

# Microvascularización del asta anterior de la médula espinal cervical. Estudio arteriográfico por perfusión, diafanización e histológico

## Microvascularization of the anterior horn of the cervical spinal cord. Study by arteriographic perfusion, diaphanization, and histology

C. GASCÓN SÁNCHEZ

*Centro de Investigaciones Biomédicas. Departamentos de Ciencias Morfológicas y de Anatomía Patológica. Facultad de Medicina. Hospital Universitario de Salamanca. Jefe de Equipo de T. y C. Ort. por Concurso-Oposición Nacional.*

**RESUMEN:** Microvascularización del territorio medular espinal cervical anterior, en perros adultos normales, con perfusión manual intracardiaca de sulfato de bario y colorante, aplicando las técnicas de Spalteholz, tricrómico de Martins e impregnación argéntica con técnica de Ramón y Cajal. El estudio revela que el sistema arterial de la médula espinal tiene unas características especiales en su topografía, número, calibre, densidad, estructura arterial, anastomosis y red capilar.

La angioarquitectura por epiiluminación muestra una densidad mayor en sustancia gris que en sustancia blanca. Se describe por diafanización cuatro vías de irrigación del asta anterior medular cervical procedentes de las arterias filamentosas, del sistema central con sus ramificaciones y del sistema periférico. La microvascularización intramedular en sustancia blanca es parafibrilar de malla muy fina, dando imagen de panal de abeja, y en sustancia gris es irregular, tortuosa, densa, de calibre mayor que se ramifica dando imagen de malla irregular. Las motoneuronas, axones y fibras nerviosas están rodeadas de una red capilar muy fina. La microangioarquitectura se adapta a la estructura que tiene el sistema nervioso en sustancia blanca y gris. Se revisan en discusión algunos puntos sobre técnicas diferentes de perfusión; lesiones medulares y sus efectos anatómo-patológicos sobre la microvascularización medular.

**PALABRAS CLAVE:** Espinal. Microvascularización. Cervical. Médula. Arterias. Perfusión. Diafanización.

### Histología.

**ABSTRACT:** The microvascularization of the anterior cervical spinal cord in normal adult dogs was studied by manual intracardiac perfusion of barium sulfate and colorant using the Spalteholz technique, Martins trichrome, and silver impregnation with the Ramon y Cajal technique. The study revealed that the arterial system of the spinal cord has special characteristics of topography, number, caliber, density, arterial structure, anastomoses, and the capillary network.

Angioarchitecture, as evidenced by epi-illumination, showed a greater density in the gray matter than in the white matter. Diaphanization revealed four routes of blood supply to the cervical anterior medullary horn by filamentous arteries, the central system and branches, and the peripheral system. Spinal cord microvascularization of the white substance is parafibrillary, with a fine network, producing a honeycomb image. The microvascularization of the gray matter is irregular, tortuous, dense, with larger caliber vessels, and branches that form an image of an irregular network. Motor neurons, axons, and nerve fibers are surrounded by a very fine capillary network. The microangioarchitecture adapts to the structure of the white and gray matter of the nervous system. The techniques of perfusion and spinal lesions and their anatomic and histological effect on microvascularization are discussed.

**KEY WORDS:** Spinal. Microvascularization. Cervical. Spinal cord. Arteries. Perfusion. Diaphanization. Histology.

### Correspondencia:

C. GASCÓN SÁNCHEZ  
c/ Gran Vía, 93-95 1ºE.  
37001 – Salamanca

Recibido: Octubre de 2000.

Aceptado: Marzo de 2001.

### Introducción

El papel que juega la vascularización de la médula espinal, que es el soporte nutritivo de las fibras nerviosas y motoneuronas, toma impulso a partir de

los trabajos de Duret,<sup>19</sup> Adamkiewicz,<sup>1</sup> Kadyi<sup>33</sup> y Tanon.<sup>57</sup> En la década de los cincuenta resurge nuevamente el interés del sistema arterial de la médula espinal, con matiz fisiopatológico y clínico, por Gillilan,<sup>25</sup> Corbin,<sup>10</sup> Facio<sup>21</sup> y Jillinger.<sup>32</sup> Posteriormente Lazorthes<sup>41</sup> realizó un estudio minucioso de la anatomía comparada de las arterias de la médula espinal, fisiopatológico y arteriografías con aplicación clínica,<sup>31</sup> así como otros trabajos encaminados al estudio de la microvascularización por Maillot.<sup>43</sup> Al aumentar la frecuencia de las lesiones medulares por accidentes motivó el incremento de la investigación anatomopatológica y cómo responde la médula a las lesiones.<sup>14,36,46,49</sup> Se han ensayado los más variados modelos de investigación<sup>12</sup> buscando la relación entre lesión medular y efecto anatomopatológico medular,<sup>15,20,47</sup> y estudios encaminados a la respuesta de la lesión de la médula espinal a distintos medicamentos; metilprednisolona,<sup>4</sup> dexametasona,<sup>45</sup> tiopental, naloxone e hipotermia, y otras terapias, sin olvidar los grandes adelantos conseguidos por las nuevas directrices con el tratamiento rehabilitador y/o la precoz intervención descompresora y la estabilizadora en casos específicos. La finalidad del trabajo es profundizar y analizar la microvascularización y la relación de ésta con el sistema nervioso, utilizando técnicas de perfusión, diafanización e histológicas en el asta anterior o motora de la región cervical.

### Material y Método

El modelo experimental fueron 5 perros adultos de ambos sexos, raza y peso variables, a los que se practicó anestesia profunda vía intravenosa (ketolar), seguido de toracotomía bilateral paraesternal y subdiafragmática. Rechazando el peto esternal cranealmente se realizó pericardiotomía, una vez localizado el vértice del ventrículo izquierdo se canula por punción intracardiaca con abbocath-T en dirección a la aorta ascendente, procediendo a la perfusión previamente preparada de suero fisiológico y formaldehído al 5%, con heparina entre 3000 ó 5000 u.i por 100 c.c., a presión manual continúa, temperatura 30 ó 36 °C, y cantidad variable, hasta que los vasos quedaron exangües, seccionando en el momento de comenzar la perfusión la orejuela de la aurícula derecha.

#### *Perfusión del contraste*

Se continuó la perfusión con una solución de sulfato de bario entre 30-40% en suero fisiológico y formaldehído al 10%, más un colorante rojo, seleccionando la eritrosina por tratarse de un estudio ar-

terial. Se perfunde hasta que se aprecia en las arterias intercostales una buena perfusión por el colorante y contraste. Finalizada la perfusión se extrae la columna vertebral cervical junto con la médula espinal, que se secciona en fragmentos.

#### *Descalcificación del material*

Se utilizó una solución de ácido nítrico al 8%, peso específico 1,38, con formaldehído al 12% en agua destilada, se realizan cambios de la solución aproximadamente cada 2 meses, durante un tiempo que oscila entre 6 a 8 meses, hasta que los fragmentos óseos de la columna vertebral se hacen blandos al corte. Posteriormente se lavan los fragmentos con agua corriente 48-72 horas.

#### *Extracción de la médula espinal*

Se extrae del conducto raquídeo y se identifican las zonas medulares cervicales. Los fragmentos medulares se seccionan, destinando uno para estudio según técnica de diafanización o de Spalteholz y otros para el protocolo histológico.

#### *Técnica de diafanización*

Las piezas de la médula espinal cervical fueron cortadas en distintos planos con hoja de afeitar, con ayuda de una lupa binocular, con un grosor que osciló entre 1 y 2 mm., y en cortes con microtono Leitz por congelación entre 100 y 400 micras. Se procedió a la deshidratación de los cortes en alcoholes de 70°, 2 días; 90°, 1 día y 100° de 2 a 5 días, según el grosor de los cortes, con cambio diario de alcoholes. Pasando a benceno puro 2 a 6 días, sustituyendo benceno cada 2 días; y a benceno 50% y benzoato de benzilo 50%, 2 días; por último al soluto de Spalteholz, mezcla 3/5 partes de benzoato de benzilo puro y salicilato de metilo puro, de 3 a 4 días. Se observaron los cortes en el interior del soluto en caja de Petri, con el soluto de Spalteholz recubriéndolos, utilizando mascarilla y guantes por la toxicidad del soluto. Examinados los cortes por epiiluminación y transparencia, fueron fotografiados con el dispositivo fotográfico Aristophot Leitz. Con la técnica de diafanización tenemos una visión de conjunto, la transparencia tiene la ventaja de que permite una superposición del sistema arterial en el corte perfundido, por reflexión o epiiluminación observamos el relleno del contraste arterial por ambas superficies, con cierto grado de profundidad.

