

Departamento Ciencias Morfológicas

Facultad de Medicina

Universidad de Granada

TESIS DOCTORAL

"MORFOGENESIS Y HORARIO MORFOGENICO DE LA ARTICULACION DE LA  
RODILLA DURANTE LOS PERIODOS EMBRIONARIO Y FETAL TEMPRANO".

Por

CARMEN HUERTAS BUENO

DIRECTORES:

Dr. Juan de Dios García García y Dr. Juan Antonio Mérida Velasco,  
Catedrático y Profesor Titular de Universidad, respectivamente,  
del AREA DE CIENCIAS MORFOLOGICAS (Anatomía Humana), de la  
Facultad de Medicina de la Universidad de Granada.



UNIVERSIDAD DE GRANADA  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS  
MORFOLOGICAS

18012 - GRANADA

D. JUAN DE DIOS GARCIA GARCIA (A. 110.442) y D. JUAN ANTONIO MERIDA VELASCO (A. 449.04676), Catedrático y Profesor Titular de Universidad, respectivamente, del AREA DE CIENCIAS MORFOLOGICAS (Anatomía Humana) de la Universidad de Granada:

**C E R T I F I C A N:** Que todos los trabajos efectuados para la ejecución de la presente Tesis Doctoral, de Dña. CARMEN HUERTAS BUENO, bajo el título: "MORFOGENESIS Y HORARIO MORFOGENICO DE LA ARTICULACION DE LA RODILLA DURANTE LOS PERIODOS EMBRIONARIO Y FETAL TEMPRANO", han sido realizados bajo nuestra dirección en el Departamento de CIENCIAS MORFOLOGICAS (Anatomía Humana) de la Universidad de Granada.

Con la debida antelación, se ha puesto en conocimiento del Ilustrísimo Señor Decano, de la Facultad de Medicina, que dichos trabajos se destinaban para el fin señalado.

Y para que conste, firmamos la presente certificación en Granada a veintiseis de Marzo de mil novecientos ochenta y siete.

DIRECTORES DE LA TESIS

Edo. Juan de Dios García García.      Edo. Juan A. Mérida Velasco.

INDICE

I N D I C E

	Pag.
INTRODUCCION Y JUSTIFICACION .....	1
MATERIAL Y METODOS .....	113
OBSERVACIONES .....	129
RESULTADOS .....	348
DISCUSION .....	421
CONCLUSIONES .....	444
BIBLIOGRAFIA .....	446

AGRADECIMIENTOS

Son muchas las personas que a lo largo de mi carrera, de alguna manera, me han prestado su ayuda, estímulo y consejo. A todas ellas va destinado mi agradecimiento.

Quiero agradecer a **D. Juan de Dios García García**, Catedrático del Departamento de Ciencias Morfológicas de la Universidad de Granada, el haberme permitido la realización de este trabajo de investigación, que para mí siempre había sido un sueño.

A **D. Juan Antonio Mérida Velasco**, compañero y amigo, por su desinteresada ayuda, quien con su valía universitaria y profesional me ha dedicado muchas horas de su tiempo y trabajo. Así como a **D. Joaquín Espín Ferra**.

A mis excelentes amigas, **Mercedes e Ino Nieto García**, que me ofrecieron, desde el principio, su casa y después su apoyo y a las que tengo un gran cariño.

A todo el personal del Departamento, y muy especialmente a **Pafael Linares**, que me ha animado en los malos momentos, **Srta. Marieta**, por su buen hacer mecanográfico, a **Sensi**, que ha realizado el revelado de las fotografías utilizadas.

Y sobre todo, a mis padres, hermana y a Juan, que me han enseñado que con ilusión, esfuerzo y constancia se pueden llegar a realizar las metas que cada cual se traza en su vida y han tenido paciencia para esperar que yo vea cumplida ésta.

"Para realizar un gran sueño, lo primero que hace falta es una gran aptitud para soñar; luego, la persistencia, que es la fé en el sueño de uno".

**A MIS PADRES Y A JUAN**



## PROLOGO

Siempre he tenido la idea de que el investigador es una persona que vive en un mundo aparte, que toda su vida gira en torno a ese pequeño gran mundo que es el laboratorio, el microscopio, los portas..., y que con ello se evade un poco del resto de los problemas que la vida va presentándole. En el curso de este mi pequeño grano de arena en el gran desierto de la investigación he sentido que en la vida de éste descubridor de secretos, el investigador, se van alternando períodos de gran entusiasmo y desilusión, que contribuyen a fortalecerle el espíritu y a aprender a madurar con el firmen convencimiento de que en esta vida nadie es imprescindible.

4  
Mi homenaje es para todos estos "prescindibles" y ocultos investigadores.

CARMEN.

INTRODUCCION

Y

JUSTIFICACION

El estudio de la morfogénesis de los miembros en general y de su esqueleto y articulaciones en particular, ha sido objeto de estudio de los embriólogos clásicos. Si bien en general el tema fue abordado por ellos con unas grandes dosis de empirismo e imaginación. El estudio profundo de la morfogénesis de los miembros se ha iniciado, sin lugar a dudas, en los últimos 30 años, al amparo sobre todo de la embriología causal y experimental, analizándose la intimidad de la organización de los distintos elementos esqueléticos y articulares. En cualquier caso, y refiriéndonos al miembro inferior, quizás la articulación de la rodilla ha sido el objeto predilecto de los distintos investigadores, posiblemente en aras de descubrir su complejidad articular, por la participación en ella de los meniscos articulares. De todos modos al analizar y contrastar los datos bibliográficos de que disponemos sobre este particular nos llama la atención el que no exista unanimidad de criterios a la hora de establecer el origen y desarrollo de los distintos elementos que participan en la organización del citado sistema articular. Tampoco existe, además, ningún estudio completo que establezca en especímenes humanos durante los periodos embrionario y fetal temprano, el correspondiente horario morfogenético articular.

Esta situación es la que nos ha dado pie para abordar el estudio y análisis morfogenético de la citada articulación de la rodilla en especímenes humanos, para contribuir al conocimiento de su organización y desarrollo a la vez que establecer su horario morfogenético no sólo durante el periodo embrionario, sino también

durante el periodo fetal temprano, lo que sería novedoso, para justificar así el presente trabajo de investigación para optar al grado de doctor.

Para facilitar al lector el análisis bibliográfico cronológico sobre la problemática antes citada, es por lo que dividimos este primer capítulo de Introducción y Justificación en una serie de apartados, de modo que se nos permita un análisis bibliográfico más profundo sobre los distintos y complejos elementos que intervienen en la articulación de la rodilla.

#### 1.- FACTORES QUE DETERMINAN EL DESARROLLO DE LA ARTICULACIÓN DE LA RODILLA.-

El análisis del cómo y por qué se establece la articulación de la rodilla ha sido objeto de estudio en gran cantidad de vertebrados por una pléyade de autores.

El establecimiento de esta complicada articulación en los vertebrados, ha sido explicada por **SONNENSCHNEIN (1951) (92)** a partir de la evolución de las aletas de los peces. Este autor afirma que "...El comienzo de la articulación de la rodilla está fundamentado en la evolución de las aletas de los peces. Es la adaptación a los nuevos modos de locomoción lo que explica la aparición de dicha articulación. Al tomar contacto con el suelo, los cambios estáticos que ello comporta, determinan el desarrollo particular de la rodilla, y el establecimiento de un mecanismo

que implica la acción de una palanca, con la consiguiente formación de una articulación altamente especializada, con la interposición de cartílagos intermedios y un reforzamiento ligamentoso. Por tanto, una visión comparativa de conjunto permite comprobar la estrechez que existe entre la forma y la función en la articulación".

Lo obstante, el establecimiento de una forma determinada en la articulación de la rodilla es una cuestión altamente discutida y debatida por importantes investigadores, que han intentado relacionar el desarrollo de esta forma con factores de tipo mecánico o de tipo genético.

Los primeros de ellos fueron **HENKE** y **REYHER** (1874) (46) quienes consideran que "...El movimiento es el factor que determina la forma de la estructura articular". Estos defensores mecanicistas fueron pronto apoyados en sus conclusiones por investigadores de la talla de **SCHULIN** (1879) (88), **HAGEN-TORN** (1882) (38), **TORNIER** (1894) (98), y más recientemente por **FALDINO** (1921) (27), que llegó a la conclusión de que "...La fuerza muscular es un factor muy importante en el desarrollo de las articulaciones, puesto que éstas no se diferencian antes de que aparezcan los tendones en la superficie de ésta".

La réplica surgió en la obra de **BERNAYS** (1878) (10), quien en su clásico trabajo sobre la articulación de la rodilla en el hombre y en otros animales, tras sugerir que existen dos estadios

de desarrollo en la articulación de la rodilla, primero de formación del estero y desarrollo primitivo y segundo muscular, afirma que la forma de la articulación se parece a la del adulto antes de que aparezcan las cavidades y aún antes de que sea posible una actividad muscular, y que son los factores hereditarios los que principalmente determinan la forma de la articulación, aunque no negó, sin embargo, que durante el período muscular la actividad de dichos músculos podía ser un factor importante en la consecución de la alteración en la forma de la articulación. Las teorías de BERNAYS fueron ratificadas por autores como KAZZANDER (1894) (51), BARDEEN (1905) (7), HESSER (1926) (47), LANGER (1929) (54), MARTINO (1935) (57), FELL y CANTI (1934) (28), MC DERMOTT (1943) (59), HAINES (1947) (40), GRAY y GARDNER (1950) (33) y ANDERSEN (1961) (1), entre otros.

Así, FELL y CANTI (1934) (28) demostraron que los rudimentos precondrales del esqueleto de los miembros, explantados por el método de cristal de reloj, sufrieron un crecimiento anatómicamente normal en ausencia de movimiento, y llegaron a afirmar que "...El desarrollo de las articulaciones podría ser controlado por el desarrollo y actividad de los músculos, puesto que en las aves aparecen los mioblastos primitivos en el rudimento de la extremidad en el estadio en el que se puede distinguir el primer indicio de la articulación de la rodilla. También podrían intervenir el suministro nervioso y vascular".

WHILLIS (1940) (103) sin embargo, considera que "...El hecho

de que la unión de los elementos esqueléticos por cartílago primitivo persista en el embrión hasta el 4º-5º mes, y no se observe después de este período, hace tentador suponer que los revivientes fetales son los factores que determinan la terminalización del proceso de formación de la articulación".

Por otro lado STSSONS (1956) (91) opina que en los estadios primitivos del desarrollo sólo tienen importancia los factores intrínsecos, aunque en subsiguientes estadios él concede mucha importancia a los factores extrínsecos y señala que las contracciones del músculo esquelético son esenciales para la formación de la cavidad de la articulación".

AREY (1961) (4) afirma, a este respecto, que "...Las influencias nerviosas, vasculares o musculares no tienen ningún efecto sobre la formación de las cavidades articulares".

HAMILTON y MOSSMAN (1964) (43) señalaron que "...Los factores mecánicos, tales como la presión o la contracción muscular pueden tener influencias modificadoras sobre algunos aspectos de la estructura esquelética, pero las características primarias de la forma y el tamaño del hueso y de la existencia de las articulaciones se deben a una capacidad de autodiferenciación".

DRACHMAN y SOKOLOFF (1966) (24) consiguieron la parálisis del movimiento embrionario en el embrión de pollo con la

administración de bromuro de decametoniun, toxina botulínica, o bien seccionando la médula. Observaron que tras ello la cavidad articular no se formó a nivel de la rodilla. Los resultados obtenidos les permitieron citar la importancia que tiene la contracción muscular esquelética en la formación de las cavidades articulares y en la determinación de la forma de las superficies articulares.

A partir de este momento, han sido numerosos los experimentos encaminados a producir parálisis muscular y observar el efecto de ésta en el desarrollo de las articulaciones, mereciendo ser citados los trabajos, a este respecto de **RUANO y Cols. (1978) (86)**, quienes inhibieron la motilidad muscular en embriones de pollo utilizando succinil-colina, obteniéndose los siguientes resultados "...Después de las observaciones detalladas de los embriones paralizados estamos en condiciones de afirmar que los movimientos son indispensables para la formación y el desarrollo de las cavidades articulares. La ausencia de las cavidades aparece en todas las articulaciones, ya que se pueden encontrar tanto en las grandes, como la rodilla, cadera, hombro y codo, como en las pequeñas articulaciones de la mano y del pie. El espacio articular, por otra parte, está ocupado por un tejido mesenquimatoso no diferenciado. En nuestros experimentos no hemos encontrado ninguna modificación en las estructuras articulares óseas". Pero además estos autores encontraron también modificaciones en otras estructuras que componen la articulación; y continúan diciendo "...Las contracciones musculares esqueléticas



también son necesarias para el mantenimiento de la cavidad articular y de las formaciones paraarticulares. En efecto, todos los embriones cuyo movimiento fue paralizado en los estadios 28-29 de Hamburger-Hamilton y cuyos testigos revelaron la presencia de cavidad articular bien definida, presentaron una regresión de dicha cavidad y su reemplazamiento por tejido mesenquimatoso. Deberíamos anotar que esta regresión afecta a todas las estructuras paraarticulares, tales como la cápsula, los ligamentos y los meniscos".

