

# *Embriología del aparato vascular urológico*

J. PUERTA FONOLLA

Cátedra de Anatomía.

Universidad Complutense de Madrid

El origen de las arterias renales está situado a 1 cm. por debajo del origen de la arteria mesentérica superior, a la altura del borde superior de la segunda vértebra lumbar, son una para cada riñón. La disposición del origen en la aorta suele ser en la cara lateral de la misma, si bien puede situarse en la región anterolateral o posterolateral aunque estas disposiciones están relacionadas, frecuentemente, con anomalías de rotación de los riñones.

Aunque lo mencionado es lo más frecuente, una revisión efectuada sobre 10.967 casos publicados por 45 autores demuestra que sólo es cierto en el 72% de los casos. Por lo que en un 28% de los casos existen arterias renales de disposición variable no sólo en su origen, sino también en el número de las mismas; las arterias renales suelen ser dobles en un 11% de los casos, la existencia de tres arterias renales es de un 1,7%, de cuatro arterias renales es de un 0,1%, en el resto de los casos suelen asociarse con arterias originadas en la aorta y destinadas a zonas concretas del riñón, fundamentalmente a los polos (arteria renal más una arteria polar, superior en el 11% y polar inferior en el 3% de los casos) o bien procedentes de otras arterias, en estos casos y siempre excluyendo, como en todos los anteriores, los asociados a anomalías y malformaciones renales, las ramas destinadas al riñón pueden originarse en las arterias ilíacas (común, externa o interna), arteria sacra media, arteria hepática, arteria cólica derecha, arterias mesentéricas superior e inferior, arteria diafragmática inferior y arterias lumbares.

Las variaciones mencionadas en cuanto a número y procedencia, hacen

posible afirmar que las variaciones de las arterias renales no sólo afectan a su número, sino también a su procedencia y podríamos afirmar que las arterias renales pueden tener su origen bien directamente de la aorta o de ramas de ésta en un territorio que se extiende entre la duodécima vértebra torácica y la segunda vértebra lumbar cuando su procedencia es de la aorta, y que fuera de este territorio sólo lo hace en las ilíacas y en la sacra media. Este dato es aplicable no sólo a las variaciones en tanto existe normalidad en la situación de los riñones, sino también en cuanto a las malformaciones renales incluyendo aquí las anomalías de número y posición de los mismos, y así es más frecuente el origen en las ilíacas y sacra media en aquellos casos en los que el riñón está situado en la pelvis.

Además del territorio que las arterias renales irrigan normalmente es decir riñón, suprarrenales, pelvis y porción inicial del uréter y grasa perirrenal, las arterias renales pueden dar origen a ramos destinados a otras estructuras como son la arteria hepática común, suprarrenal media, arterias gonadales, arterias lumbares, arterias cólicas, arterias diafragmáticas inferiores y también han sido descritos ramos pancreáticos; la arteria hepática como rama de la renal siempre procede de la arteria renal derecha, mientras que los ramos pancreáticos suelen ser ramos de la arteria renal izquierda.

La variabilidad de origen, número y distribución de las arterias renales va ligada a la morfogénesis renal y sin entender ésta es difícil explicarse estas variaciones.....

Los riñones se originan en nuestra especie de una parte del mesodermo paraxial, situado lateral a los somitos y medial a la lámina lateral que tapiza la cavidad celómica, y que reciben el nombre de *masa o yema intermedia*. Esta masa intermedia es en vertebrados inferiores segmentada, en lo mamíferos se produce una fusión longitudinal de toda la masa intermedia para dar lugar al denominado «cordón nefrógeno». Esta segmentación se pierde pues, pero sólo en la superficie ya que en sus derivados se conserva el carácter metamérico, la porción más craneal formará el *pronefros*, la zona media dará lugar al *mesonefros* y por último la más caudal constituirá el *metanefros*, esta última parte será la que de lugar al riñón definitivo y tiene como característica el no estar segmentado. Esta separación en tres unidades del cordón nefrogénico es morfológicamente artificial ya que como señaló Fraser (1920) el origen es común y posee unas propiedades morfogenéticas similares en toda su extensión, siendo ésto evidente en el mecanismo de formación de las nefronas de las tres partes y quizá sea correcto el recordar aquí el sentir de Torrey (1954, 1965) al definir al sistema renal embrionario como una unidad única: el «*holonefros*». Estas tres partes se desarrollan secuencialmente en el espacio y en el tiempo.