#### *Estudio histológico*

Las piezas medulares fueron lavadas en agua co-

rriente 48 horas y deshidratadas en alcoholes de 70°, 90° y 100°, pasando a benceno durante 3 ó 5 minutos, según grosor, hasta que las piezas se hundieron, posteriormente en benzoato de metilo 4 ó 6 minutos. Incluidas las piezas en parafina I, 1 día; II, 2 horas y III, 1 hora, se realizaron bloques de parafina que solidificados fueron tallados, bloques cortados por planos con microtono Leitz entre 10 y 15 micras de grosor. Antes de pasar a las técnicas de coloración, se colocaron en estufa a 36°, 24 horas. Se tiñeron los cortes con las técnicas de tricrómico de Martins e impregnación argéntica técnica de Ramón y Cajal, observándolos y fotografiándolos con microscopía óptica, película Panatomic y diapositivas Agfachrome.

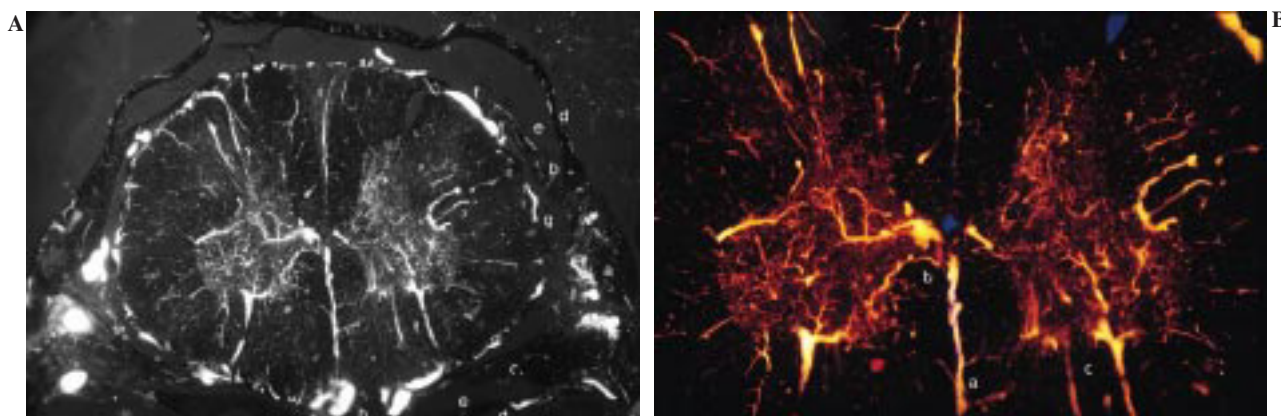
### Resultados

La perfusión arterial con contraste evidencia la angioarquitectura arterial y la red capilar de la médula espinal cervical. En visión panorámica por epiiluminación en corte horizontal se puede apreciar la vascularización arterial y red capilar que configuran la imagen de la médula espinal cervical, de sus raíces motoras y sensitivas a derecha e izquierda, de los ganglios raquídeos derecho e izquierdo y de la duramadre, y así como la existencia de un espacio subdural real avascular que corresponde al L.C.R. (Fig. 1A). En la médula espinal resulta notorio la diferenciación estructural arterial entre la sustancia gris y blanca y, en ésta última, la delimitación entre los cordones anteriores, laterales y posteriores por los surcos colaterales; separadas las hemimédulas por los surcos anterior y posterior, comisura blanca anterior y posterior y en el centro el agujero endimario. El examen de las piezas medulares perfundidas con

contraste con la técnica de Spalteholz y fotografiadas por epiiluminación se observa como se delimita a simple vista la diferencia arterial entre la estructura nerviosa gris y blanca, motivada la diferencia arterial por la peculiar disposición estructural del sistema nervioso en la sustancia blanca y gris. Esta diferenciación microangioarquitectural entre la sustancia gris y la sustancia blanca se debe a la concentración del sistema arterial en número, calibre y distribución en la médula espinal, con gran semejanza del sistema arterial entre las hemimédulas (Fig. 1A), delimitando el sistema arterial y red capilar las astas medulares posteriores y las astas medulares anteriores, siendo el flujo arterial para las astas medulares anteriores procedentes de distintos orígenes.

Por los filamentos nerviosos anteriores o motrices que salen por los surcos medulares colaterales anteriores con visión en forma de abanico, se desliza hacia la médula espinal un sistema arterial que se ramifica; dirigiéndose algunas arterias hacia el eje espinal anterior, de calibre grueso, donde se anastomosan con el eje arterial espinal anterior; otras arterias de menor calibre se dirigen hacia la superficie externa de la médula espinal para formar la red coronaria perimedular; y otras arterias y/o arteriolas *filamentosas anteriores* de calibre variable que penetran por los surcos colaterales anteriores, atraviesan la sustancia blanca hacia la cabeza de las astas medulares anteriores ramificándose (Fig. 1B), siendo estas últimas arterias astales anteriores. El número de arterias y/o arteriolas filamentosas es variable dependiendo del número de filamentos nerviosos, terminado su red capilar en la cabeza del asta medular anterior.

Del eje espinal arterial anterior, formado sólo por algunas arterias filamentosas anteriores, nace en sentido horizontal el sistema arterial surco-comisural ante-



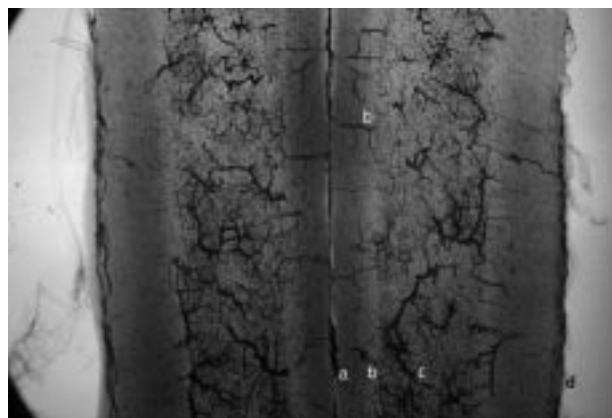
**Figura 1.** A. Arteriografía medular cervical, corte transversal, perro adulto perfundido con sulfato de bario y eritrosina. Imagen tomada por epiiluminación con Aristophot. a) Ganglio raquídeo, b) Raíz sensitiva. c) Raíz motora. d) Duramadre. e) Espacio subdural. f) Eje arterial postero-lateral. g) Círculo arterial perimedular. h) Eje arterial espinal anterior. ( $\times 300$ ). B. Aumento de la Figura 1.A. a) Arteria surco-comisural anterior. b) Arterias recurrentes. c) Arterias filamentosas anteriores. ( $\times 350$ ).



rior hacia la comisura blanca anterior (Fig. 1A) que en su trayecto por el surco medio anterior origina ramas colaterales cortas y ramas colaterales largas a la derecha e izquierda, penetrando en los cordones medulares anteriores, según imágenes por diafanización (Fig. 1B). Las ramas colaterales cortas se ramifican en los cordones medulares anteriores, formando una fina red capilar en la sustancia blanca de malla estrecha, y las ramas colaterales largas van dando ramas pequeñas para los cordones medulares anteriores, y otras ramas colaterales largas penetran por la superficie interna del asta medular anterior ramificándose en red capilar. El sistema arterial surco-comisural que llega a la comisura blanca anterior con calibre mediano se divide, en ramas recurrentes anteriores y posteriores, y ramas verticales ascendentes y descendentes (Figs. 1B y 2), arborizándose en la base del asta medular anterior, originando una red capilar muy densa, tortuosa e irregular, que se aprecia por diafanización, con abundancia de sistema arterial de calibre moderado en el seno del asta anterior en su base.

Se observa en las bases de las astas medulares anteriores el sistema arterial en sentido ascendente y descendente en el plano frontal con la técnica de Spalteholz y por transparencia (Fig. 2), con aspecto tortuoso, voluminoso, numeroso y con distribución irregular, terminando en fina red capilar.