Dos años más tarde, en (1980) (87), los mismos autores precisan aún más el papel del movimiento en el desarrollo articular mediante la producción de parálisis embrionaria con una perfusión continua de succinil-colina y de hipermotilidad mediante la administración de reserpina, concluyendo que "...Se puede deducir que con la administración de sustancias del tipo del curare se obtienen parálisis de los movimientos embrionarios así como la ausencia de las cavidades, o la regresión de éstas, si ya estaban formadas, de la cápsula, ligamentos y meniscos; con la administración de reserpina, la hipermotilidad obtenida da lugar a la formación de buenas estructuras articulares". Estos resultados confirman pues la poderosa influencia de los factores extrínsecos en el desarrollo de la articulación.

En el mismo sentido MITROVIC (1982) (63) trabajando en embriones de pollo, **White Leghorn** y **Rhode Island** llegó a las siguientes conclusiones: "...Los resultados de nuestros

experimentos, consistentes en la producción de parálisis con decametoniur, sugieren que los factores intrínsecos son importantes para la diferenciación en los estadios primitivos de la hendidurización articular, mientras que el movimiento parece ser condición necesaria para la diferenciación y el mantenimiento de la cavidad articular. Los factores intrínsecos son, sin embargo, ineficaces en el mantenimiento de la diferenciación de la hendidura en ausencia de movimiento". Así mismo afirma que "...la parálisis no inhibe completamente los estadios tempranos de la hendidurización articular, ya que numerosos embriones paralizados presentan pequeñas hendiduras que aparecen en la periferia y ocasionalmente en el centro de la interzona. A diferencia de lo que ocurre en los embriones normales, ellas desaparecen rápidamente, induciendo fusiones a través de las articulaciones".

PERSSON (1983) (80), también tomando como material de estudio los embriones de pollo, considera que "...La ausencia de movimientos musculares en los embriones de pollo impide el desarrollo de las articulaciones sinoviales, ya que éstas depende de aquéllos movimientos".

## **2.- CONDRIFICACION Y OSIFICACION DE LOS ELEMENTOS ESQUELETICOS QUE CONSTITUYEN LA ARTICULACION DE LA RODILLA.**

La articulación de la rodilla, constituida por elementos

primero cartilagosos y más tarde óseos: fémur, tibia y rótula, en el curso de su desarrollo pasa progresivamente por una serie de fases embriológicas y fetales, hasta adquirir su constitución final en el período "a término". Todas estas facetas han sido ampliamente consideradas a lo largo de la historia. Comenzaremos exponiendo las opiniones de los investigadores que se han dedicado a estudiarlas con más detalle, o que hayan hecho alguna aportación que merezca ser citada.

**BERNAYS (1878) (10)** se refirió, fundamentalmente, a la rótula planteándose si el primordio de lo que será la rótula es o no independiente del tendón del músculo cuádriceps femoral y llegó a la conclusión de que "...La rótula es independiente del tendón del cuádriceps femoral".

**BARDEEN (1905) (7)** fijó en parte su atención en el problema de la condricificación primero y osificación después de la rótula, e ilustró su presencia en embriones de 33 mm. de longitud con respecto a sus relaciones con el cuádriceps expone que "...A medida que la musculatura se va diferenciado forma un tendón para el cuádriceps delante de la articulación de la rodilla, y, dentro de este tendón se diferenciará la rótula".

**DE VRIES (1908) (100)** destacó la idea de que la rótula fuese un hueso sesamoideo en el tendón del cuádriceps. Notificó además que en los fetos humanos era relativamente grande y que en los fetos de 4 meses tenía ya la forma que presentaría en el adulto.

En el desarrollo postnatal su tamaño relativo disminuirá, en contraste con el sorprendente alargamiento absoluto y relativo del cuádriceps, ya que para él la rótula es un hueso que experimenta regresión.

CAREY (1922) (14) realizó un detallado estudio de la condrogénesis de la extremidad inferior en el embrión de cerdo, señalando que: "...En el embrión de cerdo de 13 mm. se produce una condensación del mesénquima en la yema de la pata. Este centro de condensación crece en sentido próximo-distal, presentando proximalmente un proceso ilíaco, otro púbico y otro isquiático, y distalmente el correspondiente a la extremidad proximal del fémur. Estos centros de crecimiento acelerado dispersos de forma segmentada en el esqueleto blastémico, aparentemente continuo, son anteriores en el tiempo a la formación de la articulación, y parecen corresponder a los centros condrogénicos. La condrogénesis comienza y es siempre más avanzada en la región media de los rudimentos de los huesos largos, y las diáfisis son condrificadas en un estadio en el que la región de la articulación está aún compuesta por un mesodermo no diferenciado. Los cartílagos en desarrollo aumentan más rápidamente que el mesodermo no diferenciado porque aumentan en volumen de tres formas, a saber: por la producción de material intercelular, por la división celular y por el crecimiento de las células individuales; mientras que el mesodermo está aumentado por división celular. Por lo tanto, se podría esperar que los tejidos blandos de la articulación y del pericondrio presenten

una resistencia a la expansión de los centros de condricación. La expansión de los centros de condricación, cuya forma está determinada por el mosaico de la extremidad, tienden a comprimir el tejido vecino no diferenciado, en una especie de cápsula alrededor del cartilago. A medida que la condricación y el crecimiento diferencial se ha producido, la condricación se va extinguiendo en la región epifisial de los dos elementos opuestos, tales como el fémur y la tibia en desarrollo, una cantidad cada vez mayor de tejido articular quedaría comprimida e incorporada a uno de los rudimentos adyacentes de dichos huesos largos". En otro embrión estudiado, este de 15 mm. de longitud, obtuvo la siguiente información: "...Desde el centro de la formación esquelética, la condensación no solo se ha ampliado en sentido próximo distal sino que además se observan centros de osificación. Estos aparecen por primera vez en el fémur, tibia y peroné".

Cinco años más tarde, CAREY y ZEIT ( 1927) (15) estudiaron el desarrollo y osificación de la rótula y encontraron que el tendón del recto femoral pasa enfrente del primordio de la rótula, y que solamente el vasto intermedio se introduce en su borde superior. Describieron, así mismo, la arquitectura interna típica del cartilago articular de la rótula en fetos más jóvenes, y en los más viejos cómo se introducen los vasos sanguíneos en la rótula cartilaginosa, solamente desde su aspecto anterior.

En 1929, LANGER (54), llegó a demostrar que "...En embriones

de 24 mm. de longitud ya existe la forma adulta general de los huesos de la articulación de la rodilla" y refiriéndose a la rótula consideró que "...Aparece por primera vez en el estadio de 26 mm.", negando que estuviese presente antes.

En su "Manual de Embriología Humana" TAURE (1930) (97) expone que "...de las estructuras del miembro, la primera en diferenciarse es el esqueleto, que deriva a principios de la 6ª semana del mesénquima del miembro, formándose el esqueleto cartilaginoso y al terminar el segundo mes se originan los puntos de osificación que formarán el esqueleto definitivo. La condricificación del mesodermo del miembro inferior tiene lugar algo más tarde que en el miembro superior, aproximadamente una semana. A fines de la 7ª semana aparecen los centros cartilagosos de todas las piezas del miembro inferior. Para TAURE los puntos de osificación del miembro inferior aparecen así: - **Fémur:** - punto primario de osificación para la diáfisis y cuello en el segundo mes.

- puntos complementarios, uno para la epífisis inferior en el 9º mes, y tres para la epífisis superior que aparecen en este orden: 1º para la cabeza del fémur en el 2º mes, 2º para el trocánter mayor en el 3º año, y el 3º para el trocánter menor en el octavo año.

- **Rótula:** Sólo tiene un punto de osificación que aparece del 1º al 5º año y que se completa en el vigésimo año.

7

- **Tibia:** - punto primitivo diafisario a los 30-40 días.  
- puntos complementarios: uno para la epífisis superior, en la época del nacimiento, otro para la epífisis superior en el segundo año y otro para el tubérculo anterior en el tercer año.

- **Peroné:** - punto primitivo diafisario, en la misma edad que el de la tibia, 35-45 días.

- puntos complementarios: uno para la diáfisis superior a los diez años y para el inferior al cuarto año.

**FELL y CANTI (1934) (28)** en sus estudios experimentales sobre el desarrollo de la articulación de la rodilla en las aves "in vitro" se plantean el modo en que se desarrollan los dos rudimentos óseos opuestos de una articulación a partir de un bloque de mesodermo, y cómo estos dos rudimentos son capaces de separarse y dar lugar a dos unidades independientes, en lugar de formar una continuidad, es decir, se plantean el modo de separación de las superficies articulares adyacentes, y concluyen diciendo "...las observaciones de la histogénesis normal de la articulación de la rodilla muestran que el tejido articular es condrogénico, al igual que el resto del blastema, de modo que la formación de la articulación no se debe a la presencia de tejido histogénicamente diferente en la futura línea articulada".

En su trabajo de investigación "El desarrollo de la rótula", **WALMSLEY (1940) (101)**, trabajando sobre especímenes comprendidos

entre 20 mm. hasta el período "a término", está en condiciones de afirmar que "...En el embrión de 20 mm., así como en estadios posteriores del desarrollo, la articulación de la rodilla está en posición flexionada. El fémur y la tibia, en estos estadios, son cartilagosos. Sus extremos están cubiertos por una espesa capa, de pericondrio, condrogénica, que consiste en células redondeadas densamente agregadas. Las partes posteriores de las zonas pericondrales de los dos cartílagos son continuas entre sí, pero las porciones anteriores están separadas por una evidente capa laxa de tejido poco celular. En donde el cuádriceps está en relación con el fémur se observa una agregación de células redondeadas en los tres quintos más profundos de su sustancia. Es la temprana representación de la rótula, y aunque sus márgenes son indefinidos, obviamente está limitada a la sustancia del cuádriceps, y se produce como una gradual transición de sus células en las de la malla de dicho músculo. Entre el cuádriceps y el fémur hay una capa de tejido laxo que está en continuidad, por debajo, con el tejido laxo existente entre la rótula y el fémur. La rótula se presenta en estado precartilaginoso en la parte profunda de la masa del cuádriceps a los 20 mm.. En los embriones de 23-24 mm., se observa un adelanto considerable en la definición de la rótula y del músculo cuádriceps. La agregación de la rótula es mayor, es más densa en estructura y siguen existiendo en ella células redondeadas. En la parte profunda de la rótula se observa un tejido laxo, que, como en el estadio de 20 mm., está en continuidad con un tejido similar por debajo del cuádriceps, por arriba, y con la rodilla, por abajo. Aunque no



hay contacto directo de la rótula y de la parte inferior del fémur, la porción inferior de la superficie patelar del fémur ha tomado ya forma. En el embrión de 30 mm. la rótula se va haciendo cartilaginosa y a los 32 mm. la rótula se observa bien formada, en su porción de origen, por encima de la porción inferior del extremo del fémur."

MC DERMOTT (1943) (59) estudió detalladamente el desarrollo de la articulación de la rodilla humana, y en lo que se refiere a la condricación de la extremidad inferior señaló que "...En los días 28-30 se observan en las venas de las extremidades la condensación de las células blastémicas en forma de esbozos de estructuras esqueléticas. Entre los días 47-51 el fémur está bien perfilado en la forma de precartilago, y ya ha comenzado la condricación. También ha comenzado en la tibia, pero es menor que en el fémur. El pericondrio, en esta etapa, está bien desarrollado y distinguible. El fémur y la tibia forman entre sí un ángulo recto en la región de la futura articulación de la rodilla. Entre los días 52-55 el proceso de condricación es más avanzado en el fémur, en donde está presente la prominencia condilar. También es más completa la condricación de la tibia y del peroné. Hacia los 60 días se aprecia la condensación del blastema para la formación de la rótula. Entre la 8ª-9ª semana, el fémur, la tibia y el peroné consisten en precartilago. Al rededor de todos los aspectos del hueso se observa una banda de condensación de células mesenquimales que forman la membrana limitante o pericondrio. Además puede reconocerse la condensación

del mesénquima para el desarrollo de la rótula. Entre la 9<sup>a</sup>-10<sup>a</sup> semanas se observa que los contornos de la tibia y del peroné son iguales que en el adulto, con la excepción de las espinas tibiales que no están perfectamente enmarcadas. Entre la 10<sup>a</sup>-11<sup>a</sup> semanas la rótula se reconoce como cartílago primitivo".

El desarrollo de las extremidades para PUJIULA (1943) (82) tiene una dirección centrífuga, es decir, del tronco hacia fuera, y además en el desarrollo se adelantan las extremidades superiores a las inferiores. Afirma que "...En el desarrollo del esqueleto de las extremidades se pueden considerar tres estadios, como en el de las demás partes: Estadio membranoso, cartilaginoso y óseo", y continúa "...El esqueleto de las extremidades está bien formado en cada una de sus partes o huesos, primero por el esqueleto precondral, caracterizado por sus numerosas células o núcleos celulares, y luego por los cartílagos individualizados, correspondientes a los diversos huesos definitivos, cada uno con la forma que presenta el hueso de sustitución. Así, en el fémur, vemos como su diáfisis comienza a osificarse en la 7<sup>a</sup> semana. Justo antes del nacimiento se forma también un punto de osificación para la diáfisis distal. La rótula, en su esbozo cartilaginoso, aparece hacia la 10<sup>a</sup> semana, y su osificación por un solo punto tiene lugar hacia los tres años de vida. En cuanto a la tibia y peroné comienza su osificación diafisaria muy pronto. La epífisis para la tibia aparece hacia el 1<sup>o</sup>-3<sup>o</sup> año. La epífisis del peroné también aparece en vida extrauterina".

