuseas matinales. Entre 1956 a 1962 nacieron más de 10.000 niños con malformaciones graves del tipo dismelia incluyendo focomielia, (extremidades anormalmente cortas o ausentes) porque sus madres habían consumido talidomida durante el primer trimestre del embarazo. Otras malformaciones afectaron ojos, oídos y órganos internos.

La talidomida es una droga neurotóxica que daña los nervios sensitivos y produce una neuropatía en los adultos con degeneración axonal, comprobada por electro miografía, lo que produce anestesia y parestesia que puede durar varios años<sup>29,30</sup>. En los nervios periféricos de feto de conejo expuestos a talidomida se han encontrado alteraciones y cambios y la lesión neurotóxica de la cresta neural en el embrión podría interferir con la acción trófica sobre el desarrollo de la extremidad produciendo la falla en el crecimiento de las estructuras inervadas por los nervios lesionados<sup>31,32</sup>.

El modelo de dismelia fue definido por Henkel y Willert en 1969<sup>33</sup>. Los defectos eran longitudinales, no transversales. Ellos iban desde hipoplasia aislada periférica a una ausencia completa de la extremidad (amelia). La secuencia de la reducción longitudinal del esqueleto de la extremidad obedecía a ciertos principios: 1) algunos huesos como un todo o bien áreas definidas en un hueso eran más vulnerables que otras; 2) en cada extremidad las deficiencias ocurrían en un eje longitudinal de reducción, y 3) había una clara interdependencia entre la parte proximal y distal de la extremidad. En la dismelia inducida por talidomida las deficiencias eran características sobre el lado radial de la extremidad superior (pulgar, radio y húmero) y en el lado tibial en la extremidad inferior (tibia distal y fémur proximal)<sup>33</sup>.

Actualmente la talidomida se usa asociada a betametasona en el tratamiento del mieloma múltiple. Además reduce los niveles de factor de necrosis tumoral alfa por lo que su uso en otros cánceres como próstata, linfomas y glioblastomas está siendo investigado.

Mc Credie y Willert en un trabajo publicado en *Journal of Bone and Joint Surgery* en 1999 compararon radiografías de 378 extremidades

de pacientes con dismelia por talidomida, con los esclerotomas definidos por la radiación del dolor referido utilizando los mapas de esclerotomas de Inman y Saunders publicados en 1947. El déficit esquelético en cada extremidad fue comparado con el mapa de esclerotomas para determinar si las áreas perdidas coincidían con los esclerotomas<sup>28</sup>.

Los esclerotomas como los dermatomas son normalmente invisibles pero se pueden hacer visibles a través de alguna enfermedad de su inervación. Mc Credie ha sugerido el concepto de "sustracción de esclerotoma" para la interpretación radiológica de las deformidades reductivas de las extremidades. Por ejemplo una lesión del sexto nervio cervical en el embrión podría inhibir el crecimiento del sexto esclerotoma cervical con defectos en el pulgar, radio, húmero y escápula. Lo mismo sucede en la extremidad inferior donde la lesión del cuarto nervio lumbar reduce o sustrae el cuarto esclerotoma lumbar, respetando el pie pero con compromiso de la tibia, fémur y pelvis<sup>34</sup>. Algunos esclerotomas parecieron más vulnerables que otros pero en cada subgrupo de defectos hubo una alta correlación con la anatomía.

El modelo de dismelia se correlacionó absolutamente con los esclerotomas en un 75% de los casos. Hubo evidencia de sustracción de esclerotomas en el 25% restante pero la congruencia del modelo fue menos exacta. Así los principios de reducción esquelética en la dismelia pueden ser explicados claramente por la disposición de los esclerotomas<sup>28</sup>.

Ya que el modelo de dismelia coincide con los esclerotomas ambos se muestran como expresiones de la inervación sensitiva segmentaria del esqueleto. El efecto de la talidomida en el embrión reveló la existencia de los esclerotomas, de otra forma invisibles, e indica el compromiso del sistema nervioso sensitivo en la morfogénesis y teratogénesis.