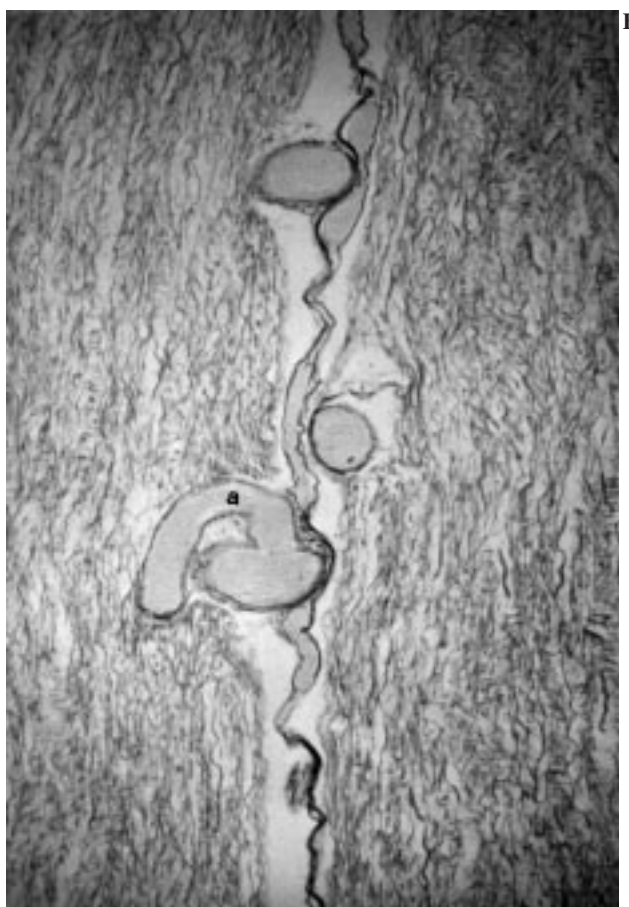
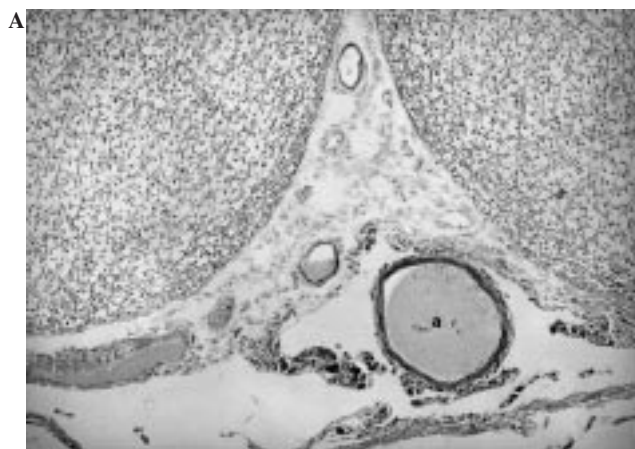
La médula espinal se encuentra rodeada de un circuito arterial anastomótico perimedular evidente (Fig. 1A), cuyas arterias tienen su origen en las arterias que acompañan a los filamentos nerviosos, y emiten a la sustancia blanca medular un sistema arterial radial centrípeto superficial y profundo, como se



**Figura 2.** Arteriografía de corte frontal medular cervical, perro adulto perfundido con sulfato de bario. Imagen tomada por transparencia. a) Arteria surco-comisural anterior. b) Ramas arteriales surco-comisurales, cordón anterior. c) Arterias del asta anterior. d) Círculo arterial perimedular, cordón lateral. (x 200).

observa en cortes horizontales por epiiluminación. El sistema arterial radial superficial se divide en la sustancia blanca formando un verdadero lecho capilar, perifibrilar, muy fino, y el sistema arterial radial profundo de mayor calibre emite finas arteriolas colate-

**Figura 3.** A. Corte histológico transversal medular cervical, a nivel del surco medio anterior, perro perfundido. Tricrómico de Martins, microscopía óptica. a) Eje arterial espinal anterior. (x 800). B. Corte histológico frontal medular cervical, a nivel del cordón anterior perfundido. Tricrómico de Martins. Microscopía óptica. a) Arterias colaterales surco-comisurales anteriores. (x 800).

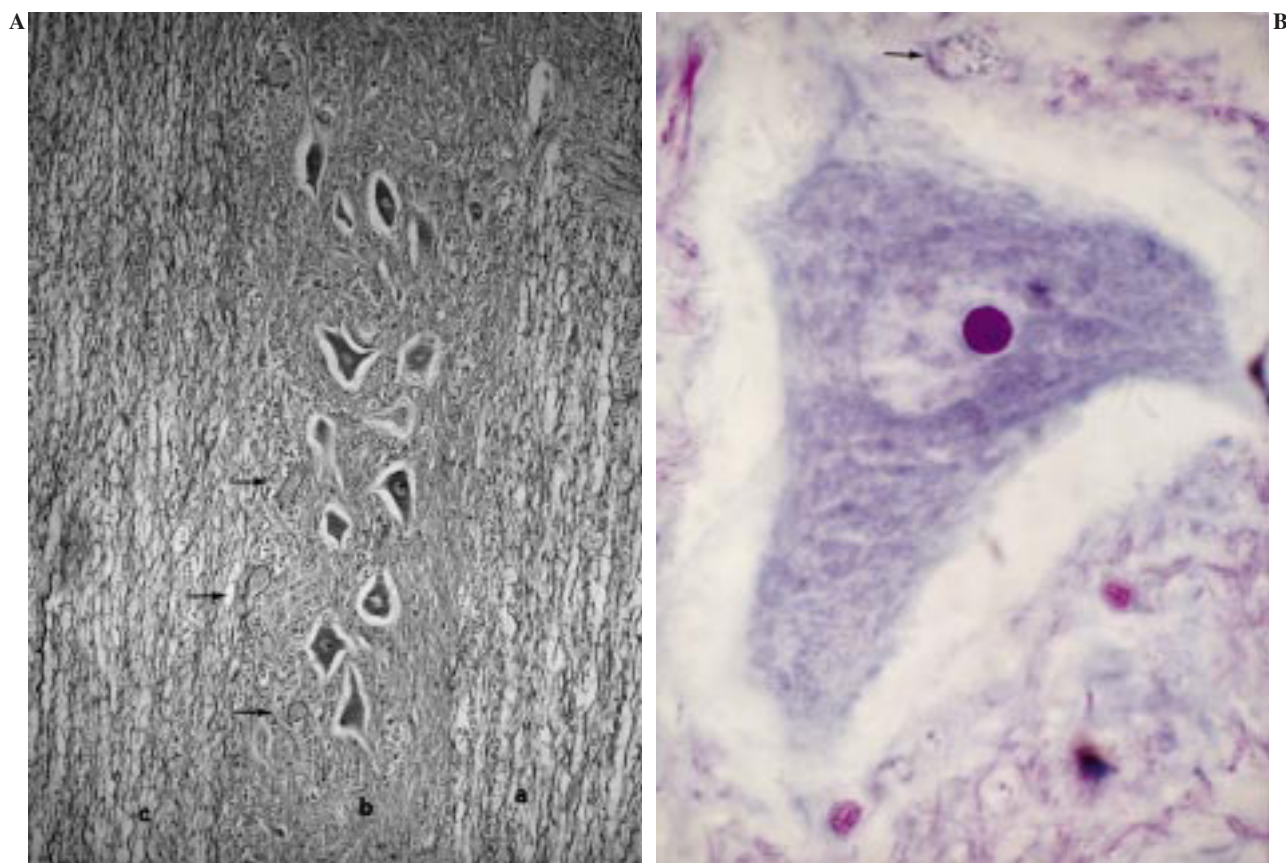


rales a la sustancia blanca, llegando a la superficie externa de la sustancia gris en toda su extensión, penetrando en el seno del asta medular anterior ramificándose y formando una red capilar (Fig. 1B).

La angioarquitectura de la superficie externa del asta anterior de la médula espinal en las imágenes por epiiluminación y transparencia muestran unos límites claros entre sustancia blanca y sustancia gris; se aprecia como el sistema arterial periférico que penetra en la sustancia gris se ramifica en una red capilar densa entremezclándose con la existente en la sustancia gris. No se atisba ningún sistema arterial o de arteriolas procedentes de la sustancia gris de las astas medulares anteriores que pase de la sustancia gris a la sustancia blanca (Figs. 1 y 2).

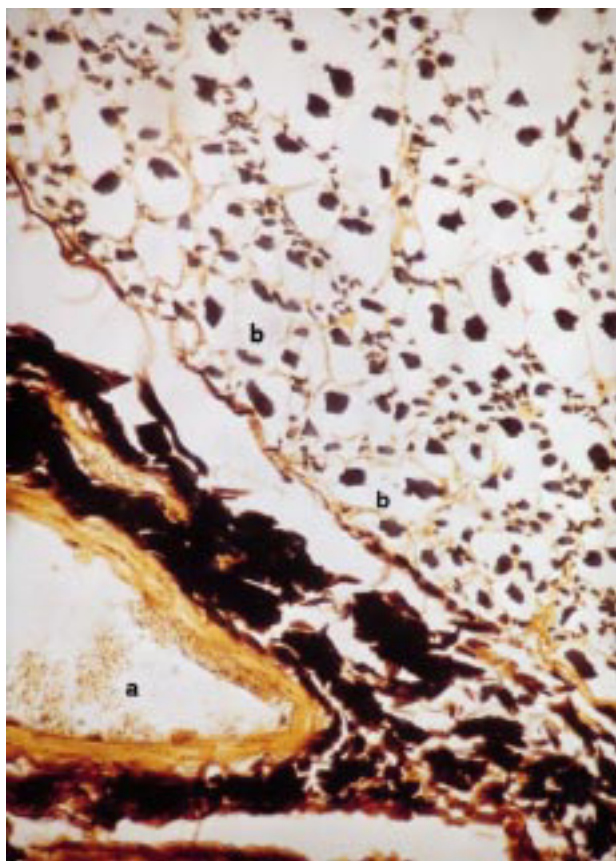
El estudio histológico con la técnica del Tricrómico de Martins a nivel del surco medio anterior de la médula espinal cervical, en corte horizontal, muestra el eje arterial espinal anterior relleno su luz de contraste, con una túnica media o muscular delgada (Fig. 3A), existiendo en sus proximidades un tejido plegado que corresponde al sistema venoso exangüe, así como pequeñas arterias con contraste