El pronefros humano es vestigial y sólo han podido ser descritos algunos

grupos aislados celulares glomerulares por Heuser (1930) y Torrey (1954) en embriones de 8 somitos, su situación pues corresponde a los somitos occipitales y cervicales y sólo alcanzarían hasta el séptimo segmento cervical. Estas estructuras vestigiales nunca comunicarían con el conducto excretor y según Torrey nunca formarían glomérulos; los grupos celulares descritos por estos autores sufren un proceso de degeneración cráneo-caudal, de tal suerte que los más craneales han desaparecido cuando aparecen los más caudales.

Hacia el día veinticuatro postfecundación, aparece el conducto néfrico como un cordón sólido que empieza a la altura del 8 somito en la región más lateral de la masa intermedia y se extiende hasta los somitos 14-15. En el tejido de la masa intermedia empiezan a diferenciarse los primeros túbulos a la misma altura que el cordón néfrico pero no existe conexión entre ambas estructuras, corresponderían estas formaciones tubulares a la parte más craneal del mesonefros, estas formaciones son muy transitorias puesto que los túbulos más craneales van desapareciendo conforme se van formando los más caudales. A partir del somito 14, veinticinco días, los túbulos conectan con el conducto néfrico que pasa a denominarse *conducto mesonéfrico o de Wolf*, en esta fase los más craneales ya han degenerado y estos túbulos estarían situados, teóricamente a la altura del primer segmento torácico. Hacia el día veintiséis el conducto de Wolf alcanza la cloaca. En este mismo día, y debido en parte a la degeneración de los túbulos más craneales y al crecimiento en longitud del embrión, los túbulos mesonéfricos más craneales están situados a la altura del esbozo hepático y distalmente se habrían diferenciado hasta la altura de la unión del intestino con la cloaca.

El túbulo mesonéfrico está constituido por un glomérulo rodeado de una cápsula de Bowman que drena por un túbulo que se dirige lateralmente para ir, tras formar un asa, al conducto de Wolf. Las arterias mesonéfricas surgen como ramas paralelas, en ángulo recto, de la cara lateral de la aorta dorsal en su nivel torácico y lumbar (*arterias espláncnicas laterales torácicas y lumbares*), estos vasos se forman y degeneran con los glomérulos que irrigan. Al principio se forma un túbulo por cada somito con posterioridad se desarrollan más que el total de somitos, muy probablemente por subdivisión o por brotes de los ya existentes. La degeneración de los túbulos mesonéfricos es tan rápida que al inicio de la séptima semana (13 mm.) los túbulos mesonéfricos en degeneración están a nivel del cardíaco y a los 40 mm. (décima semana) ya no hay unidades mesonéfricas intactas (Altschule, 1930). La evolución ulterior de las células mesonéfricas de los túbulos en regresión parece jugar un papel importante en los procesos de diferenciación de la gónada.

La diferenciación del metanefros depende de la formación y desarrollo de las estructuras mesonéfricas, más concretamente del desarrollo y diferenciación del

conducto mesonéfrico ya que a partir de éste en los embriones de 4 mm. (veintiocho días) aparece la yema ureteral. Esta aparece en el conducto de Wolf justo cuando éste se incurva, a nivel del primer somito sacro, para dirigirse a desembocar en la cloaca, su situación es dorsomedial con respecto al conducto. Con posterioridad crece en dirección craneal, entrando en contacto su extremo cefálico con el polo más caudal del mesodermo metanéfrico que no presenta signos de segmentación, en estas fases el metanefros está situado caudal a la vesícula mesonéfrica más inferior. Hacia los 6 mm. el brote ureteral, en crecimiento craneal, empieza a dicotomizarse y produciendo brotes secundarios que darán lugar a la pelvis y cálices primarios, alrededor de estos brotes el mesénquima metanéfrico está más condensado y empiezan los mecanismos de interacción brotes ureterales-blastema metanéfrico que conducirán a la formación del riñón definitivo (Puerta y cols. 1980).