Para CELESTINO DA COSTA (1945) (16) "...Las futuras piezas óseas se delimitan en el seno del escleroblastema. El proceso comienza hacia la extremidad proximal de los miembros y se extiende sea hacia la inserción del tronco, sea en dirección distal".

EBERL-ROTHER y SONNENSCHNEIN (1950) (26), al igual que otros investigadores, consideran que la rótula es un hueso independiente del tendón del cuádriceps femoral.

En un estudio sobre el desarrollo de las articulaciones del codo y la rodilla en el embrión de pollo, llevado a cabo por O'RAHILLY (1952) (71), este autor afirma que "...El blastema precartilaginoso aparece en el estadio 26 de Harburger-Hamilton (4'5-5 días) como tres largos segmentos óseos separados por una interzona homogénea. Las extremidades del fémur aparecen engrosadas para el estadio 28."

Unos años más tarde O'RAHILLY y GARDNER (1965) (73) estudiaron el desarrollo embriológico de la rodilla en el pollo, asegurando que "...Los elementos esqueléticos que integran esta articulación se condrifican en el estadio 27. La osificación diafisaria de estos elementos comienza aproximadamente en los estadios 28-29, y la condensación patelar puede ser discernible en estadios tan tempranos como el 29-30. En el estadio 36 la rótula ha comenzado a condrificarse". Concluyen "...Al comparar los datos obtenidos en el pollo con los obtenidos en los

embriones humanos los resultados son extraordinariamente parecidos.

O'RAHILLY, GARDNER y GRAY ( 1956 ) (74), trabajando con 70 embriones humanos y exponiendo sus resultados en Horizontes, están en condiciones de afirmar que "...En la extremidad inferior las condensaciones mesenquimales para el esqueleto aparecen durante el horizonte 15. En los embriones que se encuentran en el estadio 17 (8'6 a 14'5 mm.) las condensaciones blastémicas para los elementos esqueléticos del muslo, la pierna, y ocasionalmente del pie, estuvieron presentes. La condricificación del fémur, y a veces de la tibia, fue observada en algunos especímenes. En los embriones que se encontraban en el horizonte 18 (11'7-18 mm.) el desarrollo de los elementos esqueléticos había avanzado más".

GRAY, GARDNER y O'RAHILLY ( 1957 ) (34) afirmarán, poco después, que en el estadio 17 (11-14 mm., 41 días) el fémur, la tibia y el peroné son mesenquimatosos". "...En el estadio 18 (13-17 mm., 44 días) la condricificación del peroné es más acusada que la de la tibia. En el estadio 21 (22-24 mm., 52 días) la tibia y el peroné muestran el cartílago en la fase 4 de Streeter, y en el estadio 22 (23-28 mm., 54 días) los peronés contienen cartílagos en las cuatro fases de Streeter".

En las generalidades, expuestas por PATTEN (1958) (78), sobre el esqueleto de los miembros, puede leerse "...La denominación de esqueleto apendicular se emplea para designar las

cinturas escapular y pelviana, así como los huesos de los miembros. En un plan básico y estructural, los brazos y las piernas son comparables. A principios de la 6ª semana tenues condensaciones mesenquimatosas representan los esbozos que intervienen en la formación de los miembros y de sus cinturas escapular y pelviana. Hacia la terminación de la 6ª semana estas condensaciones precartilaginosas se han modelado lo suficiente para sugerir algunos de los huesos principales. En la 8ª semana también aparecen los centros de osificación primarios de los principales huesos largos de la pierna".

**CIHAK y PUZANOVA (1960) (17)** consideran que "...La rótula humana comienza su evolución como un disco elíptico, con ángulo proximal y finales distales; durante la cavitación de la articulación de la rodilla comienza a redondearse con pequeños restos de tejido pericondral sobre la margen proximal y distal. La rótula, en los fetos jóvenes está curvada, en conformidad con la flexión de la articulación de la rodilla fetal. Su temprana forma fetal puede ser comparada con la de los mamíferos inferiores. A causa de su posición con respecto a la articulación de la rodilla la rótula asciende a la vez que sufre un desplazamiento fibular (fetos de 40-50 mm. de longitud). Desde los 55 mm. de longitud la rótula alcanza su definitiva forma".

**ANDERSEN (1961) (1)** sugiere que "...El primordio de la rótula está en el blastema situado por detrás del tendón extensor, que se forma antes, y que después se produce la

invasión secundaria a dicho tendón". Por lo tanto, la rótula parece desarrollarse en el blastema, al igual que los demás huesos de la articulación de la rodilla. Su invasión al tendón del cuádriceps es un fenómeno secundario.

**NOBACK y ROBERTSON (1951) (68)** consideran que los centros de osificación de los huesos aparecen durante los cinco primeros meses de la vida prenatal. Pasándose en un estudio realizado en 136 embriones humanos teñidos con Rojo Alcian exponen que "...En la extremidad inferior la secuencia de aparición es: 1º el fémur, 2º la tibia, 3º el peroné, 4º los metatarsianos, 5º las falanges distales, 6º las falanges proximales y 7º las falanges medias".

Muy extensa es la exposición que hacen **GARDNER y O'RAHILLY (1968) (30)** sobre el desarrollo temprano de la articulación de la rodilla en embriones humanos, destacando que "...Alrededor de la 5ª semana después de la fertilización empiezan a condrificarse las porciones esqueléticas de los miembros inferiores en una secuencia proximo-distal". La secuencia de los eventos por estadios, es "...Estadio 18 (11'7-17 mm., 6 semanas postovulatorias): han empezado a experimentar condricación el fémur, la tibia y el peroné. El peroné está relativamente cerca del fémur. En el estadio 21 (22-24 mm., 7'5 semanas postovulatorias) la rótula está en trance de condricación, en al menos 4 de los 5 especímenes estudiados. En el estadio 22 (embrión de 23'4-25'8 mm., 7'5-8 semanas postovulatorias) la tibia, el peroné y el fémur tenían formas bien definidas y

cartilagosas. La rótula estaba en vías de condricación, y estuvieron presentes collares óseos alrededor del fémur y de la tibia. La articulación de la rodilla era similar a la del adulto. En el estadio 23 (27-31 mm., 8 semanas postovulatorias) el fémur y la tibia tenían collares óseos y la articulación de la rodilla se parece, en cuanto a la forma, disposición y orientación a la del adulto". Más tarde agregan que "...El fémur, la tibia y el peroné han empezado a experimentar condricación en el estadio 18. La rótula mesenquimal pudo ser distinguida en los estadios 19-20, y ha comenzado su condricación en los estadios 21-22. Las áreas óseas empezaron a formarse en el fémur y en la tibia en los estadios 22-23. Por tanto el período crítico en el desarrollo de la articulación de la rodilla corresponde, aproximadamente, al período crítico de la extremidad inferior, pero es posible que dicho período sea más bien breve".

**GENIS (1970) (31)**, refiriéndose a la condricación, considera que "...En el horizonte XVII (8'6-14'5 mm., 35 días) el proceso de condricación es claramente manifiesto. En el miembro inferior la condensación cartilaginosa del fémur precede, ligeramente, a la de la tibia para, posteriormente, horizonte XVIII, condricarse las porciones más distales".

**O'RAHILLY y GARDNER (1972) (75)**, en su trabajo realizado sobre 36 embriones humanos exponen que "...En el estadio 22 (aproximadamente 23-23 mm.) están presentes los collares óseos para el fémur y la tibia, aunque no para el peroné. En el estadio

23 (aproximadamente 27-31 mm.) el peroné parece haber adquirido un delgado collar óseo, en dos de los especímenes de este estadio". "...Por lo tanto, podemos decir, que la condricación comienza en el fémur, tibia y peroné en los estadios 22-23".

Para **HAMILTON y MOSSMAN (1975) (44)** "...Las condensaciones mesenquimatosas de los huesos de las extremidades aparecen siguiendo una secuencia proximo-distal, en un periodo relativamente temprano (alrededor de la 6ª semana de desarrollo, 12 mm. de longitud). Como todos los elementos cartilaginosos, éstos están precedidos por un estado membranoso o de blastema y los centros de condricación corresponden a los centros primarios de osificación, que aparecen poco después. Los centros primarios de osificación se forman en los huesos largos cuando el embrión mide 25 mm., más o menos, (8ª semana del desarrollo). Antes del nacimiento hay centros primarios de osificación en todos los huesos de ambas extremidades, excepto en la rótula. Los únicos centros secundarios presentes, normalmente, en el momento del nacimiento se hallan en la epífisis distal del fémur y, en ocasiones, en la proximal de la tibia".

**MOORE (1975) (65)** es de la opinión de que "...Los primordios mesenquimatosos de los huesos experimentan condricación para que se formen modelos cartilaginosos del futuro esqueleto apendicular durante la 6ª semana".

En este sentido, **O'RAHILLY y GARDNER (1965) (76)**



establecen que "...Los componentes músculo-esqueléticos de las extremidades se desarrollan directamente a partir del mesénquima indiferenciado. Se desarrollan in situ, pero no pasan por una fase característica de las formas inferiores adultas. Durante el desarrollo de las extremidades, la proliferación celular y la condricificación y osificación ocurren en los componentes esqueléticos. Para finales del periodo embrionario, propiamente dicho, (estadio 23), todos los elementos principales del esqueleto, articulares, musculares, neurales y vasculares de las extremidades están presentes en una forma y en una disposición parecidas a la del adulto. Los diversos eventos aparecen y ocurren, generalmente, unos pocos días antes en las extremidades superiores que en las inferiores". En cuanto a la cuestión de la condricificación y osificación de la rodilla, "...En el estadio 19 (16-18 mm., 48 días) la rótula es mesenquimal y pueden encontrarse zonas de cartílago hipertrofiado en tibia y peroné. En el estadio 20 (18-22 mm., 51 días) la rótula ya es evidente, comenzando a condricificarse en el estadio 21-22".

**LANGMAN (1976) (55)**, por su parte, asegura que "...Para la 6ª semana pueden identificarse por 1ª vez los llamados modelos de cartílago hialino, que anuncian los huesos de las extremidades. La osificación de los huesos de la extremidad se llama endocondral. Mientras que se está estableciendo la forma externa, el mesénquima de los estozos de la extremidad comienza a condensarse y las células se tornan redondeadas: condroblastos. El espacio intercelular contiene fibras de colágeno, incluidas en

una sustancia basófila homogénea: la sustancia fundamental o de cemento".

HOLDER (1978) (48) señala que el orden de aparición de los centros de osificación en los elementos esqueléticos de la pata del pollo en desarrollo es: Fémur, 32-33 mm., 7'5 días de incubación; Tibia, 32-33 mm., 7'5 días de incubación; Peroné, 32-33 mm., 7'5 días de incubación.

CACERES y CAJA (1980) (13), en su estudio sobre la rodilla en periodos embrionarios y fetal humano precisan que "...En el embrión de 18 mm. aparecen en formación las estructuras óseas, apreciándose el fémur y la tibia y no siendo visible aún la rótula. En el embrión de 24'5 mm. los elementos óseos se concretan y el primordio de la rótula se hace visible. Los núcleos primarios de osificación del fémur y de la tibia son visibles en este periodo. En el embrión de 28 mm., la rótula ya está definida, siendo la última estructura ósea que se diferencia. En el embrión de 30 mm. las estructuras óseas están perfectamente definidas, y la rótula se encuentra en posición más anteroexterna de lo que estará en el feto". En el periodo fetal humano afirman que "...La rótula se inicia como un engrosamiento del cuádriceps, ocupa una posición externa, relacionándose con el cóndilo femoral ampliamente".

PALACIOS y RHODE (1980) (77) consideran que los primordios óseos, que van a participar en la articulación pasan por los

estadios sucesivos de la condensación mesenquimal continua, dentro del escleroblastema central del brazo apendicular, segmentación en forma de blastemas mesenquimales de los elementos de estilopodo y de cigopodo, invasión por núcleos cartilagosos, siempre en el orden: Fémur, tibia y peroné.

Los estadios histogénicos de los primordios óseos son: mesenquimales; en los que el primordio está formado por una red de células anastomosadas entre sí por sus prolongaciones citoplasmáticas, de carácter conjuntivo embrionario; procondroblástico: con agrupación de los mesoblastos en un ambiente intercelular fundamental; y precondral: en el que las células ya segregan ácido condroitín sulfato, fibras elásticas, en menor cuantía. La invasión de los precartilagos mesenquimales por núcleos de cartilago se efectúa durante el estadio XVIII (13 mm., 44 días). Los modelos cartilagosos, finalmente formados, crecen por aposición subpericondral y división de las propias células del modelo cartilaginoso en formación, tanto en anchura como en longitud".