unas más internas con relación al surco medio anterior y otras más externas contorneando el cordón anterior. En corte frontal al nivel de la parte anterior del surco medio anterior se aprecia arterias surco-comisurales espaciadas y escalonadas rellenas de contraste (Fig. 3B), con túnica muscular muy fina; y un tejido conjuntivo a manera de vaina perivascular que discurre por el centro del surco medio anterior rodeando algunas arterias del surco medio anterior. Se observa en corte frontal a nivel del asta medular anterior con perfecta identificación (Fig. 4A), un conjunto de motoneuronas, con varios capilares difusos rellenos de contrastes cortados transversal y longitudinalmente con revestimiento endotelial, y próximo a una motoneurona a más aumento, un capilar con contraste (Fig. 4B). El espacio que se aprecia entre la motoneuronas y el tejido nervioso (Fig. 4B) se puede considerar como un espacio virtual, por retracción del tejido perineuronal al estar sometido el tejido a procesos químicos tecnológicos de la metodología que retraen el tejido perineuronal y/o motoneuronal. La motoneurona (Fig. 4B) presenta un nucleolo redondeado bien definido, muy pigmentado, con un



**Figura 4.** A. Corte histológico frontal a nivel de cabeza del asta anterior medular cervical, perro adulto perfundido. Tricrómico de Martins, microscopía óptica. (→) Arterias con contraste en asta anterior. a) Cordón anterior. b) Asta anterior con motoneuronas. c) Cordón lateral. (× 1.000). B. Perro adulto perfundido. Tricrómico de Martins. Motoneurona con organocitos. (→) capilar con contraste. (× 1.400).

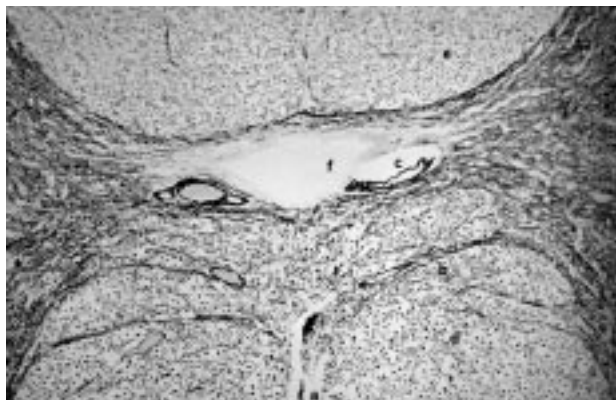




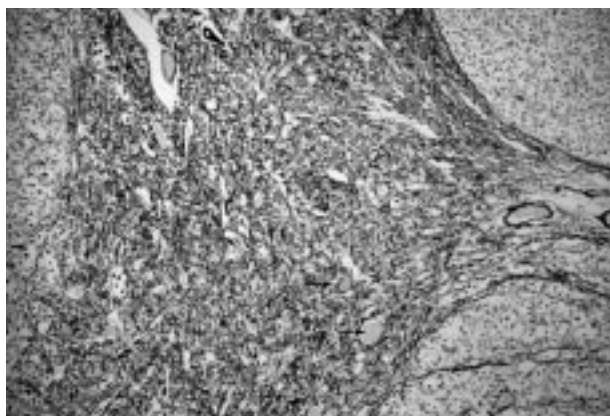
**Figura 5.** Corte histológico, transversal medular cervical, a nivel del surco medio anterior perfundido. Impregnación argéntica técnica Ramón y Cajal, microscopía óptica. a) Eje arterial espinal anterior. b) Cordón anterior con fibras nerviosas. (x 1.400).

núcleo agrandado y un gran citoplasma, la motoneurona tiene una imagen piramidal.

El estudio histológico con técnica de impregnación argéntica técnica de Ramón y Cajal en corte ho-

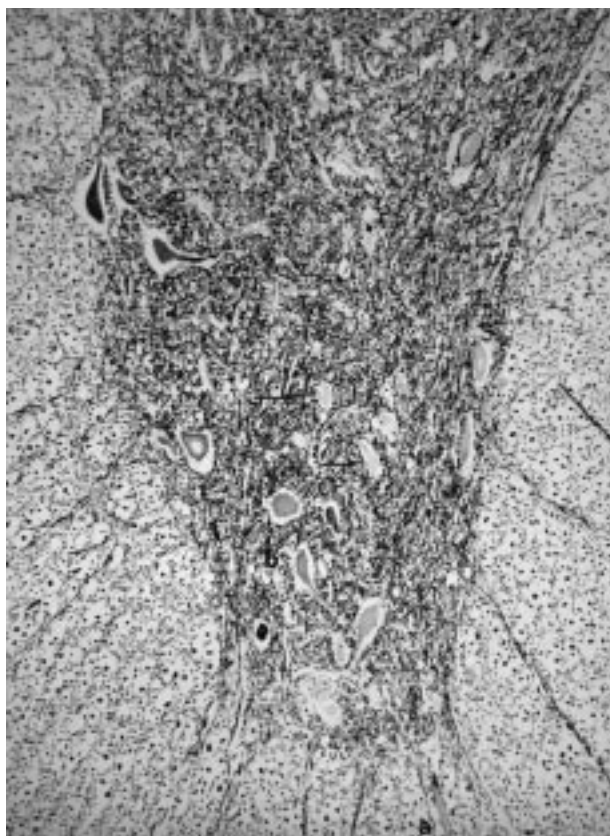


**Figura 6.** Sección histológica transversal de médula cervical, a nivel comisural, perro adulto perfundido. Impregnación argéntica técnica de Ramón y Cajal, microscopía óptica. a) Arteria surco-comisural anterior. b) Arterias recurrentes. c) Arterias comisurales verticales. d) Cordón anterior. e) Cordón posterior. f) Conducto ependimario. (x 500).

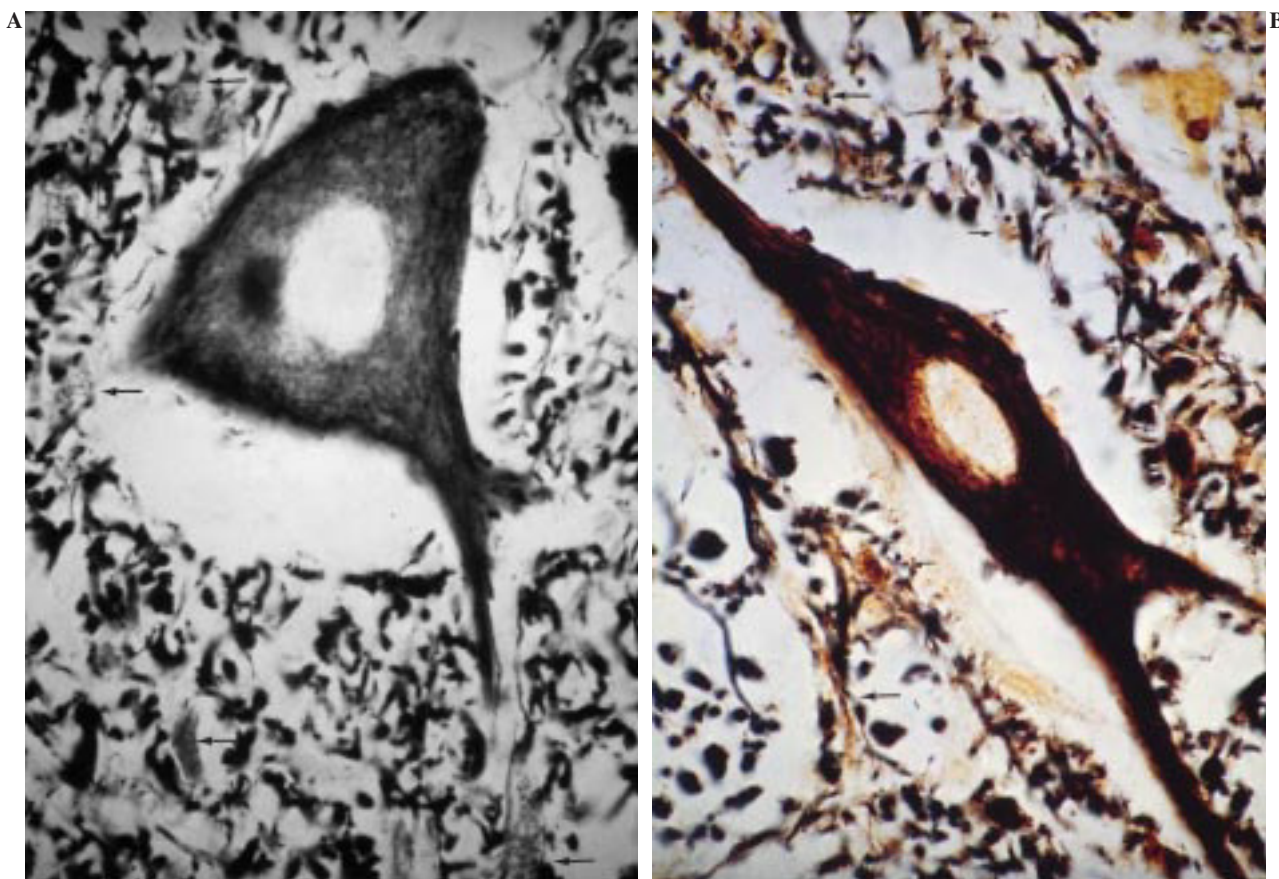


**Figura 7.** Sección histológica transversal, a nivel de base del asta anterior cervical, perro adulto perfundido. Impregnación argéntica técnica de Ramón y Cajal, microscopía óptica. (→) Gran número de arterias con contraste. (x 500).