Cuando el uréter entra en contacto con el metanefros el futuro riñón está situado a nivel de la 2.<sup>a</sup>-3.<sup>a</sup> vértebra sacra, recibiendo su irrigación de la aorta dorsal situada ventral al esbozo blastemático del sacro, las arterias surgen igual que las destinadas al mesonefros, a varios niveles (1-4 segmentos sacros) constituyendo las *arterias espláncnicas laterales sacras*. A partir de los 6 mm. el metanefros sufre un proceso de crecimiento en dirección craneal y otro de rotación del hilio en dirección medial, a los 9 mm. ya está situado inmediatamente caudal a las arterias umbilicales, hacia los 13 mm. ya está craneal a dichas arterias, a los 18 mm. alcanza la parte más inferior de la cápsula suprarrenal, entre los 23 y 25 mm. el hilio renal está situado en el extremo cefálico del mesonefros que se sitúa a nivel del esbozo del estómago, alcanzando de esta forma su situación definitiva. Durante su ascenso el riñón recibe ramas de la aorta dorsal a nivel lumbar (*arterias espláncnicas laterales lumbares*). La cápsula suprarrenal recibe también la irrigación de las tres primeras arterias espláncnicas laterales lumbares.

Analizado el desarrollo del riñón veremos a continuación como se conforman las arterias renales.

Las primitivas arterias embrionarias son las aortas dorsales derecha e izquierda que pueden ser identificadas en estadios muy precoces como dos tubos que continúan al saco aórtico. Cada uno de ellos forma un arco rodeando la cara lateral del intestino anterior, a nivel de la faringe, situándose a continuación en la cara posterior del intestino medio; a este nivel tienen un aspecto plexiforme (embriones de 7 somitos). En estos estadios las aortas dorsales dan (Fig. 1): A) ramas intersegmentarias, situándose entre los somitos correspondientes, su origen lo hacen formando un ángulo recto *son las arterias intersegmentarias somáticas*; B) *ramas espláncnicas ventrales*, destinadas al aparato digestivo y

vísceras derivadas de él; C) *ramas espláncnicas laterales*, destinadas a la masa intermedia y sus derivados (*pronefros, mesonefros, metanefros, gónadas* y *cápsula suprarrenal*); D) *ramas vitelinas* (2), para cada lado del saco vitelino y E) caudalmente las aortas se continúan con las *arterias umbilicales*, que parecen ser la continuación de ellas, son estas arterias umbilicales las primeras ramas que se observan.