**MILAIRE y ROOZE (1982) (16)** en un estudio morfológico, histoquímico y autorradiográfico del desarrollo del esqueleto de los miembros en embriones de ratón normales de raza blanca, de raza negra e híbridos, exponen: "...Un blastema preesquelético denso, indiferenciado y continuo prefigura someramente la forma y la orientación de los rudimentos esqueléticos de las cinturas, del estilopodio y del cigopodio en las yemas de los miembros

posteriores de embriones de 11 días. En las yemas posteriores de embriones de 12 días, las tres primeras fases de esqueletogénesis están representadas"; y dentro de las observaciones macroscópicas obtenidas por ellos señalan: "...El estudio macroscópico de las yemas tratadas con colorante de Watson permite seguir el crecimiento y el modelaje de los esbozos cartilagosos en la fase tres de la esqueletogénesis, y de separar entre ellas los tres primeros puntos de osificación primaria. En las yemas de 13 1/3 días, en las cuales la afinidad de los precartilagos por el Azul Alcian permite distinguir su forma y su orientación, el fémur está orientado en flexión, perpendicularmente al esbozo del hueso coxal; la tibia y el peroné están flexionados 90 ° con respecto al fémur. Los contornos de los cartílagos quedan todavía bastante imprecisos, particularmente a nivel de las epífisis del fémur y de la tibia. En los embriones de 14 días las zonas epifisarias del fémur se han hecho más claras. Un traslúcido centro diafisario testimonia la modificación hipertrófica que pone en marcha el proceso de osificación primaria a nivel del fémur, de la tibia y del peroné. La tibia se incurva hasta tener una concavidad posterior; el peroné tiende a hacerse sinuoso. En los embriones de 14'5 días una cuña coloreable con el Azul Alcian está diferenciada en la zona centro-diafisaria del fémur y de la tibia. En el estadio 15 se notará una discreta y difusa coloración a nivel del esbozo de la rótula y de la cuña perióstica condrodiafisaria del peroné. Se puede concluir que la maduración es algo más avanzada en la tibia, en la cual la trama cartilaginosa ha desaparecido ya en la zona central del punto o

centro de osificación, mientras que su destrucción no se ha iniciado en el peroné. En el estadio 16, la rótula está bien definida y el modelaje de las epífisis femorales ha progresado bien".

En 1983 BALINSKY (6) trata en conjunto el tema de la diferenciación de los miembros, diciendo "...Las células del mesénquima en los esbozos jóvenes que fueron masas compactas, se escinden en áreas en que el mesénquima es menos compacto y en otras áreas en que las células del mesénquima siguen estando apelotonadas. Estas últimas áreas constituyen los esbozos de las partes esqueléticas, de las extremidades. En el momento oportuno, las masas concentradas de mesénquima se convierten en precartilago, y luego, por una deposición ulterior de la materia o sustancia intercelular, en cartilago. Mientras que en la fase inicial de concentración del mesénquima, grandes partes del esqueleto de la extremidad están representadas por una masa común de mesénquima, en la fase de precartilago los elementos distintivos del esqueleto forman unidades separadas, que pueden fusionarse más tarde. La diferenciación del esqueleto de la extremidad suele progresar en dirección próximo-distal, si bien son frecuentes algunas desviaciones respecto a este orden. En los anfibios la 1ª parte esquelética reconocible es el estilopodio, es decir, el fémur. Luego se reconoce el cigopodio (tibia y peroné) y el autopodio se diferencia mucho más tarde".

CLARK y ODGEN (1983) (19) estudiando rodillas de cadáveres

prenatales y posnatales humanos encontraron que "...Para la 6ª semana ya ha comenzado la condricación del fémur, tibia y peroné", y realizando un estudio por estadios afirman que "...El extremo distal del fémur y el proximal de la tibia tenían esencialmente las mismas interrelaciones morfológicas en una etapa fetal de 80 mm. que las encontradas en las rodillas de los adultos".

Recientemente WILLIAMS y WARWICK (1985) (104) refiriéndose a esta misma cuestión exponen que "...El mesénquima esquelético aparece como una masa condensada continua que, inicialmente no está claramente limitada del tejido miogénico circundante. En este núcleo de mesénquima se desarrollan centros de osificación y de condricación, que se extienden rápidamente para configurar los elementos esqueléticos individuales, cada uno de los cuales contiene su propio centro o foco de cambio, a partir del cual el proceso de formación del hueso o cartílago avanza de una manera ordenada y característica".

### **3.- INTERVENCION DEL PERONE EN LA ARTICULACION DE LA RODILLA Y EN LA TIBIO-PERONEA PROXIMAL.-**

La cuestión de si el peroné interviene o entra a formar parte de los elementos óseos articulares de la rodilla en algún momento del desarrollo embriológico o fetal, en virtud de una primitiva articulación con el fémur, es una cuestión ampliamente

debación. Ya en 1874 HENKE y REYHER (46) publicaron, efectivamente, la existencia de una articulación fémoro-peronea, opinión que sería primero rechazada por BARDEEN (1905) (7), apoyada por FURST (1925) (29), nuevamente rechazada por LANGER (1929) (54), y a la que se ha intentado dar un poco de luz, en posteriores trabajos.

TAURE (1930) (97), aunque no lo especifica de un modo claro, menciona la presencia de una cavidad o hendidura articular entre el fémur y el peroné, y agrega "...Esta desaparecerá al aislarse definitivamente el peroné del fémur".

En 1933, KEITH (52), afirmó a este respecto, "...Ocasionalmente, la rodilla humana está en comunicación con la articulación tibio-peronea superior a través de un divertículo sinovial, por debajo del tendón del músculo poplíteo. La exclusión del peroné de dicha articulación se produce alrededor de la 8ª semana fetal".

MC DERMOTT (1943) (59), trabajando con fetos afirmó que "...El peroné no entra a formar parte de la articulación de la rodilla, excepto en un breve periodo en el cual el peroné y la tibia forman una masa blastémica, antes de que se aprecie alguna evidencia de un espacio articular".

GRAY y GARDNER (1950) (33) niegan la existencia de una articulación tibio-fibular en cualquier etapa del desarrollo,

"...El peroné no entra en la formación de la rodilla". Dedicaron, así mismo, un importante apartado a la articulación tibio-peronea, de la cual afirman "...El desarrollo de la articulación tibio-peronea es, aunque retrasado, similar al de la rodilla. Una definitiva interzona aparece en ella a las 8 semanas. A las 12 semanas una estrecha cavidad está presente y separada de la articulación de la rodilla por finas hebras de tejido. En muchos casos, la articulación de la rodilla está separada de la tibio-peronea por una pequeña cantidad de tejido laxo o por hebras de tejido muy denso. En los especímenes de más de 34 semanas las cavidades de la rodilla y tibio-peronea están separadas por pequeña cantidad de tejido, y durante la semana 37 el tejido sinovial de esta articulación está bien vascularizado".

**O'RAHILLY** (1951) (70) vuelve a reafirmar la presencia, en embriones humanos de aproximadamente 17-20 mm., de una articulación fémoro-peronea, con una interzona entre los cartílagos. Estos hallazgos los obtuvo en el embrión nº 1 de Davies. Entre el fémur y el peroné él encontró una interzona de tres capas, que consistía en dos capas condrogénicas y una capa media más suelta y delgada; concluyó que no existe necesariamente asociación entre la interzona en el embrión y la articulación en el adulto.

**HAINES** (1952) (41), (1953) (42), rechaza esta opinión, afirmando que "...El peroné no está articulado con el fémur en ningún estadio, así como tampoco en ningún estadio existe una



interzona formada entre el peroné y el fémur". En lo referente a la articulación tibio-peronea, considera que "...A los 26 mm. se encuentra por primera vez una interzona tibiofibular".

**ANDERSEN (1961) (1)**, en un estudio histoquímico realizado sobre 26 especímenes humanos de 11-81 mm., en la articulación de la rodilla y tibio-fibular, no observó la articulación entre el fémur y el peroné y además "...El tejido entre el fémur y el peroné está diferenciado en el cóndilo tibial lateral".

**OLIVIER (1965) (69)** y otros autores explican la formación de la articulación de la rodilla a partir de los dos cóndilos articulados de la tibia y del peroné. Posteriormente, el desarrollo embriológico hará que el peroné disminuya de volumen y se sitúe posterior a la tibia.

**GARDNER y O'RAHILLY (1968) (30)** afirman que en el estadio 18 (13-17 mm., 44 días) el peroné está situado relativamente cerca del fémur, así como en el de 19 (16-18 mm., 48 días) pero no encontramos en su trabajo ningún argumento de si estos elementos se articulan o no entre sí.

**PALACIOS y RHODE (1980) (77)** dedican un apartado a la articulación del peroné con la tibia, en la formación de la articulación tibio-peronea superior, en el que puede leerse "...El desarrollo de la articulación tibio-peronea superior, del tipo de las artrodias, con superficies articulares planas, lleva

retraso respecto del desarrollo de la articulación fémoro-tibial. No es hasta la 8-9 semanas, 30-40 mm., cuando se ve cierta disposición laxa del estrato medio de la interzona tibia-peronea superior, con alguna penetración vascular en la parte periférica del citado estrato. Hacia la 15 semanas, 130 mm., existe una cavidad articular definida tibia-peronea superior, separada siempre de la fémoro-tibial por una delgada banda de tejido conjuntivo más o menos densa. A partir de las 18 semanas, 170 mm., y más tarde, 34 semanas, 310 mm., destaca frecuentemente una vellosidad que se proyecta desde la parte ventral del revestimiento sinovial al interior de la estrecha hendidura tibia-peroneo superior. En fetos "a término" esta articulación posee una cápsula fibrosa formada por haces colágenos de dirección e importancia variable, revestida por dentro por una sinovial mucho menos desarrollada que la femorotibial, y relacionada, tanto por dentro como por fuera, con acúmulos de células adiposas".

CACERES y CAJA (1980 (12), están de acuerdo con la idea clásica de que el peroné no entra en la formación de la rodilla "...La rodilla se formaría directamente a través del contacto entre la tibia y el fémur, y el peroné persistiría independientemente en una posición posterointerna a la tibia".

#### 4.- FORMACION DE LAS CAVIDADES ARTICULARES.-

El modo de constitución y la aparición de la cavidad articular de la articulación de la rodilla ha sido ampliamente estudiado a lo largo de la historia.

**BAER (1837) (5)**, trabajando en embriones de pollo, hizo la observación fundamental de que, en general, cada elemento del esqueleto apendicular quedó originalmente establecido en forma de cartílago y que el tejido no condricificado situado entre ellos es el que forma las cavidades articulares.

**VELPEAU (1843) (99)** estudió el modo en que se formaban las cavidades articulares en embriones y fetos, contentándose con utilizar el método de disección e inspección a ojo desnudo, y concluyó "...En las primeras semanas de vida embrionaria ninguna cavidad articular puede ser distinguida; yo no he reconocido evidencias de ellas más que después de los 40 días. Todavía no existe nada más que en un pequeño número antes del tercer mes. Aparecen bajo la forma de simples fisuras o de ligeras cavernas; se las ve sucesivamente por todos lados donde los puntos sólidos del cuerpo deberán ejercer movimiento el uno sobre el otro. Las cavidades cerradas resultan de la separación de dos puntos, que se continúan o se tocan precedentemente. La superficie entre estos dos puntos, primero un poco desigual, se regulariza y se humedece

cada vez más. Las partes que las contornean presentan pronto una vaina cuya superficie interna completa la cavidad de intersección. En la época en la cual no hay todavía ni ligamentos, ni músculos, está perfectamente claro que esta cavidad se excava mecánicamente, bajo la influencia de un trabajo orgánico especial, a modo de cavernas patológicas".

**BERNAYS (1878)** (10) explica, con un gran rigor científico, la formación de la cavidad articular mediante la introducción del concepto de interzona. Fué el primero que describió esta estructura trilaminar que aparece antes, y en donde las cavidades articulares están a punto de formarse. Afirmó que la interzona consta de dos capas condrogénicas, separadas por una capa lisa, avascular, intermedia. Las dos capas condrogénicas, así como el arrastre o cola del tejido indiferente se transforma en cartilago. La intermedia se extiende periféricamente hacia el mesénquima vascular, el llamado mesénquima sinovial. Posteriormente se produce una dehiscencia entre las dos superficies cartilaginosas, siendo la contracción muscular la que determina esta dehiscencia. En una palabra, el tejido indiferente que limita los cartílagos se transforma de una parte a otra en tejido condrogénico. Cuando estos lechos condrogénicos se observan, el tejido indiferente está bastante atenuado y en su lugar se ve un espacio vacío, la cavidad articular. Estos resultados reposan sobre el estudio de la articulación de la rodilla que este autor realizó en especímenes humanos de 2 a 5 cm. y de más edad, probablemente conservados con alcohol y en los cuales él coloreaba los lechos condrogénicos con

picrocarmin.

**SCHULIN** (1879) (88) fué el primero que afirmó que la cavitación en la articulación comenzaba en la periferia de la misma.

**RETTNER** (1902) (83) expone que "...La hendidura o cavidad articular es el resultado de la evolución particular, mucosa, o albuminosa, del tejido esquelético o conjuntivo primordial". Explica el proceso del modo siguiente "...Las condiciones centrales en las cuales se produce la formación de la cavidad articular son: en su superficie las extremidades articulares están todavía revestidas de una capa de citoplasma común o precartilago que se transformará ulteriormente en cartilago de revestimiento; por todas partes la hendidura articular está limitada por tejido conjuntivo reticulado, futura sinovial, en vías de elaborar fibras de colágeno para la cápsula y los ligamentos. En una palabra, cuando la hendidura articular aparece los tejidos interesados se encuentran en un estado de gran delicadeza y blandura. Las acciones mecánicas que actuarán sobre estos tejidos no tendrán otro efecto que el de inducir el desgarramiento de las partes duras de los cartilagos". En cuanto al lugar en donde aparece la cavidad expone que "...El esbozo de la cavidad aparece en la periferia de la articulación".