rizontal a nivel del cordón anterior pone en evidencia todas las fibras nerviosas con gran densidad de pigmentación; la sustancia blanca está constituida por multitud de celdillas paralelas unas a otras, celdillas



**Figura 8.** Corte transversal modular cervical a nivel de cabeza del asta anterior medular, perro adulto con perfusión arterial. Impregnación argéntica técnica de Ramón y Cajal, microscopía óptica. (→) Gran número de arterias con contraste. a) Arterias filamentosas anteriores. b) Motoneuronas. (x 500).



**Figura 9.** A y B. Perro adulto perfundido, impregnación argéntica técnica de Ramón y Cajal, microscopía óptica. Motoneuronas medulares cervicales. (→) Red capilar perineuronal. ( $\times 1.400$ )

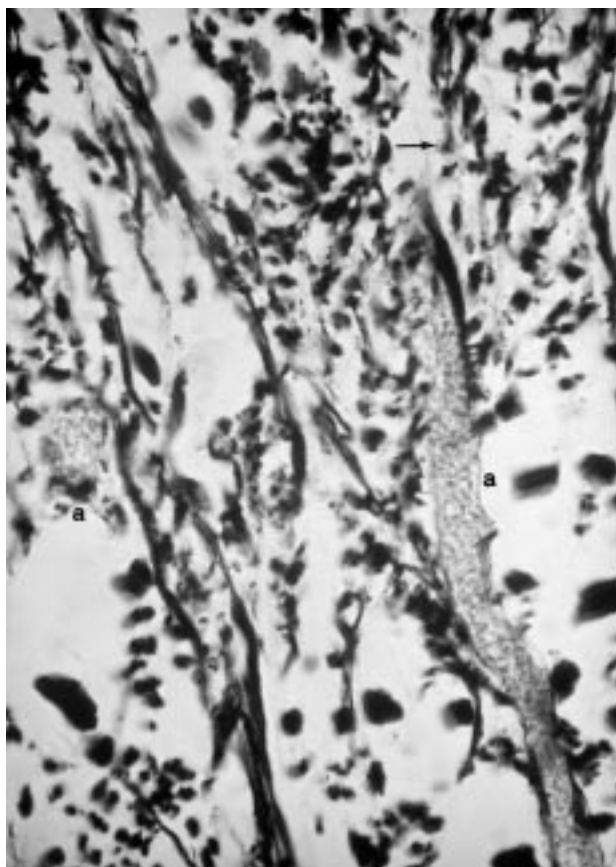
irregulares, y en sus márgenes se insinúa una finísima trama capilar de poco espesor y densidad (Fig. 5) en forma de panal de abeja nutriendo las fibras nerviosas. Con la misma técnica histológica se observa como las arterias surco-comisurales con contraste, al llegar a la comisura blanca anterior y próximas al agujero endimario, dan origen al sistema arterial recurrente en forma de abanico, hacia la base de las astas medulares anteriores (Fig. 6). En la base del asta medular anterior se puede comprobar abundante sistema arterial cortado transversalmente relleno de contrastes, entre las fibras nerviosas, en todas las direcciones con una estructura muy irregular (Fig. 7). Con impregnación argéntica de Ramón y Cajal y corte transversal en toda el asta medular anterior entre las fibras nerviosas y motoneuronas se aprecia un copioso sistema capilar difuso con contraste (Fig. 8). A más aumento se nota una riqueza del lecho capilar con contraste, denso, tortuoso e irregular, peri-neuronal y peri-fibrilar. Existen motoneuronas distribuidas por toda la superficie del asta medular anterior con su cilindroeje orientado en todas las direcciones con abundante estructura fibrilar nerviosa irregular. La

identificación entre sustancia gris y blanca está perfectamente definida por el corte transversal de las fibras nerviosas y la estructura irregular de la sustancia gris, pero el margen de separación entre la sustancia gris y blanca más bien es irregular por la penetración del sistema vascular por todas las caras de asta medular anterior. La malla de capilares se insinúa como nidos entre las motoneuronas, asegurando el flujo arterial al sistema nervioso (Figs. 9A y B).

Las arterias que acompañan a los filamentos nerviosos anteriores se dirigen hacia la cabeza del asta anterior; con la técnica histológica de impregnación argéntica de Ramón y Cajal se puede observar una arteria filamentos futura arteriola astal de la cabeza medular (Fig. 10), cortada longitudinalmente, rellena de contraste, deslizándose y penetrando en la sustancia blanca con dirección a la cabeza del asta anterior.

*La irrigación de la sustancia gris del asta anterior cervical* en el estudio arteriográfico, está representada por cuatro vías de aporte sanguíneo con calibres distintos, procedentes del sistema central y periférico. Así tenemos: a) las ramas largas surco-comisurales, que atravesando la sustancia blanca, llegan a





**Figura 10.** Corte transversal medular cervical, a nivel de vértice de la cabeza de asta anterior, perro adulto perfundido. Impregnación argéntica técnica de Ramón y Cajal, microscopía óptica. a) Arteriola filamentosas anterior. (→) Red capilar perifibrilar. ( $\times 1.400$ ).

la superficie interna del asta anterior, penetrando directamente en el seno astal, siendo de escaso calibre y número; b) las ramas recurrentes horizontales anteriores, verticales ascendentes y descendentes, a nivel de la comisura blanca anterior, con angulaciones, ramificaciones y calibre moderado; c) las ramas filamentosas anteriores, que se deslizan por el surco antero-lateral con dirección al vértice del asta anterior, siendo de calibre moderado; d) las ramas largas del círculo arterial perimedular, que penetran por la superficie externa del asta anterior, son abundantes en número y de pequeño calibre. La suma de todas estas fuentes de aporte sanguíneo determinan una perfecta irrigación y un flujo nutritivo del asta anterior en forma de red capilar irregular, tortuosa y densa.

### Discusión

En el uso de las *técnicas diferentes* de perfusión arterial tanto en condiciones normales como patológicas<sup>13</sup> entran en juego material y metodología. En el material empleado por distintos autores para la vas-

cularización normal se han utilizado gatos, conejos, ratas, perros y cadáveres humanos.<sup>16,25,26,31,50,59,60</sup> Las variaciones del material utilizado en una revisión de 157 trabajos por Fernández y col.<sup>22</sup> sobre lesiones a la médula espinal, fue de 60% en ratas y gatos, 30% conejos y perros, 10% otros. Las técnicas de contraste han variado entre los distintos autores, así Adamkiewicz<sup>1,2</sup> utilizó soluto de tinta china; Kadyi<sup>33</sup> azul de Prusia; Suth y Alexander<sup>56</sup> bencidina; Ramón y Cajal<sup>48</sup> carmín gelatina; Maillot<sup>43</sup> y Hassler<sup>31</sup> tinta china gelatinada; Jellinger y Rodríguez<sup>50</sup> látex; Lazorthes<sup>39</sup> sulfato de bario coloidal con formol 10%, que es el utilizado en este trabajo con algunas variantes añadiendo eritrosina al tratarse de estudio arterial, heparina como anticoagulante y a 36° como vasodilatador; y Sturrock<sup>55</sup> utilizó tinta India. La silicona usada por algunos autores, tiene la ventaja de que se solidifica en los vasos, el inconveniente es que por su viscosidad precisa mayor presión para llegar a los capilares y hay peligro de rotura vascular. Independientemente de la técnica empleada y de los defectos técnicos, pueden aparecer en las arterias burbujas de aire, falta de relleno, coágulos intravascular y rotura vascular con extravasación sanguínea. También se han utilizado distintas vías de perfusión arterial, vía local, regional, aorta; en este modelo de investigación hemos usado vía de perfusión intracardiaca-aorta para mejor difusión del contraste debido a que la médula espinal cervical recibe aporte arterial de varios orígenes: las arterias vertebrales,<sup>30</sup> arterias cervicales ascendentes y profundas y el tronco cervico-intercostal.