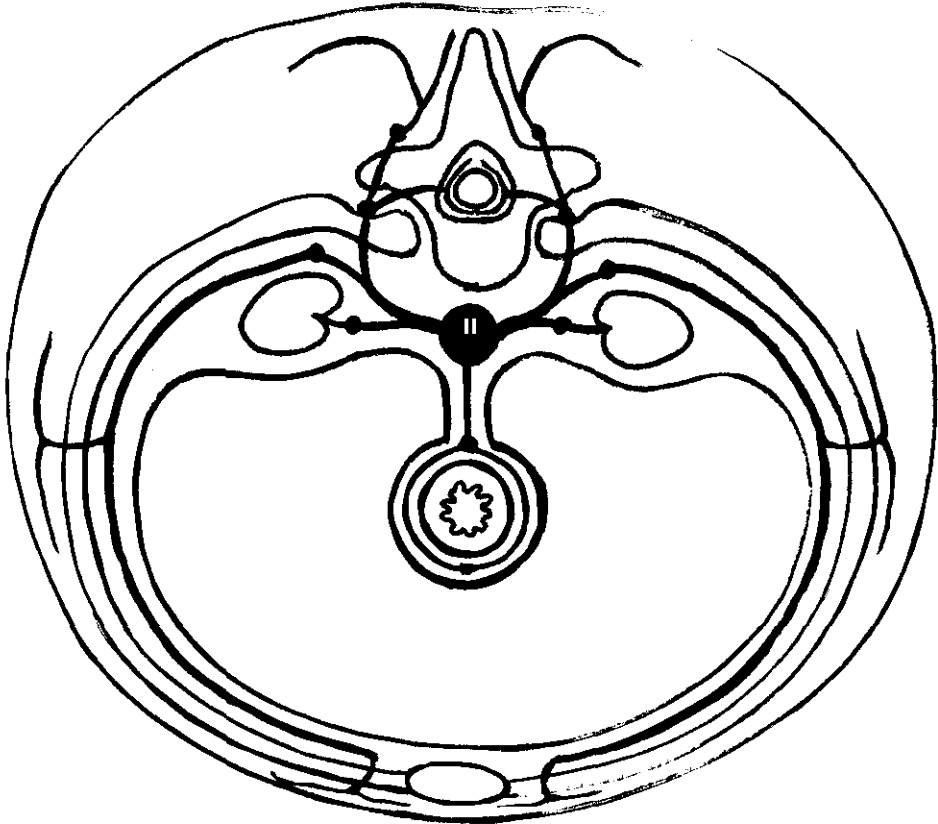


Figura 1.—Esquema de un corte transversal ideal del abdomen de un embrión al final del segundo mes postfecundación. A: Aorta dorsal, D: Tubo digestivo, E: Arteria esplácnica ventral, I: Arteria intersegmentaria somática, L: Arteria esplácnica lateral, M.: Derivados de la masa intermedia (meso y metanefros, suprarrenales y gónadas). 1.—Anastomosis longitudinal interesplácnica lateral. 2.—Anastomosis longitudinal precostal de las arterias somáticas laterales. 3.—Anastomosis longitudinal esplácnica ventral y dorsal. 4.—Anastomosis longitudinal esplácnica ventral y anterior.

Durante el desarrollo embrionario las aortas dorsales van a sufrir un proceso de remodelación importante. Por encima de los terceros arcos aórticos persisten

y dan lugar a las carótidas internas. En este mismo período se produce la fusión de las aortas dorsales que se sitúa por debajo del quinto segmento torácico, desaparece la aorta dorsal derecha situada entre el cuarto arco torácico y la séptima arteria intersegmentaria cervical.

Las arterias umbilicales tras la fusión de las aortas surgen de la cara ventrolateral de la aorta, y en su trayecto hacia el pedículo umbilical pasan lateralmente al conducto excretor del mesonefros (conducto de Wolf), en esta fase la parte proximal de cada arteria umbilical se une a una arteria que surge en ángulo recto a nivel de la porción caudal de la aorta, esta vaso representa la quinta arteria intersegmentaria lumbar y es denominado en algunos tratados como la raíz dorsal de la arteria umbilical, siendo la raíz ventral la propia arteria umbilical, la unión entre raíz dorsal y ventral está situada dorsal a los uréteres.

Con posterioridad la raíz dorsal se ramifica por las vísceras pélvicas, donde establecen conexiones con las arterias intersegmentarias somáticas sacras, y da lugar a una rama que se dirige al esbozo del miembro inferior es la arteria axial. Seguidamente las ramas pélvicas, debido al desarrollo de los órganos pelvianos adquieren un gran desarrollo, quedando la raíz ventral, la primitiva arteria umbilical, mucho menos desarrollada al tiempo que establece anastomosis con los vasos intrapélvicos; en el curso de pocos días desaparece la raíz ventral con lo que la primitiva arteria umbilical pasa a estar originándose en los ramos pelvianos de la raíz dorsal que en este mismo período de tiempo surgen de la quinta arteria intersegmentaria como un solo tronco que después se ramifica, esta raíz de origen común es la arteria ilíaca interna, mientras que la arteria axial dará lugar, debido al crecimiento del miembro inferior a la arteria ilíaca externa de la que surgirá la arteria femoral.