En 1904 (35), (36), (37) **GRINFELTT**, menciona, haciendo referencia a la cavidad articular de la rodilla, la presencia de

cinco cavidades en el estadio de 5 mm. de longitud: una fémoro-rotuliana, dos femoro-meniscales y dos tibio-meniscales.

En este mismo año, LUCIEN (1904) (56), realizó un trabajo sobre la articulación de la rodilla en una serie de 30 fetos humanos, de tamaños comprendidos entre 3-30 cm. de longitud vertex-coccix, y refiriéndose al desarrollo de las cavidades en esta articulación expone que "...La cavidad articular de la rodilla aparece en una época en la cual están ya diferenciados, en el seno del disco intermedio, los ligamentos cruzados y los meniscos intraarticulares. El primer esbozo de la cavidad articular aparece entre la tróclea femoral y la rótula, en contacto con el fémur". En fetos de 3 cm. de longitud él no apreció todavía el esbozo de la cavidad articular, pero cuando siendo de la misma longitud estaban más desarrollados, la cavidad articular sí fue detectada. "...En los fetos con 4 cm. de longitud la cavidad fémoro-rotuliana se agranda, transpasa el límite superior de la rótula y se insinua detrás del músculo cuádriceps femoral. Una segunda y tercera hendidura aparecen, la una entre la parte anterior del cóndilo externo y el menisco correspondiente, la otra en un punto más simétrico, entre el cóndilo interno y el menisco del mismo lado. La hendidura interna está más desarrollada que la externa y veremos, ulteriormente, que el proceso parece, de un modo general, más activo en el lado tibial que en el peroneo. En los fetos de cuatro centímetros, más adelantados, la hendidura rotuliana comunica, por la derecha y por la izquierda, con las cavidades fémoro-meniscales. En el lado

externo o peroneal de la articulación se constata la existencia de una hendidura lineal entre el menisco y la cavidad glenoidea correspondiente de la tibia. En el lado interno el desarrollo se hace de un modo más rápido y un poco diferente. La cavidad primitiva, situada entre el cóndilo y el menisco llega a contactar, directamente, con la tibia, ya que en este momento el menisco está ya perforado". En definitiva "...La gran cavidad de la articulación de la rodilla puede desarrollarse en cinco puntos separados, pero sus esbozos comunican los unos con los otros de tal suerte que nosotros nunca los hemos visto existir simultáneamente. El hecho más importante a señalar es que la articulación de la rodilla, por el modo de aparición de la hendidura articular, se encuentran primitivamente en estado doble, con una cavidad derecha y otra izquierda comunicando por medio de la articulación fémoro-rotuliana".

**BARDEEN** (1905) (7) encontró la presencia de un cartílago continuo entre el fémur y la tibia; y en lo referente a la presencia de una cavidad sinovial entre el fémur y la rótula afirmó que está presente a los 30 mm. de longitud.

**LANGER** (1929) (54) mencionó que la cavidad sinovial de la rodilla es temprana y progresa más rápidamente en el lado medial que en el lateral.

**DUBINKIN** y **MOTNENKO** (1931) (25) estudiaron el desarrollo embriológico de las estructuras pertenecientes a la rodilla en

especímenes de 9'5 cm. hasta 71 cm. de longitud. En relación con la formación de la cavidad articular concluyen que "...En el embrión de 9'5 cm. (unos 3 meses) la región articular está ocupada por un tejido celular no bien diferenciado aún, si bien en el centro los elementos celulares serían algo más alargados que en la parte periférica. Todavía en este momento no existe hendidura. En el embrión de 11'8 cm. (unos 5'5 meses) comienza la aparición de la hendidura articular y el tejido comienza a tomar un aspecto conjuntivo. En el embrión de 21'4 cm. (finales del 4º mes) la hendidura es mayor y se extiende lateralmente entre el respectivo cóndilo. Por lo demás las células son semejantes a las del estadio anterior. En el embrión de 29'5 cm. (fines del 5º mes) crece más la hendidura entre la tibia y el tejido intermedio, no fusionada aún con la principal. En el embrión de 31'6 cm. (5'5 meses) la hendidura está ya completada, tanto por la parte del fémur como de la tibia".

Para TAURE (1930) (97) en los embriones humanos la formación de las articulaciones de los miembros ocurre así: "...Los centros de condricación de cada uno de los elementos que conformarán la articulación, que han aparecido durante el segundo mes, van extendiéndose hasta que sólo quedan separados por una delgada capa de mesénquima denominado disco intercondral o zona intermedia. En la rodilla el disco intermedio desaparece, quedando en su lugar la cavidad articular. Existen, en la rodilla, cinco cavidades articulares o hendiduras que comunican, ampliamente, a partir del 4º mes: una entre fémur y peroné, que



desaparecerá al aislarse definitivamente el peroné del fémur; dos entre los cóndilos femorales y los cartílagos meniscales; y otras dos entre ellos y las cavidades glenoideas de la tibia".

**WALMSLEY (1940)** (10) realizó un detallado estudio sobre el desarrollo de la rótula, pero también prestó atención a la formación de las cavidades articulares, particularmente al modo de constituirse la fémoro-rotuliana. Recogió especímenes desde 20 mm. de longitud hasta el período de "a término" y observó que "...En el embrión de 32 mm. la superficie profunda de la rótula está separada de la capa pericondral del fémur por medio de un tejido laxo. En el embrión de 35 mm. el tejido, antes laxo, que había entre la rótula y el fémur está condensado, formando una capa pericondral sobre la superficie posterior de la rótula, y además, esta capa está unida con el pericondrio del fémur. La fusión del pericondrio comienza por encima de la porción central de la rótula. Poco después del estadio de 35 mm., cuando la fusión ha quedado terminada, las superficies rotular y femoral están unidas entre sí por un grueso pericondrio que separa los cartílagos. Esto conduce a la definición de un disco o placa articular primitiva. El disco articular, a partir de entonces, se reduce de grosor y alrededor de los 40 mm. sólo se observa una doble capa de células aplanadas entre los cartílagos femoral y rotular. Después de la definición de los cartílagos articulares, la cavidad sinovial de la articulación fémoro-patelar aparece entre ellos. Los procesos se producen primero en el lado medial y después en el lateral, lo que probablemente refleja la mayor

importancia filogenética del cóndilo femoral-medial. La cavidad sinovial fémoro-rotuliana está, en un primer momento, separada de la fémoro-meniscal pero luego comunica con ésta por ambos lados del tabique medial de la rodilla, que subsiguientemente va a formar los pliegues alar o infrarotular".

**WHILLIS (1940) (103)** considera a los dos elementos esqueléticos en una articulación como estructuras unidas a través del espacio de la articulación por un cartilago primitivo hasta el 4<sup>º</sup>-5<sup>º</sup> mes fetal. A partir de este momento y siempre, según él, los elementos quedan separados por un proceso de licuefacción visualizado con la técnica de tinción de Tionina, y las zonas de licuefacción mostraron menor afinidad por la tinción.

**HAINES (1942) (39)**, en un estudio realizado en reptiles sobre la rodilla, afirmó que no tienen dos cavidades condíleas en la rodilla sino solo una, y que la rodilla no deriva de una primitiva articulación doble.

**MC DERMOTT (1943) (59)** en su publicación "Desarrollo de la articulación de la rodilla humana" afirma que "...la cavidad articular de la rodilla se desarrolla por desaparición de las células del disco intercondral blastémico situado entre el fémur y la tibia, por coalescencia de los espacios primarios que aparecen en él. El proceso de formación comienza en la 8<sup>a</sup> semana, y se completa en la 12<sup>a</sup> y es como sigue: en los fetos de edad comprendida entre 47-51 día el disco escleroblastémico

intercondral situado entre el fémur y la tibia es homogéneo y denso, sin evidencia de un espacio articular. En los días 52-55, la región de la futura rodilla está bien determinada por un disco escleroblastémico. A los 60 días, el disco intercondral ha empezado a mostrar disminución en el grado de densidad, así como pérdida irregular de sustancias anterior y posteriormente. Estos cambios parecen deberse a una disolución rápida completa de las células en una zona. La pérdida de la sustancia, es el primer indicio de la formación de la cavidad en la articulación de la rodilla. La porción central del disco intercondral sigue siendo densa. Entre la 8ª-9ª semana el espacio entre los huesos de la rodilla está repleto de una masa de tejido mesenquimal, de blastema menos denso que el material que forma el pericondrio. En el interior de la masa, cerca de las futuras superficies articulares de los huesos, se observan cuatro cavidades en forma de herradura. Por encima de la extremidad proximal de la tibia las dos ranuras distales establecen coalescencia y la cavidad se extiende a través de todo el área articular. En la región de la porción más amplia de la escotadura intercondílea se observa una vacuolización irregular de la masa mesenquimal. Entre la 9ª-10ª semana el espacio articular está bien demarcado y dividido en cuatro compartimentos, a saber, uno inferior a cada cóndilo femoral y otro superior a cada tuberosidad tibial. Anteriormente están separados por una masa de tejido blastémico. La masa de blastema, en la línea media de la articulación, actúa a modo de un tabique bastante completo en sentido anteroposterior. Entre las 10-11 semanas la cavidad articular está más señalada, ya que

la bolsa del cuádriceps se señala mejor, y el tabique de la línea media se observa menos prominente. El espacio articular se parece a una sola cavidad de perfiles irregulares formado mediante la coalescencia de pequeñas cavidades y la desaparición de la mayor parte del tabique. En la 12ª semana la cavidad de la articulación consiste en un gran espacio irregular con contornos y tamaños relativamente iguales a los del adulto".

En 1947 HAINES (40) llevó a cabo un estudio del desarrollo de las articulaciones del codo y rodilla y afirmó que "...El tejido que llena el ángulo de estas articulaciones en los estadios 12-13 mm. es un tejido laxo y suelto. El mesénquima sinovial o vascular difiere del blastema en su estructura irregular, laxa y en la vascularización. Es el tejido que queda aislado y llega a situarse infraarticularmente por la aparición de una condensación en el mesénquima que se extiende desde el pericondrio de un cartílago hasta el pericondrio de otro formando la cápsula. La condensación del mesénquima que forma la cápsula también divide el pericondrio en porciones extra e intracapsulares, estando estas últimas continuas con la capa condrogénica de la interzona. En este momento se puede decir que la interzona se encuentra compuesta por una porción blastémica y otra mesenquimal", y sigue diciendo "...Las interzonas de las grandes articulaciones aparecen en los estadios 11-12 mm. y forman las partes centrales de los cartílagos articulares y de las cavidades sinoviales. Cada interzona atraviesa un estadio de tres capas (estadio de 21-26 mm.), con dos capas condrogénicas,

periféricas y otra capa intermedia densa; y otro estadio en donde la capa intermedia se descompone y las capas condrogénicas quedan completamente condrificadas".

Para MOLL (1948) (64) "...La condensación blastémica en la extremidad posterior en los embriones humanos de 20 mm. de longitud marca el primordio de las estructuras no óseas de la articulación de la rodilla". Para éste autor la cavidad articular aparece solo después de la diferenciación de las partes blandas.

GRAY y GARDNER (1950) (33) afirman que el desarrollo de la articulación de la rodilla humana ha sido estudiado más que el de cualquier otra articulación y en su estudio del desarrollo prenatal de la rodilla humana exponen que "...A medida que prosigue la condriificación, la porción en la futura articulación persiste en una zona la cual se va adelgazando hasta formar un disco avascular, densamente celular, de blastema no condriificado, llamado interzona, en las 7'5 semanas. El mesénquima sinovial es el tejido que da lugar a varias estructuras intraarticulares y en el cual se desarrollan las cavidades articulares. La interzona es previamente un disco blastémico entre los cartílagos, pero después es continuo con el mesénquima sinovial. En la 7'5 semanas la interzona de la rodilla se parece, fielmente, al mesénquima en el cual se localiza, adyacente a la articulación y con el cual parece que se continua. En la 8ª semana, la organización del tejido es evidente en la fosa poplíteica, entre el fémur y la tibia, y entre el fémur y la rótula. Definitivamente las

cavidades están presentes en la 9ª semana de edad, y son de localización fémoro-patelar y fémoro-meniscal. Aparecen por primera vez en el mesénquima sinovial de la periferia de la articulación, y sólo después invade la zona intermedia de la interzona blastémica. En el espacio entre el fémur y la rótula se forma un receso que se extiende principalmente hacia la superficie articular del fémur, pero distalmente está dividido por algunas hebras de tejido de separación de las cavidades fémoro-meniscales. Otro espacio está presente entre la tibia y el menisco medial, pero dicho espacio todavía no está presente entre la tibia y el menisco lateral. Otro espacio, situado justo delante del ligamento cruzado anterior, se extiende cerca de la cavidad fémoro-rotuliana, pero falta la comunicación con ella. Una nueva cavidad ha comenzado a formarse adyacente a la articulación tibio-peroneal, y distal a la porción posterior del menisco lateral, que podría ser una temprana bolsa, puesto que es similar a la que se encuentra entre el tendón del semimembranoso y en la pata de ganso. Las cavidades se van ampliando y para la 12-13 semanas se unen formando una sola cavidad, que aumenta de tamaño mediante adiciones de nuevas cavidades a la cavidad existente, y por proliferación del tejido de revestimiento. Las cavidades fémoro-rotulianas están presentes bilateralmente. Las cavidades fémoro-meniscales y tibio-meniscales también. Las tibio-meniscales son bastante pequeñas en un principio y alcanzan su extensión total después del 4º-5º mes del desarrollo. La fémoro-rotuliana y fémoro-meniscal se comunican en uno de nuestros especímenes. Después de la 12ª semana en desarrollo de

la cavidad articular se ha extendido anteriormente a la cabeza medial del músculo gastrocnemius, y el receso suprapatelar ha alcanzado un nivel más proximal, hecho que es evidente en los especímenes más jóvenes. En la 14ª semana, una extensión superior de la porción posterior de la cavidad se extiende anteriormente a la cabeza lateral del músculo gastrocnemius, lejos de la unión femoral. El receso suprapatelar alcanza el nivel de transición del pericondrio femoral con el periostio. En la 15ª semana las cavidades tibiomeniscales están completamente formadas. Durante el resto del periodo fetal la formación de la cavidad articular progresa hasta alcanzar los límites de la cavidad articular. El receso suprapatelar se extiende hacia la diáfisis femoral hasta alcanzar el plano proximal de la zona de osificación; los otros recessos de la cavidad se forman durante periodos fetales más tardíos. La porción media de la articulación está casi repleta de un tejido laxo que rodea a los ligamentos cruzados, pero este tejido se va reduciendo progresivamente en cantidad durante los meses fetales posteriores. Aunque las cavidades primitivas son irregulares, poco después de que empiecen a coalescer sus células de revestimiento, adquieren una orientación más definida, varían de densidad y disposición y con métodos normales son morfológicamente similares a las células del tejido conectivo, situadas más profundamente".