En principio las arterias vertebrales a lo largo de su trayecto van dando a derecha e izquierda ramas arteriales que se deslizan sobre los nervios raquídeos, dividiéndose las ramas arteriales en radicales medulares anteriores y posteriores como los nervios raquídeos. Las raíces nerviosas anteriores y posteriores a derecha e izquierda están formadas por los filamentos nerviosos procedentes de los surcos medulares antero-laterales y postero-laterales. Las arterias se deslizan sobre estos filamentos nerviosos ramificándose en arterias de distinto calibre y con distinto destino. Trabajos realizados por diferentes autores<sup>1,10,16,23,26,29,36,37</sup> señalan la vía de llegada de las arterias a la médula espinal cervical. Las arterias radicales anteriores cervicales a derecha e izquierda en su corto trayecto por las raíces anteriores<sup>6,18,27</sup> van dando ramificaciones arteriales: ramas finas que nutren las propias raíces, son las llamadas arterias delgadas de Tenon<sup>57</sup> que se pierden en la misma raíz; ramas muy finas que se deslizan por los filamentos nerviosos anteriores cervicales en forma de abanico a los que irrigan;<sup>24</sup> ramas filamentosas anteriores que



penetran por el surco antero-lateral cervical<sup>43</sup> con dirección a la cabeza del asta anterior, quedando incluidas dentro del grupo del sistema arterial astal anterior; ramas arteriales de mayor calibre que llegan a la superficie medular de la piamadre, contribuyendo a formar la red coronaria perimedular, siendo verdaderas arterias radículo-piamadre; y por último quedan las pocas o algunas arterias radiculares anteriores que son las de mayor calibre dirigiéndose al surco medio anterior llamadas arterias radículo-medulares anteriores<sup>2,40,44</sup>, que son las que forman por anastomosis el eje arterial espinal anterior cervical. Es de una gran importancia clínica tener en consideración que en una lesión cervical nerviosa traumática puede coexistir compromiso vascular que repercute en la nutrición nerviosa.

Se observa correlación con otros autores en que el *eje arterial espinal anterior cervical* a lo largo de su trayectoria por el surco medio anterior da origen a las arterias llamadas con distinta nomenclatura: arterias centrales, arterias surco-comisurales de Kadyi,<sup>33</sup> arterias mediales-anteriores de Duret<sup>19</sup> o arterias motrices, admitiendo la mayoría de los autores Adamkiewicz,<sup>1</sup> Kadyi,<sup>33</sup> Jelliger,<sup>32</sup> Lazorthes<sup>41</sup> y Suth y Alexander<sup>56</sup> que son más numerosas en la región cervical, encontrándose escalonadas de arriba abajo según Maillot,<sup>43</sup> penetrando y recorriendo en sentido antero-posterior el surco medio anterior, como señalamos por diafanización, emitiendo a derecha e izquierda en su trayecto, ramas colaterales cortas para el cordón anterior, y ramas colaterales largas para la sustancia gris anterior que inciden sobre la superficie interna del asta anterior, penetrando y ramificándose en el seno de la sustancia gris, formando parte del sistema arterial astal anterior, cuyo objetivo es la irrigación de esta zona astal anterior. Constatamos cómo ciertas arterias surco-comisurales anteriores, en estudio histológico con la técnica de Martins, están rodeadas de una vaina perivascular cuyo origen no podemos identificar, y no se observa el espacio real entre las arterias y la vaina perivascular llamado de Virchow-Robin. No se encuentra diferencia con los trabajos de Hassler,<sup>31</sup> Lazorthes<sup>38</sup> y Maillot<sup>43</sup> en cortes horizontales y verticales como las *arterias surco-comisurales* de Kadyi<sup>33</sup> que llegan al fondo del surco medio anterior, penetran en la comisura blanca, como se observa por diafanización, bifurcándose en ramas horizontales a derecha e izquierda y en verticales ascendentes y descendentes. La distribución de las arterias surco-comisurales según Duret,<sup>19</sup> teniendo en cuenta su trayecto, divide las arterias en tres órdenes de ramas terminales: ramos arteriales recurrentes anteriores que irrigan al asta anterior; ramos posteriores que nutren al asta posterior y ramos arte-

riales verticales ascendentes y descendentes que también irrigan al asta anterior y posterior; Suth y Alexander<sup>56</sup> refieren que las ramas horizontales o recurrentes anteriores vascularizan las células del asta anterior, y Corbin<sup>10</sup> describe dos tipos de arterias centrales, las arterias centrales gruesas que se dividen en arterias terminales verticales ascendentes y descendentes y horizontales, y las arterias centrales pequeñas que se distribuyen horizontalmente en la sustancia blanca.

*La red coronaria espinal*, que se observa por diafanización no difiere de otros autores,<sup>2,10,19,26,31,36</sup> está formada por un circuito arterial peri-medular anastomótico, de calibre arterial homogéneo, rodeando a la médula espinal en toda su superficie, configurando una red o malla irregular anastomótica de la que parten numerosas arterias o arteriolas de distintos calibres destinadas al interior de la médula espinal, penetrando por numerosísimos puntos de la superficie externa medular. Lo que hace difícil esquematizar esta red periférica peri-medular formada por arterias radiculares anteriores y posteriores, deslizándose por entre filamentos nerviosos quedando constituido como un verdadero sistema radículo-medular. Su denominación está relacionada con la topografía y las características de la red arterial: red arterial peri-medular, red de la piamadre, red coronaria, red arterial subpial, circuito arterial peri-medular y arterias espinales circunferenciales anastomóticas. Esta red arterial penetra e irriga la médula espinal<sup>38</sup> con dirección centrípeta, según los radios de una rueda, cuyo centro está en el agujero endimario. La sustancia blanca medular sólo recibe vascularización de la red coronaria, excepto parte del cordón anterior próximo al surco medio anterior, que recibe irrigación del sistema arterial surco-comisural como se ha referenciado.

*El sistema arterial filamentoso anterior* acompaña a los filamentos nerviosos anteriores, como recoge Maillot<sup>43</sup> y nosotros,<sup>24</sup> penetrando por el surco antero-lateral en el interior de la médula espinal hacia la cabeza de las astas anteriores, ramificándose en el seno de la sustancia gris, lo que nos permite considerar a este sistema arterial como radículo-medular, formando parte del sistema arterial astal anterior.

En la superficie externa de la sustancia gris para algunos autores como Gillilan,<sup>26</sup> Turnbull<sup>60</sup> y Hessler,<sup>31</sup> sugieren que existe un territorio intermedio irrigado por los dos sistemas arteriales central y periférico, llamado red coronaria de la sustancia gris, siendo una zona doblemente vascularizada, las imágenes por diafanización de este estudio coinciden con esa observación. Sin embargo no se observa sistema arterial alguno que de la sustancia gris pase o

se ramifique en la sustancia blanca. Refiere Soutoul<sup>53</sup> que existen pequeñas anastomosis entre el sistema arterial central y periférico alrededor de la sustancia gris, en este trabajo no podemos pronunciarnos sobre estas pequeñas anastomosis, a diferencia de la anastomosis de la red coronaria peri-medular que se observa perfectamente. En la superficie externa de la cabeza del asta anterior se aprecia por diafanización un límite casi preciso entre sustancia gris y blanca, aunque histológicamente no puede existir límite alguno porque es zona de paso del sistema arterial.

*La red capilar intramedular en la sustancia blanca* refiere Kadyi<sup>33</sup> que está estructurada longitudinalmente y en el mismo sentido se manifiestan Turnbull<sup>60</sup> y Maillot<sup>43</sup> que concuerdan con lo que se observa histológicamente por la dirección de las fibras nerviosas verticales y paralelas. Para nosotros la red capilar en la sustancia blanca tiene que adaptarse a la estructura de las fibras nerviosas y haces de los cordones. Señalan Suth y Alexander<sup>56</sup> y Maillot<sup>43</sup> que la red capilar intramedular es laxa en la sustancia blanca, formando mallas capilares anastomóticas. Se aprecia con toda evidencia en los cortes histológicos cómo los capilares presentan imagen en panal de abeja, por lo que la red capilar forma polígonos irregulares anastomóticos paralelos unos a otros al contornear la red capilar a las fibras nerviosas. Entre los pequeñísimos compartimentos que dejan entre sí las fibras nerviosas se configuran multitud de celdillas con finísima red capilar y en el centro las fibras nerviosas.