Estos cambios también afectan a la porción sacra y coccigea de la aorta dorsal ya que al perder gran parte del aporte sanguíneo, debido al desarrollo de las arterias ilíacas y a las anastomosis que existen entre las intersegmentarias sacras queda reducida en calibre constituyendo la arteria sacra media de la que siguen surgiendo en número variable arterias intersegmentarias somáticas sacras.

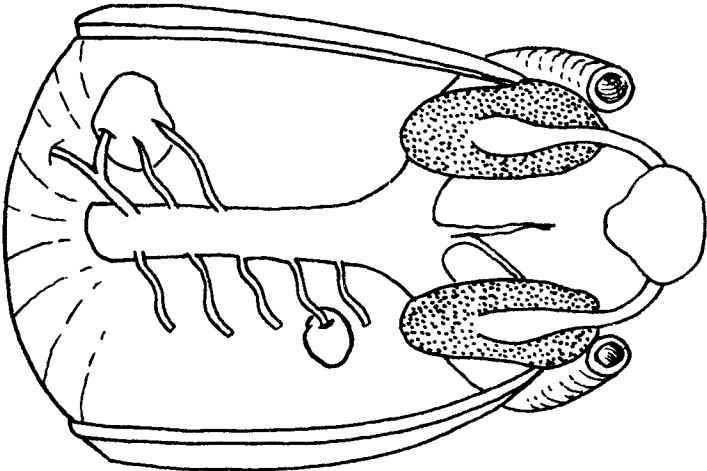
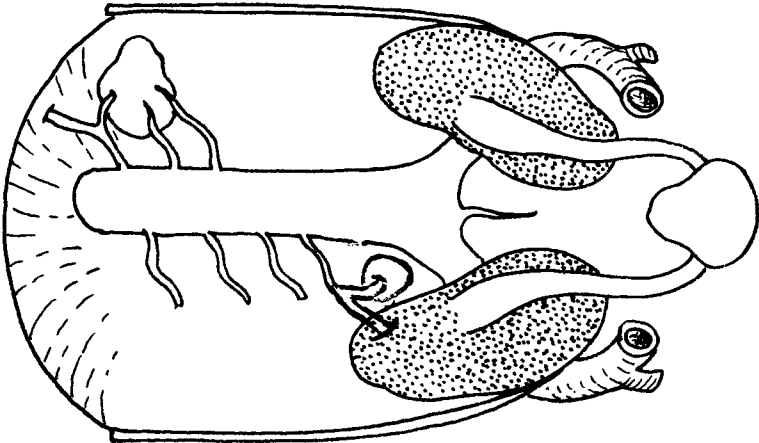
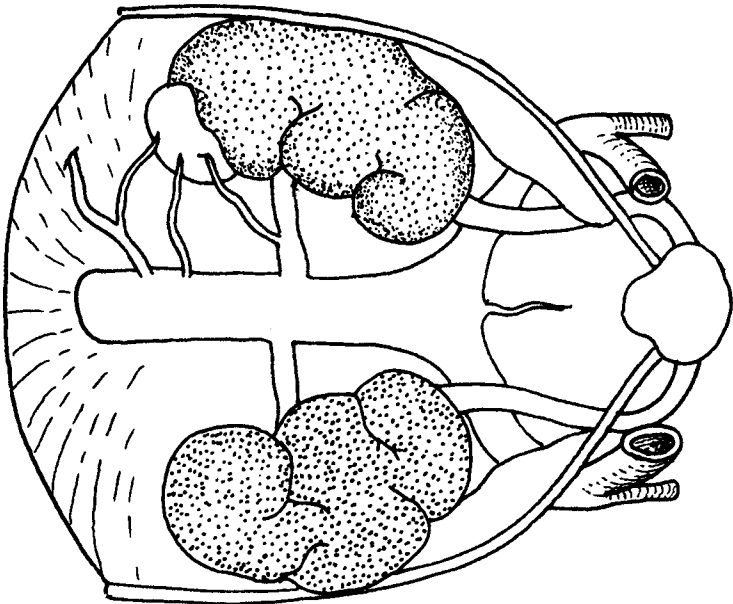
Las arterias intersegmentarias somáticas suelen distribuirse entre la musculatura de las paredes laterales del tronco y terminan anastomosándose entre sí en la región ventral del cuerpo. Entre estas arterias suelen formarse anastomosis longitudinales sobre todo a nivel de la región ventral al esbozo de los cuerpos vertebrales, constituyendo arterias intersegmentarias precostales o prevertebrales; esta disposición se desarrolla más en algunas regiones del cuerpo embrionario, dando lugar a las arterias intercostal superior en la región torácica y en la región lumbar a las ramas que unen las arterias lumbares entre sí y con la rama iliolumbar procedente de la arteria ilíaca interna.