De nuevo HAINLS (1952) (41) expone que "...En el embrión de 13 mm., aunque las interzonas articulares se encuentran en la mano y en la cadera, el cartílago de la tibia no está suficientemente

próximo al fémur como para que se forme una interzona. Para el estadio de 10 mm. densas interzonas se han formado entre cada uno de los cóndilos tibial y el correspondiente cóndilo del fémur; con posterioridad estas interzonas presentarán tres capas".

En este mismo año O'RAHILLY (1952) (71) aporta una serie de observaciones de suma importancia tales como "...El tejido laxo de la zona media de las articulaciones del codo y de la rodilla, en el embrión de pollo, que da lugar a tres capas, ha sido detectado en el estadio 28 de Hamilton-Hamburger y en alguno de los subsiguientes. En él, la cavitación comienza periféricamente en el estadio 35, es decir, a los 5 o 9 días".

HAINES (1953) (42), vuelve a aportar importantes conocimientos sobre el desarrollo temprano de las cavidades articulares y de otros aspectos de la articulación. Pero quizás la más importante de sus aportaciones es la defensa que hace de un hallazgo, anteriormente señalado por él y cuestionado por GRAY y GARNER (1950) (33); se trata de "...Si bien resulta difícil aceptar la subdivisión de la interzona fémoro-tibial en dos interzonas, no surge esta dificultad si desde el principio existen estas dos interzonas" y sigue admitiendo "...Hace tiempo que se reconocía que las dos cavidades condíleas de la rodilla están separadas en su desarrollo primitivo y que sólo llegan a comunicarse posteriormente. Siguen estando separadas o prácticamente separadas en varios animales, y he dicho en ocasiones, que una separación total sería la primitiva condición



en los tetrapodos, aunque los reptiles no tienen más que una cavidad".

SHIMCDA (1955) (90) afirmó que "...La forma general de la articulación de la rodilla es ya perfecta en un embrión humano de 3 o 4 meses".

O'RAHILLY, GARDNER y GRAY (1956) (74), en un estudio llevado a cabo sobre la articulación de la rodilla del pollo, exponen que "...El blastema forma las interzonas homogéneas en el estadio 26. Para el estadio 34 un ataque de cavitación puede ser evidenciado en las interzonas de algunos especímenes".

ANDERSEN y BRO-RASMUSSEN (1961) (2) realizaron un estudio histoquímico en 25 fetos humanos, muy detallado e importante sobre la interzona articular y el proceso de cavitación o hendiduración, que puede resumirse en los siguientes puntos: "...En el lugar donde se formara la futura articulación existe, en períodos tempranos del desarrollo, la llamada interzona, insertada entre los cartílagos vecinos. En los estadios tempranos del desarrollo la interzona consiste en tejido homogéneo, pero pronto adquiere la estructura de tres capas, dos condrogénicas y una intermedia. En un principio la capa intermedia de la interzona tiene un grosor de 3-4 células, que están dispuestas con sus ejes largos en ángulo recto con los ejes largos de los cartílagos vecinos, y en este lugar las figuras mitóticas no son tan abundantes como en las dos capas condrogénicas. Pero en las

fases posteriores esta capa se ve ocupada, por ambos lados, por las capas condrogénicas, y sus células son convertidas en condroblastos que depositan una sustancia marcadamente garrna metacromática alrededor de aquéllas". Por lo tanto, en este punto el autor afirma que la capa intermedia de la interzona ha quedado incorporada en las dos capas condrogénicas y que el destino de estas capas será el de quedar incorporadas en las dos superficies articulares. "...Después de estos procesos comienza la formación de las cavidades. La formación de la cavidad articular se dice que está precedida de un proceso de licuefacción periférica y central. Estos procesos se dicen que tiene lugar en la sustancia base intercelular, dejando una red celular de hilos dispensos con núcleos de disposición irregular. Algunas de las células, en la posición interna de las cavidades muestran indicios de muerte celular. En nuestro estudio no hemos encontrado ningún indicio de esta licuefacción. Desde la zona articular central la cavidad articular se extiende hasta las porciones periféricas de la articulación. Los hilos celulares, que forman arcos desde una superficie a otra representan, en nuestra experiencia, unas distorsiones artificiales en una etapa en la cual la capa media o intermedia de la interzona está presente solamente como una sola capa de células. Sólomente en las zonas periféricas de la superficie de la articulación tales capas condrogénicas siguen persistiendo, dando lugar al crecimiento aposicional de las zonas marginales de las superficies de la articulación, mientras que las zonas centrales sólo muestran un crecimiento intersticial. Durante el desarrollo de la articulación se forman cantidades

bastante grandes de condroitín sulfato A y C, mientras que el ácido hialurónico no ha sido demostrado en las capas de la interzona".

En el mismo año, **ANDERSEN (1961)** (1) vuelve a realizar un estudio histoquímico acerca de la articulación de la rodilla en 28 fetos humanos de 11 a 18 mm., y parece coincidir con Haines sobre la existencia de dos interzonas separadas en la rodilla, cuando afirma "...El tejido entre el fémur y la tibia, en las etapas más primitivas del desarrollo es homogéneo y más denso que el mesénquima general vecino. No es hasta que se hayan formado grandes cantidades de sustancia metacromática cuando aparece un tejido más laxo, que junto con los primordios de los ligamentos cruzados va a dividir los tejidos, entre los dos cartílagos, en dos interzonas separadas. Por lo tanto, habría que suponer que el tejido blastémico es quien forma esta separación gracias a su capacidad de formar grandes cantidades de sustancia metacromática intercelular amorfa". Por ello, cuando habla de las cavidades articulares afirma que "...La cavidad articular de la rodilla se desarrolla a partir de tres cavidades separadas: una fémoro-rotuliana y dos fémoro-meniscales, en un estadio de 35-41 mm. Durante los estadios subsiguientes y hasta el de 46 mm. las tres cavidades confluyen. La formación de estas cavidades está precedida de la formación de grandes cantidades de condroitín sulfato A y C en las tres capas de la interzona y el tejido infrapatelar".

En el trabajo de MILAIRE (1963) (60) sobre el desarrollo de las extremidades en el ratón y en el topo se puede leer que: "...las futuras articulaciones quedan ocupadas por un mesoblasto denso, de aspecto indiferente, pobre en RNA y desprovisto de mucopolisacáridos y de fosfatasas. Este material deriva de la matriz precartilaginosa primordial, pero muy pronto se distingue del mesoblasto condrogénico y no sufre ninguna de las modificaciones características de la condricificación. En el topo, posee, sin embargo, un punto en común con el precartilago: es la pérdida precoz de la fosfatasa alcalina, cuando esta enzima preexistía antes de la fase de condensación. No hemos observado, en ningún caso, procesos degenerativos a nivel del mesoblasto articular en el proceso de formación de la cavidad articular".

GARDNER y O'RAHILLY (1968) (30), a su vez, tras realizar estudios sobre embriones humanos están en condiciones de afirmar que, "...Ya en el estadio 18 (11'7-17 mm., 6 semanas postovulatorias) la región de la articulación de la rodilla estuvo representada por una masa de células blastémicas, que en el estadio 19 (16'3-21 mm., 7 semanas postovulatorias) están convirtiéndose en una estructura reconocible, en la forma de una interzona homogénea. En el estadio 21 (22-24 mm., 7'5 semanas postovulatorias) las interzonas blastémicas mostraban evidencias de una disposición en tres capas y en el estadio 22 (23'4-25'8 mm., 7'5-8 semanas postovulatorias) las capas condrógenas de la interzona estaban comenzando a encontrarse. En el estadio 23 (27-31 mm., 8 semanas postovulatorias) en la rodilla de un

embrión el tejido laxo entre la rótula y el fémur, claramente sugirió una incipiente cavitación. En otra rodilla estuvo presente una cavidad fémoro-patelar, pequeña pero obvia, en varias secciones consecutivas. En otra rodilla también estuvo presente una cavidad evidente, en forma de ranura, entre el menisco medial y el cóndilo femoral medial; y en la otra rodilla del mismo espécimen estuvo presente una cavidad entre el menisco lateral y el fémur. Un esbozo de cavidad entre los meniscos laterales y los cóndilos laterales se pudo, así mismo apreciar, pero no se puede afirmar que estuviera presente". Por lo tanto, la cavitación en la rodilla ha comenzado, para estos autores, al final del periodo embrionario propiamente dicho (estadio 23).

**GENIS (1970) (31)**, quien dividió el desarrollo primario de las articulaciones grandes de los miembros en una primera fase, de formación de las zonas de contacto o interzonas, y una segunda, de formación de las cavidades, está de acuerdo con Gardner y O'Rahilly cuando afirma que "...Al final del periodo embrionario, y más frecuentemente al comienzo del periodo fetal, aparecen pequeños espacios en el tejido sinovial intermedio de la interzona. Dichos espacios confluyen entre sí y forman la cavidad articular, la cual pronto se delimita por la sinovial, que crece según una forma específica". Más tarde, aborda de nuevo el tema considerando que "...Es posible que la cavitación articular se deba a un proceso enzimático que se acompaña de muerte celular activa".

**WASSILEV (1972) (102)** considera que el desarrollo de la

interzona articular puede ser por primera vez demostrado en el estadio correspondiente a 14 días.

O'RAHILLY y GARDNER (1975) (76) realizaron un detallado catálogo de los hechos que se producen en el desarrollo de las extremidades, en el embrión humano y refiriéndose, en particular a la articulación de la rodilla vuelven a afirmar que la cavitación ha comenzado en todas las grandes articulaciones, entre las que se encuentra la rodilla, en el estadio 23, que coincide con la 8ª semana postovulatoria.

En 1978 MITROVIC (62) realizó el estudio de diversas articulaciones diartrodiales en embriones de rata, llegando a las siguientes conclusiones: "...Los estadios clásicamente descritos en la formación de las articulaciones son: Condensación del mesénquima primitivo; constitución de un mesénquima con tres capas; invasión vascular y formación de la hendidura articular". Textualmente puede leerse "...En la fase de condensación del mesénquima primitivo, evidencias de la presencia de tejido axial condensado fueron notadas en los días 12-13 de gestación en las yemas de las extremidades superiores e inferiores. Se podían reconocer las articulaciones, de tal modo que la de la rodilla pudo ser reconocida el día 13, al atardecer. Posteriormente sobreviene una necrosis celular precoz; aproximadamente 12 horas después de que las articulaciones hayan sido individualizadas y numerosos núcleos picnóticos y células aparecen en la capa intermedia del mesénquima articular. Estos núcleos son muy

parecidos a los que se observan en zonas de necrosis fisiológica, como los espacios interdigitales. En las grandes articulaciones estas células necróticas son difíciles de ver. En la fase de secreción del mesénquima articular, se observa el mesénquima en tres capas en la rodilla en el día 16 de gestación. En la fase de invasión vascular aparecen vasos en la periferia de la articulación, en el mesénquima cápsulo-sinovial, que no invaden su porción central intercartilaginosa en ningún estadio del desarrollo y que pudieron ser apreciados en la articulación de la rodilla el día 16 de gestación. Posteriormente sobreviene una fase de separación de las superficies articulares, apareciendo la cavidad en la articulación de la rodilla el día 16. Las cavidades en las articulaciones se observaron por primera vez en la periferia del mesénquima y en las articulaciones más complejas, tales como la rodilla, estas hendiduras pudieron ser observadas simultáneamente en la periferia o en el centro de la articulación en la forma de dos o incluso tres hendiduras separadas. En este último caso, la porción periférica de la cavidad de la articulación estaba más desarrollada. En las articulaciones con meniscos y ligamentos intraarticulares, prosigue, tales como la rodilla, las hendiduras fueron observadas simultáneamente en la periferia y separaban marcadamente a estas estructuras del cartílago articular. Las primeras hendiduras seguían extendiéndose para finalmente unirse en una o dos cavidades grandes. Ocasionalmente, la continuidad de las cavidades articulares quedó interrumpida, en uno o dos sitios, por zonas que se parecían a pequeñas porciones de mesénquima todavía no

separado. Esto ocurría incluso al nacer, y fue observado en la rodilla. Para el día 21, día de terminación de la gestación, las articulaciones de ambas piernas estaban esencialmente separadas, con la excepción de ocasionales fusiones. Sin embargo, en el mesénquima articular, todavía fundido, se pudieron observar células elongadas, lo que sugería que el proceso de separación o de hendiduración tisular estaba siendo iniciado".