La explicación de cómo la disfunción de nervios sensitivos puede alterar la morfogénesis parece depender del hecho que los nervios tienen una función trófica o estimulante del crecimiento que está separada de la función sensitiva lo que se ha comprobado en regeneración de extremidades en anfibios<sup>28</sup>.

Cabe preguntarse el por qué hubo de pasar casi 40 años después del desastre de la talidomida para establecer el rol de los esclerotomas en la dismelia y para eso existen dos explicaciones. La primera es que el concepto de esclerotoma y los mapas de esclerotomas no habían sido aceptados por los anatomistas y no habían sido incluidos en los textos. La segunda razón se deriva del error producido por la mala interpretación de un trabajo de Bardeen y Lewis en 1901 quienes no encontraron nervios en el botón embrionario de la extremidad, pero no negaron su existencia. Sin embargo se asumió que no había nervios en los botones embrionarios y por consiguiente que el sistema nervioso no tenía ninguna injerencia en la teratogénesis. El error se repitió por años hasta que trabajos publicados en 1978 y 1987 probaron la presencia de nervios en los botones embrionarios de la extremidad<sup>28</sup>.

En el estudio de Creddie y Willert<sup>28</sup> la congruencia entre dos bases de datos, independientes y separadas, muestra que ambas expresan la inervación sensitiva segmentaria subyacente del esqueleto y que el sistema nervioso sensitivo tiene una función neurotrófica determinante en la morfogénesis.

#### RESUMEN

Los mapas de dermatomas, miotomas y esclerotomas son usados por los neurólogos y por los anestesiólogos regionalistas en su práctica clínica habitual. La determinación de la sensibilidad de las diferentes estructuras del cuerpo humano se inició en el siglo 19, continúa hasta nuestros días y en general los nuevos métodos empleados para la determinación de la sensibilidad han corroborado las investigaciones de los primitivos autores.

Al analizar la historia de la confección de mapas de sensibilidad de piel, músculo y hueso encontramos a todas las grandes figuras de la Neurología involucradas de una u otra forma en la investigación de este tema fascinante y observamos como el ingenio, la investigación sistemática y también el análisis de enfermedades y malformaciones, que permiten objetivar dermatomas y esclerotomas de otra manera invis-

bles, han permitido avanzar cada vez más en la confección de estos mapas.

Debe tenerse presente que todos los mapas de dermatomas están compuestos de muchas observaciones individuales, ya que en cada persona se determinan sólo unos pocos dermatomas. Por esta razón todos los mapas que muestran dermatomas para todo el cuerpo deben ser vistos como aproximaciones que no toman en cuenta las variaciones individuales. Además a pesar de que generalmente se asume el dermatoma como una definición anatómica los mapas en uso han sido determinados por métodos fisiológicos. Todo lo anterior unido al hecho que se han usado métodos diferentes por cada investigador puede explicar las variaciones que se observan entre diferentes autores.

#### BIBLIOGRAFÍA

- Gallardo J. Manual de Anestesia Regional 1ª Ed Editorial Mediterráneo 2006.
- Lewis Wolpert. Principles of Development. Oxford University Press, 2006.
- Parker Sybil "Invertebrate Embriology" Mc Graw-Hill Encyclopedia of Science and Technology (Mc Graw Hill 1997).
- Scott F. Gilbert: Developmental Biology, 6ª Ed, Sunderland MA, Sinauer 2003.
- Walker, Warren F, Jr. (1987) Functional Anatomy of the Vertebrate San Francisco: Saunders College Publishing.
- Bonica J Bonica's Management of Pain, Loeser, John D. Editor 3rd Edition ©2001 Lippincott Williams & Wilkins Chapter 8.
- Greenberg SA: The History of Dermatome Mapping Arch Neurol. 2003; 60: 126-31.
- Mc Credie J. Forgotten Principles of Bone Pain. Osteologie 68-74 (1999) © Verlag Hans Huber AG, Bern.
- Haerer A. DeJong's, The Neurologic Examination. 5th ed. Philadelphia: Lippincott; 1992.
- Freeman C. Okun, M. Origins of the Sensory Examination in Neurology. Seminars in Neurology /Volume 22, Number 4. 2002.
- Elan D L. Guest Editor: The Neurological Examination (with an Emphasis on Its Historical Underpinnings, Seminars in Neurology /Volume 22, Number 4. 2002.
- Eduard Brown Sequard www.wikipewdia.es.
- "Jean Martin Charcot". Microsoft® Encarta® 2007 [Microsoft Corporation, 2006.
- Jean Martin Charcot en la \o "http://www.ch-charcot56.fr/histoire/biograph/charcot.htm" web del Centre Hospitalier Charcot: www.ch-charcot56.fr.
- Valko P, Mumenthaler M, Bassetti CL. History of neurological contributions in the Swiss Archives of Neurology