Las arterias esplácnicas ventrales surgen ventralmente de la aorta dorsal y adoptan una disposición más o menos segmentaria, surgen abundantes ramas que se distribuyen en el mesodermo visceral de la esplacnopleura irrigando a las estructuras derivadas del aparato digestivo. En las fases iniciales están unidas entre sí por anastomosis longitudinales que se disponen a lo largo de las caras dorsal y ventral del tubo digestivo, constituyendo las anastomosis esplácnicas ventrales y dorsales. El desarrollo de estos vasos longitudinales junto con la elongación del tubo digestivo hace que muchas ramas esplácnicas ventrales desaparezcan y queden reducidas a tres troncos voluminosos que surgen de la aorta: *El tronco celíaco y las arterias mesentéricas superior e inferior.*

Pero esta reorganización se complica debido no sólo a la persistencia y a las modificaciones de las anastomosis esplácnicas sino también a los procesos de rotación que sufren las vísceras del aparato digestivo, así la anastomosis esplácnica dorsal permanece constituyendo las arterias gastroepiplóica, pancreático duodenal y las ramas cólicas de las arterias mesentéricas, la anastomosis esplácnica ventral permanece formando las arterias gástricas derecha e izquierda y la arteria hepática. Los fenómenos de rotación del intestino embrionario junto con las modificaciones que sufren en su disposición inicial las vísceras derivadas de la masa intermedia, así como el discurrir de estas arterias esplácnicas ventrales por el mesodermo de la esplacnopleura hacen que puedan producirse anastomosis entre estos troncos primarios o sus ramas con los troncos primarios o sus ramas de las arterias somáticas intersegmentarias o con las arterias esplácnicas laterales o sus ramas.

Las arterias esplácnicas laterales dan ramas destinadas a las estructuras derivadas de la masa intermedia. Se forman ramas pronéfricas, mesonéfricas, metanéfricas, suprarrenales y gonadales. Las arterias son segmentarias pero también tienen anastomosis longitudinales entre sí, y pueden anastomarse con las ramas de las arterias somáticas intersegmentarias y con las ramas de las arterias esplácnicas ventrales. Las arterias pronéfricas y mesonéfricas regresan conforme degeneran dichas estructuras, las arterias metanéfricas que irrigan al metanefros surgen inicialmente de la zona de la aorta que va a dar lugar a la arteria sacra media, *Figura 2A.*