*La red capilar en la sustancia gris intramedular* citan Woolan y Millen,<sup>62,63</sup> que la mayor riqueza del lecho capilar en la sustancia gris intramedular está en relación con la abundancia de las dentritas, sinapsis, volumen de las neuronas y actividades metabólicas de las neuronas. En un estudio histológico Ramón y Cajal<sup>48</sup> señala que la estructura de los capilares es de revestimiento endotelial y continuo, constituyendo la barrera hemato-medular, manifestando que existe una adventicia de fibrillas fuera del endotelio, que concuerda con lo que se aprecia con la técnica de Martins en relación a los capilares. Facio<sup>21</sup> sugiere que la densidad capilar varía según la dirección de las fibras. Turnbull<sup>59</sup> y Maillot<sup>43</sup> apuntan que la red capilar es numerosa en la sustancia gris, espesa, densa, de mallas estrechas e irregulares, con capilares frondosos y tortuosos en los cuernos anteriores. Dromer y Schulz,<sup>17</sup> y Álvarez Morujo<sup>3</sup> refieren que entre los vasos de la médula espinal existe colágeno abundante, armazón de la trama nerviosa, y Vaquero Crespo<sup>61</sup> manifiesta relaciones de vecindad entre las estructuras neuronales y vasculares. Según se observa por diafanización e impregnación argéntica de

Ramón y Cajal la red capilar en el asta anterior medular está condicionada a la morfología y dirección de las fibras nerviosas y motoneuronas, orientada la red capilar irregularmente entre las fibras nerviosas del asta anterior al ser las fibras nerviosas abundantes y de distribución irregular. La red capilar se adapta a las condiciones de las fibras nerviosas, axones y superficie de las neuronas.

El modo de reaccionar del sistema vascular y del sistema nervioso a las lesiones de la médula espinal es de una trascendencia clínica importante. Entre los estudios de lesiones a la médula espinal<sup>11,12,49</sup> la compresión medular ocupa el 80%, con los métodos de balón con aire o líquido y forceps, teniendo en cuenta el tiempo de actuación, peso, superficie medular de actuación y si la intensidad es gradual o súbita. Le sigue el 10% con lesiones vasculares, oclusión de la aorta, clip, teflón, y el 10% para otras lesiones. Los factores de materiales y técnicas hacen difícil comparar los resultados obtenidos en las investigaciones entre unos y otros trabajos, junto con la gama de variaciones anatómicas del sistema arterial medular normal, aún en la misma especie animal hace imposible predecir la topografía arterial individual, y los resultados pueden variar en los modelos experimentales.

Entre los *efectos anatomopatológicos* que pretenden explicar la reacción medular espinal a las lesiones<sup>20,42</sup> unos son de tipo vascular<sup>8,9,52,64</sup> o microvascular<sup>34</sup>, otros de tipo axonal<sup>35</sup> y otros de tipo enzimático,<sup>46</sup> ante las causas de conmoción, contusión, compresión, elongación, sección parcial o completa, y aplastamiento modular; teniendo en cuenta el tiempo de actuación, la intensidad gradual o súbita y el segmento medular afectado. En compresión medular observa Osterholm<sup>47</sup> una hiperactividad vascular en sentido longitudinal y radial. En hemisección medular Gómez Talón<sup>28</sup> refiere vascularización normal por encima de la lesión, y por debajo isquemia homolateral y heterolateral, menciona posibles fibras descendentes con misión reguladora de la circulación. Dommissé<sup>15</sup> apunta sobre la zona crítica vascular T<sub>4</sub>-T<sub>9</sub> en operaciones de escoliosis por la localización de la arteria de Adamkiewicz. Para Tarlow<sup>58</sup> existe poca tolerancia medular a la compresión, superponiéndose el efecto isquémico y mecánico, observa degeneración Walleriana con fenómenos de hinchazón y fragmentación de los cilindroejes. Manifiesta Wilson<sup>65</sup> que las ligaduras de las arterias radicales produce desmielinización y degeneración axonal. En contusión medular Dohrmann<sup>14</sup> en estudio con microscopía electrónica, describe vainas miélicas rotas y degeneración axonal, refiere que la vascularización es muy sensible. Los cambios cronológicos por contusión medular observados por Yeo,<sup>66</sup> apuntan conges-

tión de los vasos, hinchazón de los axones dentro de la vaina mielínica intacta, desmielinización, hemorragia extensa en sustancia gris y blanca,<sup>5</sup> vaina mielínica rota sin axones, microquistes, vacuolización, necrosis quística y fenómenos de gliosis. Cita Osterholm y Mathews<sup>46</sup> que las catecolaminas medulares son responsables de la lesión medular; el metabolismo del S.N.C. es muy activo, con poco almacenamiento de glucosa y oxígeno, una interferencia breve de la circulación puede producir trastornos neurológicos permanentes.<sup>67</sup> En modelos experimentales de lesiones medulares y en accidentes es preciso cuantificar perfectamente la lesión medular,<sup>49</sup> superficie, profundidad, intensidad, tiempo de evolución, conocer suplencias arteriales, así podremos ante las lesiones medulares conocer mejor la respuesta terapéutica, y en los estudios experimentales es de gran valor la anatomopatológica y los procesos enzimáticos.

### Conclusiones

1. Es evidente la existencia de cuatro vías de

aporte sanguíneo que convergen en la sustancia gris del asta anterior. Procedentes del sistema arterial central tenemos: a) ramas colaterales largas surco-comisurales y b) ramas recurrentes horizontales, recurrentes verticales ascendentes y descendentes; procedentes del sistema periférico c) ramas largas o profundas del círculo arterial peri-medular y por último d) ramas filamentosas anteriores que penetran por el surco antero-lateral.

2. La red capilar en la sustancia gris está sumergida en un tejido irregular y complejo formado de fibras nerviosas, motoneuronas y sus prolongaciones, y tiene que adaptarse la red capilar a esa morfología, por lo que la riqueza del lecho capilar es irregular, toruoso y denso.

3. La sustancia blanca recibe solamente vascularización del círculo arterial peri-medular, excepto una parte del cordón anterior interna que está irrigado por las ramas laterales surco-comisurales.

4. La red capilar en la sustancia blanca tiene que adaptarse a la morfología y dirección paralela de las fibras nerviosas, formando entre las fibras una malla laxa de capilares finos, dando imagen en panal de abeja.

5. La única zona o territorio donde los dos sistemas central y periférico se superponen es en la zona periférica de la sustancia gris.

### Bibliografía

1. Adamkiewicz, A: Ueber die mikroskopischen Gefäße des menschlichen Rückenmarkes. *Trans. Int. Med. Contr.*, 7th. Sess., London, 1: 155-157, 1881.
2. Adamkiewicz, A: Die Blutgefäße des menschlichen Rückenmarkes. II. Teil: Die Gefäße der Rückenmarksoberfläche. *Sitzungsber. d. Math. Naturwiss. Classe d. Kaiserl. Akad. d. Wiss.*, 85: 101-130, 1882.
3. Álvarez-Morujó, AJ, y Álvarez-Morujó, A: Ultramicroscopia de los vasos y del colágeno de la médula espinal. *An. Ant.*, 26: 407-413, 1977.
4. Anderson, DK; Means, ED, y Waters, TR: Microvascular perfusion and metabolism in injured spinal cord after methylprednisolone treatment. *J. Neurosurg.* 56: 105-111, 1982.
5. Anderson, ET: Spinal cord contusion injury. Experimental dissociation of hemorrhagic necrosis and subacute loss of axonal conduction. *J. Neurosurg.* 62: 115-119, 1985.
6. Bergmann, L y Alexander, L: Vascular supply of the spinal ganglia. *Arch. Neur. Psych.* 46: 761-782, 1941.
7. Black, P; Markowitz, RS, y Cooper, V: Model of spinal cord injury. Part 1. Static load technique. *Neurosurgery*, 19: 752-762, 1986.
8. Cohnheim, J: Untersuchungen über die embolischen Prozesse. *Hirschwald*, Berlin, 1872.
9. Corbin, JL: Artères de la moelle et pathologie ischémique médullaire. *Presse Méd.* 69: 1271-1277, 1961.
10. Corbin, JL: Anatomie et pathologie artérielles de la moelle. *Masson et Cies*, Paris, 1-89, 1961.
11. Crock, HV: Observations on the management of failed spinal operations. *J. Bone Joint Surg.* 58: 193-199, 1976.
12. De la Torre, JC: Spinal cord injury models. *Prog. Neurobiol.* 22: 289-295, 1984.
13. Djindjian, R; Hurth, M, y Houdart, R: L'angiographie de la moelle épinière. P. 482. *Ed. Masson et Cie*, Paris 1970.
14. Dohrmann, G; Wagner, F, y Bucy, P: Transitory traumatic paraplegia: Electron microscopic of the early alterations in myelinated nerve fibers. *J. Neurosurg.* 36: 407-414, 1972.
15. Dommisse, GF: The blood supply of the spinal cord. A. Critical Vascular zone in spinal surgery. *J. Bone Joint Surg.* 56: 225-235, 1974.
16. Dommisse, GF: The arteries and veins of the human spinal cord from birth. *Churchill Livingstone*. Edinburg, 81-96, 1975.
17. Drommer, W, y Schulz, L: Feinstruktur der normalen Kapillaren und Venulen usw. *Ant. Anz.* 128: 232-239, 1971.
18. Dunning, HS y Wolf, HG: The relative vascularity of various parts of the central and peripheral nervous system of the cat and its relation to function. *J. Comp. Neurol.* 67: 433-450, 1937.
19. Duret, H: Note sur les artères nourricières et les vaisseaux capillaires de la moelle épinière. *Prog. Méd.* 1: 284-294, 1873.
20. Eidelberg, E; Staten, E, y McGraw, D: A model of spinal cord injury. *Surg Neurol.* 6: 35-38, 1976.