- and Psychiatry. *Schweiz Arch Neurol Psychiatr* 2006; 157: 62-76.
16. Denny-Brown D: Sir Henry Head, F.R.S. *Nature*, London, 1940, 146: 583-5.
  17. Tan TC, Black PM. The contributions of Otfried Foerster (1873-1941) to neurology and neurosurgery. *Neurosurgery*. 2001 Nov; 49(5): 1231-5.
  18. Tan TC. Otfried Foerster (1873-1941). *J Neurol*. 2003 Apr; 250(4): 513-4.
  19. Denny Brown D, Kirk E.: Hyperesthesia from spinal and root lesions *Trans Am Neurol Assoc* 1968, 93: 116-20.
  20. Kirk E Denny Brown D, Functional variation in dermatomes in the macaque monkeys following dorsal root lesions *J Comp Neurol* 1970, 139: 307-20.
  21. Denny Brown D, Kirk E, Yanagisawa N The tract of Lissauer in relation to sensory transmission in the dorsal horn of spinal cord in macaque monkey. *J Comp Neurol* 1973; 151: 175-200.
  22. Gauckler E. *Le Professeur J. Dejerine*. 1922, Paris, Masson.
  23. Dejerine J. *Anatomie des centres nerveux*, with Augusta Marie Dejerine-Klumpke. 2 volumes, Paris, 1895 and 1901.
  24. Dejerine J. *Sémiologie des affections du système nerveux*, with Augusta Marie Dejerine-Klumpke. Paris, 1914.
  25. Kellgren JH. On the distribution of pain arising from deep somatic structures with charts of segmental pain areas. *Clinical Science* 1939; 4: 35-46.
  26. Inman VT, Saunders JB. Referred pain from skeletal structures. *J Nerv. and Ment. Dis.* 1944; (99): 660-7.
  27. Feinstein B, Langton JNK, Jameson RM, Schiller F. Experiments on pain referred from deep somatic tissues. *Journal of Bone and Joint Surgery* 1954; 36[5]: 981-97.
  28. McCredie J, Willert HG: Longitudinal limb deficiencies and the sclerotomes. An analysis of 378 dysmelic malformations induced by thalidomide *J Bone Joint Surg [Br]* 1999; 81-B:9-.
  29. Lenz W. Thalidomide and congenital abnormalities (Letter). *Lancet* 1962; 1: 45.
  30. Fullerton PM, Kremer M. Neuropathy after thalidomide *Br Med J* 1961; 2: 855-8.
  31. Powell-Tuck GA. Neuropathy after thalidomide *Br Med J* 1961; 2: 1151.
  32. McCredie J, North K, de Iongh R. Thalidomide deformities and their nerve supply. *J Anat* 1984; 139: 397-410.
  33. Henkel L, Willert H-G. Dysmelia: a classification and a pattern of malformation in a group of congenital defects of the limbs. *J Bone Joint Surg [Br]* 1969; 51-B: 399-414.
  34. McCredie J. Sclerotome subtraction: a radiological interpretation of reduction deformities of the limbs. *Birth Defects: original article series* 1977; XIII, 3 D: 65-77.