El amplísimo estudio sobre la embriología de la rodilla llevado a cabo por PALACIOS y RHODE (1980) (77) dedica un apartado a la cavitación de dicha articulación en el que puede leerse "...Después de la 6'5 semanas, horizonte XVIII, 48 días, se localiza, entre la epífisis cartilaginosa del fémur y la de la tibia, un disco blastémico homogéneo, con gran densidad nuclear y dificultad de distinción del citoplasma de las células, que se continua con el pericondrio que rodea a las diáfisis cartilaginosas de fémur y tibia. A las 7 semanas, 18 mm., horizonte XIX, los núcleos fusiformes de las células de la interzona se disponen perpendicularmente al eje longitudinal del miembro inferior. Poco después, al progresar la diferenciación, 7'5 semanas, horizonte XX, 24 mm., se ha constituido una interzona fémoro-tibial estratificada que comprende dos capas condrogénicas, fémoro-proximal y tibial distal, que se continua con el pericondrio de la diáfisis de ambos modelos cartilaginosos, y una capa media laxa, que a su vez se continua con el mesénquima extrablastémico adyacente que se va vascularizando, al igual que la capa media de la interzona y el



pericondrio. La iniciación de la cavidad se cree debida, inicialmente, a la proliferación tisular activa o bien a una actividad enzimática con licuación de la sustancia fundamental después de establecerse la forma fundamental de la articulación de la rodilla. Han comenzado a formarse cavidades parciales en la rodilla fetal a las 9 semanas, 40 mm., en el mesénquima vascularizado sinovial de la capa media de la interzona, primeramente en la parte periférica de la articulación fémoro-rotuliana y fémoro-meniscal, para extenderse después a la parte central de la capa media de la interzona. Las cavidades parciales o lagunas de la articulación son al principio irregulares, y es frecuente ver cómo son atravesadas por bandas de tejido mesenquimal. Estas cavidades precoces están revestidas por tejido sinovial típico. Posteriormente las cavidades articulares aumentan de tamaño y terminan confluyendo para formar una cavidad articular única a las 12-13 semanas, 85-100 mm., que sigue aumentando de tamaño por ulterior cavitación y proliferación del tejido sinovial que la limita. Se van profundizando los recesos de la cavidad articular, en particular el fondo de saco suprarotuliano, extensión superior de la cámara fémoro-rotuliana, que en la época fetal suele estar separada de la bolsa serosa subcuadricipital por una delgada banda de tejido mesenquimal, que más tarde suele desaparecer, una vez iniciados los movimientos fetales activos. También se ahonda y perfila, cada vez más, otro receso de la articulación, situado por delante de las cabezas de origen supracondíleo de los músculos gemelos. Desde el principio, los compartimentos fémoro-meniscal,

fémoro-rotuliano y menisco tibial, no muestran con el tiempo la misma progresión de la cavitación. Hemos de destacar que las cavidades tibio-meniscales se desarrollan con retraso respecto de las otras mencionadas. Cuando éstas están ya totalmente cavitadas se ve aún constantemente a nivel de las cavidades parciales tibio-meniscales bandas de tejido conjuntivo joven, que unen irregularmente la cara inferior de los meniscos con la superior del platillo tibial. De todos modos, a los 80-90 mm., 12 semanas, esas bandas han desaparecido, la cavitación tibio-meniscal ha terminado; esta cámara es ahora susceptible de ulterior crecimiento, igual que el resto de la cavidad articular. La cavitación descrita tiene lugar en la capa media laxa de la interzona triestratificada fémoro-tibial y avascular situada entre los extremos de los modelos cartilaginosos de los huesos que entran a formar parte de la articulación de la rodilla y se vasculariza, al igual que el mesénquima extrablástico adyacente a la articulación y al pericondrio".

Por el mismo año, **CACERES y CAJA (1980) (12)** hacen también un detallado estudio de las cavidades intrarticulares de la rodilla en los periodos embrionarios y fetal humano. Afirman que "...La rodilla se forma a través del contacto entre la tibia y el fémur, persistiendo el peroné como un ente independiente de dicha articulación que ocupa una posición posteroexterna respecto de la tibia". Después, dividiendo el desarrollo en los dos periodos mencionados obtienen los resultados que se expresan a continuación: "... en el embrión humano de 24'5 mm. se identifica

la interlínea articular, sin visualizarse una cavitación en la misma. En el embrión humano de 30 mm. se visualizan espacios intraarticulares en período de cavitación, fundamentalmente a expensas del saco suprarotuliano, primero en aparecer. Las cavidades están ocupadas por un magma de células mesenquimales. Puede decirse, y se confirma, la continuidad entre el fémur y la tibia, de tal forma que en estos ejemplares aún no ha terminado la cavitación articular. En embriones que se encuentran en el período fetal humano las cavidades que se hayan son: 1.- a nivel del cóndilo interno: fondo de saco suprarotuliano, fondo de saco menisco-tibial (que al dividirse el menisco en dos segmentos forma dos fondos de saco, uno anterior y otro posterior que separa el menisco del fémur), cavidad menisco-tibial anterior (que comunica con fondo de saco suprarotuliano), fondo de saco posterior de la tibia e inferior al segmento posterior (que delimita la articulación por detrás). 2.- A nivel de la escotadura intercondílea, en su parte interna: fondo de saco suprarotuliano (que ha ido creciendo hasta rodear los dos tercios anteriores del cóndilo interno), fondo de saco anterior menisco-femoral, fondo de saco menisco-tibial, fondo de saco entre el ligamento cruzado anterior y la tibia. 3.- A nivel de la escotadura intercondílea, en su parte externa: fondo de saco suprarotuliano (que rodea al cóndilo anteriormente), fondo de saco entre ligamento cruzado anterior y proliferación de la sinovial anterior, fondo de saco entre el polo inferior rotuliano y proliferación sinovial anterior, cavidad entre la cara superior del cuerno posterior del menisco externo y el ligamento cruzado

anterior en su cara posterior, fondo de saco menisco-tibial posteroexterno, fondo de saco delimitado por la cara inferior del cuerno posterior del menisco externo por arriba, la cabeza del peroné por abajo y el tendón del músculo poplíteo por detrás, fondo de saco delimitado por el poplíteo por encima, la cabeza del peroné por abajo y de la tibia por delante. 4.- A nivel del cóndilo externo: las mismas cavidades que a nivel del cóndilo interno, excepto que el fondo de saco suprarotuliano es más largo y la existencia de una cavidad entre el poplíteo y el menisco externo".

**DOSKOCIL (1984)** (22) estudiando una serie completa de secciones seriadas de la articulación de la rodilla humana durante el período que representa el desarrollo del espacio de la articulación, hueco o cavidad articular, ha encontrado que la articulación de la rodilla contiene un tabique amplio y alto, el mediastino genus, en donde hay numerosos vasos sanguíneos. En el embrión humano, el mediastino genus parte la articulación de la rodilla en dos mitades, lateral y medial. La comunicación entre ambas se produce entre unas superficies, reducidas, de contacto entre los esbozos del fémur y de la rótula.

**STOFF y EFFENDY (1985)** (93) han sometido a estudio 73 ratas wistar en las cuales han estudiado numerosos aspectos de la articulación de la rodilla, encontrando que "...En el día 31 del desarrollo biológico, el primordio sinovial situado entre los cartílagos embrionarios de los cóndilos del fémur y tibia es una

condensación de células mesenquimales no diferenciadas, conocidas como blastos sinoviales. Estas células muestran un núcleo grande con nucleolo y procesos digitales citoplasmáticos. En el día 14 las células del mesénquima no diferenciado situadas entre los cóndilos femorales y tibiales no muestran reacción a la fosfatasa ácida. Algunos capilares y pequeños vasos están situados en la zona media del tejido mesenquimatoso laxo. Las capas condrogénicas están vecinas a la interzona articular. En el día 16 las capas condrogénicas muestran que las células del mesénquima presentan un notable núcleo ovalado y pequeños procesos citoplasmáticos. En el 17 algunos filamentos, interconectantes, con un diámetro de 100 Angstrom son visibles en el espacio intercelular del tejido mesenquimatoso. En el día 18 aparece una hendidura entre los cartílagos articulares embrionarios y están delimitados por la capa meniscal. La capa mesenquimatosa, vecina a la hendidura intercelular, está ricamente vascularizada. Muchos capilares sanguíneos han aparecido, atravesando, a lo largo de la hendidura. En el día 20 la hendidura está bien formada por células, con forma de agujas, que alcanzan la superficie del menisco. Sin embargo nunca aparecen en la zona media. Para el día 20, cuando la cavidad está bien formada aparecen las células A desde el primer momento".

**WILLIAMS y WARWICK (1985) (104)**, en la "Anatomía de Gray", en el apartado dedicado al desarrollo embriológico de las articulaciones afirman que "...En la futura articulación, a medida que los elementos esqueléticos se van diferenciando en las

zonas de conexión entre dos elementos adyacentes, quedan masas mesenquimatosas continuas que no experimentan evolución a cartilago-hueso, sino que permanecen como placas de mesénquima interzonal. El mesénquima interzonal de las articulaciones diartroaciales en desarrollo se hace trilaminar, debido a la aparición de una zona intermedia, más tenue, entre las dos capas densas próximas a los extremos cartilaginosos de los extremos esqueléticos de la región. Estos últimos se continúan periféricamente con el pericendrio vecino, y como él, son condrogénicos, cartilaginosos. En la capa intermedia surge la cavitación, que da lugar a la cavidad de la articulación. El mesénquima sinovial origina, a continuación, la membrana sinovial. En la articulación que posee discos y meniscos, y en las articulaciones compuestas puede aparecer, al principio, más de una cavidad; después pueden concluir en una. La articulación de la rodilla, la más grande del cuerpo, es de tipo compuesto".

En este mismo año, **DOSKOCIL (1985) (23)** realizó un estudio muy detallado de la articulación fémoro-rotuliana, trabajando sobre catorce articulaciones fémoro-rotulianas de especímenes humanos de 40-85 días afirmando "...La expansión del espacio extracelular y la destrucción de las células del mesénquima existente entre la rótula y el fémur da lugar a unas cavidades que son el esbozo del futuro espacio articular de la articulación fémoro-rotuliana. Afirmamos que ese espacio se abre antes que en ningún otro espacio articular de la rodilla. También hemos notado que durante la apertura del espacio articular y, paralelamente,

una cavidad, la futura bolsa suprapatelar, se forma bajo el tendón del cuádriceps. Esta futura bolsa es, de hecho, una parte del espacio articular desde muy al principio. Por lo tanto nos parece que la bolsa suprapatelar parece ser más un vástago del espacio articular que una verdadera bolsa. Aparece antes, además, que cualquier otra articulación". Pero ¿cómo se formó esta cavidad o espacio entre la rótula y el fémur? según **Doskocil** "...En el embrión, en un estado tosco de diferenciación, nosotros pudimos ver una ranura, especialmente marcada, que comienza al otro lado del esbozo de la rótula y que rodea a los cóndilos del fémur, por el frente, y por los lados. Más adelante, el centro del espacio articular de la articulación fémoro-rotuliana adquiere su completa altura y comienza a extenderse por encima del borde superior de la rótula. Todo esto tiene lugar en la fase en la cual las señales de la formación del espacio articular en la otras partes de la rodilla están todavía muy poco establecidas. La rótula, primitivamente más alta, desciende y en la flexura articular está solamente a la mitad de su altura sobre el espacio articular fémoro-meniscal. En el estadio del desarrollo en el cual los espacios articulares de todas las porciones componentes de la rodilla están casi completamente formadas, las superficies de contacto fémoro-rotulianas están casi completamente formadas, en secciones sagitales son casi planas, es decir, espacialmente forman una V. La fase en la cual la apertura de los espacios está próxima a su terminación, la forma y la posición recíproca de las porciones de la articulación fémoro-patelar adquieren rápidamente sus definitivas relaciones.

Esta fase, al final del segundo mes de desarrollo es una fase en la que la situación de los miembros y la posición de las articulaciones cambia rápidamente. La rótula ha descendido aún más y la articulación fémoro-rotuliana está, prácticamente, en línea con el eje del muslo. La superficie de contacto de la rótula y del fémur al principio es notable, cambia rápidamente a una forma de **V** y no adquiere la forma de una concavidad con forma de **U** hasta el final del período".