21. **Fazio, C; Agnoli, A, y De Carolis, V:** Le remollissement de la moelle épinière. Considerations anatomocliniques. *Sistema Nervioso*, 17: 343-364, 1965.
22. **Fernández, E; Pallini, R, y Talamonti, G:** Experimental studies on spinal cord injuries in the last fifteen years. *Neurological Research*, 13: 138-159, 1991.
23. **Gascón, SC:** Vascularización arterial de la médula espinal cervical en ratas. Las arterias intramedulares. Estudio microangiográfico. *IX Symp. Intern. de Traumat. Fund. y Edit. Mapfre*, Madrid, 1-13, 1983.
24. **Gascón, SC:** Las arterias intraraquídeas e intramedulares. Estudio microangiográfico en perros. *Rev. Ortop. Traumatol* 33: 215-232, 1989.
25. **Gillilan, LA:** The arterial and venous blood supply of the human spinal cord. *Anat. Rec.*, 2: 127-466, 1957.
26. **Gillilan, LA:** The arterial blood supply of the human spinal cord. *J. Comp. Neurol.*, 110: 75-103, 1958.
27. **Gillilan, LA:** Arterial and venous anatomy of the spinal cord. En Moossy, J, y Janeway, R. (eds.): *Cerebral vascular diseases*, Grune and Stratton. New York, 1971.
28. **Gómez Tolón, J:** Aportación a la hemisecciones medulares experimentales marcando vías y conexiones por degeneración secundaria (experimentación en el gato). *An. Anat.* 27: 583-608, 1978.
29. **Gouaze, A, Castaing, J, y Soutoul, JH:** La vascularisation artérielle de la moelle épinière du lapin. Etude aux fins d'experimentation. *Rev. Med. Tours*, 4: 391-412, 1963.
30. **Gouze, A, y Col:** Le territoire fonctionnel de l'artère vertébrale du lapin étudié à l'aide des fluorescents biologiques neurotropes. *Path Biol.*, 13: 723-734, 1965.
31. **Hassler, O:** Blood supply to human spinal cord. A microangiographic study. *Arch Neurol*, 15: 302-307, 1966.
32. **Jellinger, K:** Artériosclérose de la moelle épinière et myélopathie vasculaire. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatr.*, 30: 195-206, 1967.
33. **Kadyi, H:** Über die Blutgefäße des menschlichen Rückenmarkes. *Lemberg*, 152, 1889.
34. **Kapadia, SE:** Ultrastructural alterations in blood vessels of the white matter after experimental spinal cord trauma. *J. Neurosurg.*, 61: 539-544, 1984.
35. **Kobrine, AI; Evans, DE y Rizzoli, HV:** The effect of ischemia on long tract neural condition in the spinal cord. *J. Neurosurg.*, 50: 639-646, 1979.
36. **Koritke, JG, y Maillot, CL:** La vascularisation de la moelle épinière chez le chat (*Felis domestica*). The veines extramédullaires antérieures. *Arch. Anat. Hist. Emb., norm. et exp.*, 55: 1-22, 1972.
37. **Lauruelle, L:** La structure de la moelle épinière en coupes longitudinales. *Rev. Neurol.*, 67: 695-702, 1937.
38. **Lazorthes, G:** La vascularisation de la moelle épinière (étude anatomique et physiologique). *Rev. Neurol.*, 106: 535-557, 1962.
39. **Lazorthes, G:** La vascularisation artérielle du renflement lombaire. Etude des variations et des suppléances. *Rev. Neurol.*, 114: 109-122, 1966.
40. **Lazorthes, G; Gouaze, A; Zadeh, JO; Santini, JJ; Lazorthes, Y, y Burdin, P:** Arterial vascularisation of the spinal cord. Recent studies of the anastomotic substitution pathways. *J. Neurosurg.*, 35: 253-262, 1971.
41. **Lazorthes, G; Gouze, A, y Djindjian, R:** Vascularisation et circulation de la moelle épinière. Ed. *Masson et Cie.*, París, 1973.
42. **Lizuka, H; Yamamoto, T, y Iwasaki, Y:** Experimental spinal cord injury: quantitation of axonal damage by automated image analysis. *J. Neurosurg.*, 64: 304-308, 1986.
43. **Maillot, CL:** La vascularisation de la moelle épinière chez le chat (*Felis domestica*). Le réseau vasculaire intramédullaire. *Arch. Anat. Hist. Emb., norm. et exp.*, 54: 125-159, 1971.
44. **Markhashov, AM:** Differences in arterial blood supply of the spinal. *Vestn. Khir. Grekov*, 94: 64-73, 1965.
45. **Nacimiento, AC; Bartels, M, y Loew, F:** Acute effect of dexamethasone on normal and on post-traumatic spinal cord polysynaptic reflex activity and axonal conduction. *Surg. Neurol.*, 26: 13-21, 1986.
46. **Osterholm, J, y Mathews:** Altered norepinephrine metabolism following experimental spinal cord injury. Part. I: Relationship to hemorrhagic necrosis and postwounding neurological deficits. *J. Neurosurg.*, 36: 386-394, 1972.
47. **Osterholm, J:** Minireview-Noradrenergic mediation of traumatic spinal cord autodestruction. *Life-Sci.*, 14: 1363-1372, 1974.
48. **Ramón y Cajal, S:** Histologie du système nerveux de l'homme et des vertébrés, tomo I, cap. XVIII, p. 519, 1952.
49. **Rivlin, AS, y Tator, CH:** Effect of duration of acute spinal cord compression a new acute injury model in the rat. *Surg. Neurol.*, 10: 39-43, 1978.
50. **Rodríguez, BA; Muset, LA; Rodríguez, PA, y Domenech, MJM:** Anterior spinal arteries. Origin and distribution in man. *Acta anat.*, 136: 217-221, 1989.
51. **Romanes, GJ:** The arterial blood supply of the human spinal cord. *Paraplegia*, 2: 199-208, 1965.
52. **Sasaki, S:** Vascular change in the spinal cord after impact in the rat. *Neurosurgery*, 10: 360-368, 1982.
53. **Soutoul, JH; Gouaze, A; Santini, JJ, y Duprey, G:** Les artères intramédullaires de la moelle épinière des animaux d'experimentation. *Acta Anat.*, 67: 221-238, 1967.
54. **Spalteholz, W:** Ueber das durchsichtigmachen von menschlichen und tierischen präparaten. 1 vol, 2ª ed, Leipzig, 1914.
55. **Sturrock, RR:** A quantitative and morphological study of vascularisation of the developing mouse spinal cord. *J. Anat.*, 132: 203-221, 1981.
56. **Suth, TH, y Alexander, L:** Vascular system of the spinal cord. *Arch. Neurol. Psychiat.*, 41: 659-677, 1939.
57. **Tanon, L:** Les artères de la moelle dorso-lombaires. Thèse París, Vigot, édit., 1908.
58. **Tarlow, JM:** Spinal cord compression. Charles C, Thomas. Springfield, III, 1953.
59. **Turnbull, JM, y Brieg, A:** Blood supply of cervical spinal cord in man. A microangiographic cadaver study. *J. Neurosurg.*, 24: 951-965, 1966.
60. **Turnbull, JM:** Microvasculature of the human spinal cord. *J. Neurosurg.*, 35: 141-152, 1971.
61. **Vaquero Crespo, J:** Estudio de las relaciones anatómicas entre células y vasos sanguíneos en el territorio anterior de la médula espinal. *Clínica IV*, 2, 141-157, 1972.
62. **Woollam, HM, y Millen, JW:** The arterial supply of the spinal cord and its significance. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatr.*, 18: 97-102,

- 1955.
63. **Woollam, HM, y Millen, JW:** In discussion on vascular disease of the spinal cord. *Proceedings of the Royal Society of Medicine*, 51: 540-543, 1958.
  64. **Wolman, L.** The disturbance of circulation in traumatic paraplegia in acute and late stages. *Paraplegia*, 2: 213-221, 1965.
  65. **Wilson, CB; Bertam, W, y Norrel, HA:** Experimental cervical myelopathy. II. Acute ischemic myelopathy. *Arch. Neurol*, 21: 571-589, 1969.
  66. **Yeo, J; Payne, W, y Hinwood, B:** The experimental contusion injury of the spinal cord in sheep. *Paraplegia*, 12: 275-298, 1975.
  67. **Zülch, KJ:** Réflexions sur la physiopathologie des troubles vasculaires médullaires. *Rev. Neurol*, 106: 632-645, 1962.