Conforme se va produciendo el ascenso del metanefros éste va perdiendo su conexión con las arterias sacras y la adquiere con las arterias situadas más cranealmente, como son las arterias esplácnicas laterales lumbares. La más caudal de éstas no existe y está representada por la quinta arteria intersegmentaria, que como hemos visto forma la raíz dorsal de la arteria umbilical. La cuarta dará lugar a la arteria gonadal (espermática u ovárica) y también contribuye a la irrigación del metanefros, *Figura 2B,* con el ascenso del metanefros y el descenso





de la gónada aquel pierde su conexión con la cuarta arteria esplácnica lateral lumbar y recibe su irrigación de la tercera esplácnica lateral que está irrigando la parte más caudal de la glándula suprarrenal, Figura 2C. El metanefros adquiere su disposición definitiva a mediados del tercer mes recibiendo entonces la irrigación de la arteria suprarrenal inferior, el mayor desarrollo del metanefros en la vida fetal, debido al inicio de su funcionalismo, y las rotaciones que sufre hasta alcanzar su localización definitiva hacen que lo que era una rama de la arteria suprarrenal inferior pase a ser muy voluminosa quedando entonces la arteria suprarrenal inferior adelgazada, por lo que ésta parece surgir como rama de la arteria renal. Este es el fenómeno que conduce a que la arteria renal sea rama de la aorta y la suprarrenal inferior sea rama de la renal lo contrario de lo que ocurre en la vida embrionaria, Figura 2C.

Cuando el ascenso del metanefros es mayor puede recibir irrigación de la segunda arteria esplácnica lateral, que normalmente constituye la arteria suprarrenal media.

El origen de las arterias renales a partir de las suprarrenales, gonadales pueden ser explicado por dos mecanismos distintos: A) que el metanefros mantenga su conexión embrionaria transitoria con estos vasos o B) que a través de las anastomosis longitudinales que existen entre las arterias esplácnicas laterales se mantenga la conexión a través de estas anastomosis adquiriendo gran desarrollo y no produciéndose o atrofiándose la conexión del metanefros con la tercera arteria esplácnica lateral lumbar; el que los vasos gonadales o suprarrenales surjan de la arteria renal sería por la inversión del mismo mecanismo.

La existencia de arterias polares se debe a la persistencia de pequeños vasos posiblemente mesonéfricos que en el curso de degeneración del mesonefros en lugar de atrofiarse pasan a nutrir las zonas del metanefros que están en su vecindad. La presencia de arterias renales dobles o triples ha sido atribuida a estos

---

Figura 2.—Esquema que muestra la evolución de la irrigación del riñón y de las cápsulas suprarrenales:

- A) Fases iniciales del desarrollo: La irrigación del metanefros procede de la arteria sacra media (1). Las tres primeras arterias esplácnicas laterales (2) irrigan a la suprarrenal (S) y al diafragma (D). La cuarta (4) a la gónada (G). La quinta (5) dará lugar a la arteria ilíaca (I). a) Aorta, U) Art. Umbilical.
- B) Fases intermedias: El metanefros recibe su irrigación de las arterias esplácnicas laterales en este caso se ha representado la cuarta arteria que irriga inicialmente a la gónada y que también irriga transitoriamente al metanefros. El mayor desarrollo del diafragma hace que la arteria suprarrenal superior sea rama de la diafragmática inferior.
- C) Fase definitiva: El metanefros adquiere su irrigación a partir de la tercera arteria esplácnica lateral, pasando a ser la arteria suprarrenal inferior rama de la arteria renal.

mismos vasos, pero en mi opinión también pueden deberse a que exista un número anómalo de arterias esplácnicas laterales que irrigen a la suprarrenal y/ o al metanefros.

La primera arteria esplácnica lateral lumbar irriga desde su inicio a la parte más craneal y lateral de la cápsula suprarrenal, dando una rama colateral destinada al mesenquima del septum transversum, de donde va a derivar, fundamentalmente, entre otras estructuras el diafragma, el mayor desarrollo de éste hace que esta rama adquiera un mayor calibre, en un proceso similar al de la arteria renal, y la arteria suprarrenal superior pasa a ser rama de esta arteria que constituirá en el adulto la arteria diafragmática o frénica inferior, Figura 2.

No debemos olvidar que estas arterias esplácnicas laterales establecen anastomosis entre sí a través de arterias longitudinales y que la persistencia de una de estas anastomosis puede dar lugar a una irrigación suplementaria del riñón, ramas renales procedentes de la frénica, suprarrenal media o gonadal, pero que también por motivos no claramente establecidos estas anastomosis pueden adquirir tal importancia que puedan constituir el vaso renal más importante.

La presencia de arterias renales procedentes de vasos destinados al aparato digestivo (hepáticas, cólicas) o que estas ramas digestivas procedan de la arteria renal se explica más difícilmente. La conexión se podría realizar a través de conexiones entre las anastomosis longitudinales de las arterias esplácnicas ventrales o dorsales. La constancia, cuando existe, de la arteria hepática surgiendo como rama de la arteria renal derecha o a la inversa la renal derecha surgiendo como rama de la hepática, hace factible pensar que deba existir una conexión entre la anastomosis longitudinal ventral de las arterias esplácnicas ventrales con las arterias esplácnicas laterales lumbares derechas. El que la arteria renal izquierda, ocasionalmente, de ramas pancreático duodenales y ramas cólicas, o lo contrario que el riñón izquierdo pueda ser irrigado, suplementaria o únicamente, por dichas arterias, es explicado por la conexión con la anastomosis longitudinal dorsal de las arterias esplácnicas ventrales con las arterias esplácnicas laterales lumbares. El problema reside en saber cuándo se establece la conexión, si en las fases iniciales antes de la rotación del asa intestinal o estas anastomosis se producen cuando se producen los fenómenos de pegamiento del intestino.

En mi opinión estos hechos pueden ocurrir, pero no debemos olvidar la existencia de que las arterias esplácnicas laterales, tanto derechas como izquierdas, en su discurrir hacia los órganos a los que van destinados establecen conexiones con las ramas de las arterias esplácnicas ventrales y que estos hechos ocurren muy precozmente, aunque de forma muy transitoria y por tanto podría ocurrir que los hechos descritos en el párrafo anterior se debieran a la persistencia de estas conexiones en estadios muy precoces del desarrollo.

La explicación de estas redistribuciones vasculares ha sido atribuida a adaptaciones hemodinámicas de las distintas redes vasculares en el curso del desarrollo (Barth y cols., 1976).

El origen de las arterias renales a partir de la arteria sacra media o de las ilíacas es más frecuente en los riñones con anomalías de posición y son fácilmente explicables por que lo único que hace el riñón adulto es mantener la conexión con los vasos que irrigan al metanefros en su etapa inicial del desarrollo.

De cualquier forma las variaciones existentes en el adulto son tan frecuentes que las interpretaciones embriológicas de las mismas se hacen difícilmente explicables en todos los casos y es un campo de investigación abierto a todos los interesados en este campo.

## BIBLIOGRAFIA

- Altschule, M. D.: «The changes in the mesonephric tubules of human embryos ten to twelve weeks old». *Anat. Rec.*, 46: 81-91, 1930.
- Barth, M.; Tongio, J., y Warter, P.: «Interprétation embryologique de l'anatomie des artères digestives». *Ann. Radiol.*, 19: 305-313, 1976.
- Bergman, R. A.; Thompson, S. A.; Afifi, A. K., y Saadeh, F. A.: «Compendium of human anatomic variation: Cardiovascular System». Urban & Schwarzenberg, Baltimore, 1988.
- Fraser, E. A.: «The pronephros and early development of the mesonephros in the cat». *J. Anat.*, 54: 287-304, 1920.
- Heuser, C. H.: «A human embryo with 14 pairs of somites». *Contrib. Embryol. Carnegie Inst. Wash.*, 22: 135-153, 1930.
- Puerta, J.; Jiménez, J., y Cárceles, J.: «Duplication of the metanephric outline and ureteric bud in a human embryo of 6 mm.». *Eur. Urol.*, 6: 368-371, 1980.
- Torrey, T. W.: «The early development of the human nephros». *Contrib. Embryol. Carnegie Inst. Wash.*, 35: 175-197, 1954.
- Torrey, T. W.: «Morphogenesis of the vertebrate kidney». In *Organogenesis*, R. L. DeHaan and H. Ursprung (eds.), Rinehart and Winston, New York, 1965.