Resaltamos, a continuación, una cuestión ampliamente debatida, cual es el origen y formación de los elementos intraarticulares. El problema que un principio se plantea es si estas estructuras intraarticulares son de origen blastémico o si, por el contrario, tienen un origen extrablastémico.

**BERNAYS** (1878) (10), **SCHULIN** (1879) (88), **BARDEEN** (1905) (7) y más recientemente **MC DERMOTT** (1943) (59) y **EBERL-ROTHE** y **SONNESCHEIN** (1950) (26) consideran que las estructuras intraarticulares, tales como el tejido sinovial, ligamentos cruzados, meniscos, ...son estructuras blastémicas. **SCHUSTER** (1878) (89) y **KEITH** (1933) (52) llegaron a sugerir que tales estructuras intrarticulares son derivados capsulares.

**TAURE** (1930) (97) expuso que "...Si bien el disco



intercondral blastemático o zona intermedia se continua, al principio, sin separación alguna ni límite con el mesénquima de alrededor, más adelante la periferia de dicho disco se diferencia en una especie de membrana o pericondrio que unirá, a modo de manguito, los dos cartílagos próximos. De este manguito derivarán la sinovial, la cápsula y los ligamentos cápsulares. Del disco intercondral derivarán los fibrocartílagos intraarticulares o bien, si desaparecen, la cavidad articular. De los extremos del cartílago se forman las epífisis de la articulación. Los ligamentos cruzados de la rodilla son intraarticulares y, como el ligamento redondo de la cadera, proceden de la diferenciación de la cápsula".

Pero en 1947 HAINES (40) se opone a todas las concepciones anteriores, apoyando los anteriores trabajos de HAGEN-TORN (1882) (38), y afirmó que el mesénquima del que derivan todos los elementos intraarticulares, mesénquima sinovial, es extrablastemal y queda aislado del mesénquima general vecino por un esbozo capsular. Entre algunas de sus aportaciones recogemos las siguientes: "...Estoy de acuerdo con Hagen-Torn en que las superficies articulares cartilaginosas y la cavidad se forman, parcialmente, del disco blastémico interzonal o articular y que el resto de las estructuras intraarticulares surgen del mesénquima vascular". Afirmó pues que las capas condrógenas de la interzona eventualmente se incorporarán o formarán parte de las superficies articulares y que no son estrictamente comparables con el pericondrio, así como que la condensación del mesénquima

formará el esbozo de la cápsula y como resultado de este proceso, el mesénquima vascular queda encerrado en la articulación y dará origen a las estructuras intraarticulares. Este proceso también resultaría de la división del pericondrio en porciones extra e intracapsulares, siendo estas últimas continuas con las capas condrogénicas de la interzona, siempre que estén presentes. Continúa afirmando que el mesénquima vascular o sinovial difiere del blastema en su estructura irregular, laxa, y en la vascularización. Es el tejido que queda aislado y llega a situarse intraarticularmente por la aparición de una condensación en el mesénquima, que se extiende desde el pericondrio de un cartílago hasta el pericondrio del otro formando la cápsula articular.

#### 5.- SUPERFICIES ARTICULARES.

MC DERMOTT (1943) (59), que realizó un estudio detallado en fetos humanos desde los 20 días hasta las 30 semanas, encontró que "...A los 52-55 días está presente la prominencia condilar del fémur. A las 9-10 semanas se observa que el contorno de la tibia es similar a la del adulto, con la excepción de que las espinas tibiales no están perfectamente marcadas. Las márgenes articulares, en esta fase, están compuestas por un cartílago bastante maduro; en las 15'5-16'6 semanas, las superficies articulares de los huesos están cubiertas por una delgada capa de células aplanadas y por debajo de esta capa se reconoce,

fácilmente, el cartílago hialino normal; en las semanas 20'5 los cóndilos femorales son bastante prominentes. Cada superficie articular presenta, paralelamente a la superficie, una delgada capa de células elongadas, entre las que se encuentra un poco de matriz. Las superficies articulares, a las 20-30 semanas, son más maduras y están compuestas de tejido hialino hasta sus extremos".

**GRAY y GARDNER (1950)** (33), también trabajando con embriones y fetos humanos, exponen que "...En embrión de 6 semanas de edad aunque la superficie superior de la tibia es lisa, los cóndilos femorales están indicados, evidenciándose además una pequeña zona intercondilar; los cóndilos tibiales están presentes, por primera vez, a las 7 semanas. Las espinas de la tibia en la 8ª semana; las eminencias intercondilares tibiales son prominentes en la 9ª semana y la tuberosidad de la tibia está, por primera vez, presente a la 11ª semana".

Para **O'RAHILLY (1951)** (70) "...En el estadio de 30 mm. los cóndilos femorales están bien definidos y los cartílagos han adquirido sus características adultas".

**GARDNER y O'RAHILLY (1968)** (30), trabajando siempre en embriones humanos, afirman que "...En el estadio 19 (16'3-21 mm., 7 semanas postovulatorias) los cóndilos femorales estaban formándose, pero en la mayoría de los especímenes eran, en su mayor parte, blastémicos. En el estadio 20 (18-23 mm., 7 semanas postovulatorias) los cóndilos femorales y tibiales eran

claramente evidentes, aunque en algunos especímenes eran en su mayor parte blastémicos y se confundían en la zona interviniente. En otros especímenes, sin embargo, los cóndilos estaban bien avanzados en la condricación, lo que nos sirvió para definir, aún más nítidamente, la interzona homogénea. También estaba comenzando a evidenciarse un cóndilo tibial lateral en vías de condricación entre el fémur y el peroné. En el estadio 21 (22-24 mm., 7.5 semanas postovulatorias) los cóndilos femorales y tibiales estaban bien definidos y en estado cartilaginoso".

**CACERES y CAJA (1980) (13)**, dado que estudiaron un total de 25 embriones y fetos, y que la descripción pormenorizada de los mismos rebasaría los límites de su trabajo, realizaron la descripción de los fetos ED1-39 y FU-59, pertenecientes a los periodos inicial y primero fetal humano, así como de un embrión humano (SAM) del final del periodo embrionario, encontrando que "...En el feto FU-59 en el fémur se pueden identificar, claramente, ambos cóndilos femorales y la escotadura intercondílea, su superficie articular aparece relacionada con los meniscos o, directamente, con la parte correspondiente de la tibia. En la tibia ambos platillos tibiales presentan una orientación perpendicular al eje del hueso. En ellos son visibles ambas espinas tibiales. La rótula ocupa una posición externa, relacionándose ampliamente con el cóndilo externo femoral. En el feto Ed1-39 se visualiza la espina tibial anterior junto al esbozo del ligamento cruzado anterior".

MILAIRE y ROOZE (1982) (61) destacan que en el estudio macroscópico de las yemas de las extremidades, con coloración de Watson, de 13'5 días "...Los contornos de los cartílagos quedan todavía bastante imprecisos, particularmente a nivel de la epífisis del fémur y de la tibia: los contornos, vagamente esbozados, de los cóndilos femorales están mal separados de los de los platillos tibiales. En los embriones de 14 días todas las porciones están sensiblemente más claras así como las zonas epifisarias del fémur".

Así mismo, GRAY y GARDNER (1950) (33) describieron la asimetría de las caras articulares de la rótula en fetos de 15'5 semanas, y en fetos más viejos encontraron que la rótula se trasladó hacia arriba durante su desarrollo y que descendió de nuevo hacia el 6º mes.

CIHAK y PUZANOVA (1960) (17) describieron los cambios relativos al crecimiento, forma y proporción de la rótula, así como la alta localización de su esbozo y su descenso durante el tercer mes de desarrollo y notaron su posición asimétrica con un cambio fibular fuera del eje.

Por último DOSKOCIL (1985) (23) realizó un detallado estudio de la articulación fémoro-rotuliana y de la rótula en el que expone "...En los embriones más jóvenes de nuestra serie el esbozo de la rótula muere en la depresión entre los futuros cóndilos. Su superficie de contacto con el fémur es casi plana,

con leves signos de la incipiente formación de una concavidad. Con relación al fémur está en la región de la futura bolsa suprapatelar, puesto que la rótula está situada más alta que la propia articulación de la rodilla. En un embrión en el mismo estado tosco de diferenciación, la rótula es ya marcadamente asimétrica, como lo son también las superficies de contacto con el fémur. En un estudio más avanzado la asimetría de la superficie articular de la articulación fémoro-rotuliana se ve disminuida. En el estadio en el cual los espacios articulares de todas las porciones componentes de la rodilla están casi completamente formadas, las superficies de contacto fémoro-patelares, en secciones sagitales, son casi planas, es decir, especialmente ellas tienen forma de **V**, con superficies de desigual tamaño. .."La rótula está todavía claramente asentada en posición alta. En el embrión en el cual el sistema articular de la rodilla está completamente formado, la asimetría posicional de la rótula disminuye y la rótula se inclina. Al final del 2º mes, la rótula ha descendido tanto que cuando la rodilla está flexionada, su borde más bajo acaba justo encima del espacio de la articulación fémoro-meniscal. Las superficies articulares de la rótula no adquieren su forma típica hasta que el espacio articular se abre, adquiriendo entonces la forma de **U**".

#### **6.- MENISCOS ARTICULARES.**

Los meniscos de la articulación de la rodilla han merecido

la atención de numerosos investigadores ya que constituyen una importantísima estructura de esta articulación, en la que ocupan parte de la cavidad articular y constituyen los elementos mediante los cuales, indirectamente, se articulan los cóndilos femorales y las cavidades glenoideas de la tibia.

En cuanto a su origen y modo de aparición merecen citarse los trabajos de **SUTTON** (1887) (96) para quien los meniscos son derivados de los músculos fémoro-caudales y de otros músculos asociados; **LUCIEN** (1904) (56) quien realizando un estudio de embriones y fetos humanos los encontró en fetos de 3 cm. en adelante, en un principio sumergidos en la masa del disco intermedio de la articulación; **GRAY** (1930) (32) quien en su "Anatomía del cuerpo humano" afirmó que "...En varios tipos de diartrosis el mesodermo entre las estructuras de los huesos no queda absorbido completamente sino que una porción persiste y forma los discos articulares"; **TAURE** (1930) (97) que afirmó que "...Existen en la rodilla tres discos interarticulares, que son el tibio-femoral interno, el tibio-femoral externo y el peroneo-femoral. Los dos primeros formarán los cartílagos semilunares o meniscos"; **DUBINKIN** y **MOTNENKO** (1931) (25) quienes han estudiado el desarrollo embriológico de los meniscos en una serie de especímenes humanos de 9'5 a 71 cm. de longitud, y que afirmaron que "...En los embriones de 11'8 cm. (unos tres meses y medio) parte del tejido lateral a la hendidura se convertirá en los meniscos; en el de 25'9 cm. (fines del quinto mes) el menisco se separará del fémur pero no del todo de la tibia; a los 31'6

cm. (cinco meses y medio) el tejido de los meniscos es conjuntivo genuino; en el feto de 39'4 cm. (de siete a ocho meses) se van perfeccionando sin cambiar de forma". Estos autores, además, realizaron un estudio de la constitución de los meniscos y los consideran divididos en una zona paracapsular, con vasos sanguíneos, y otra zona central sin vasos; **KEITH (1933) (52)** expresó su opinión de que "...Los meniscos son restos de los discos intercondrales que sobresalen en el espacio situado entre las superficies articulares"; **BENETT; WAINE y BAUER (1942) (9)** afirmaron que los meniscos son avasculares en la primera década de la vida en el adulto; **MC DERMOTT (1943) (59)**, por su parte hizo sobre estas estructuras importantes aseveraciones como: "...Los meniscos están bien desarrollados mucho antes de que haya alguna sugerencia de un revestimiento sinovial en la articulación de la rodilla, siendo el momento de su aparición las 9-10 semanas, edad en la que los meniscos están bastante separados de las superficies articulares y consisten en masas de fibroblastos con uniones a la cápsula y a los ligamentos cruzados, tal como se aprecian en el adulto", y señalando su evolución afirmó que "...A las 10-11 semanas no pueden apreciarse vasos sanguíneos en los meniscos; a las 12 semanas los meniscos están bien desarrollados y unidos a la periferia de la cápsula, presentando una superficie celular, homogénea de fibroblastos y una unión a la porción central de la tibia, teniendo en sus extremos anterior y posterior forma de cuña; a las 13 semanas los meniscos parecen una matriz cartilaginosa y hay abundante retículo en su interior, observándose vasos sanguíneos a su alrededor; en las 2 0 3



semanas siguientes, los meniscos contienen cantidades cada vez mayores de colágeno, pero no tienen matriz cartilaginosa; a las 18 semanas muestran vasos sanguíneos que los penetran, estando muy vascularizados en algunos sitios". PUJIULA (1943) (82) hizo la siguiente afirmación" ...Cuando las dos superficies articulares en parte se tocan y en parte no, como sucede en muchas articulaciones, se abre una hendidura o cavidad, entre las dos superficies de contacto; la parte de la articulación en la cual no se ponen en contacto inmediato las superficies de los dos huesos se llena de tejido conjuntivo, formando un cojinete que se adapta a la superficie de los huesos y sirve para suavizar el movimiento. Este cojinete constituye los meniscos fibrosos o fibrocartilagosos y la cavidad articular se propaga periféricamente por entre los meniscos y la superficie del hueso, tal y como ocurre en la rodilla". Para NAVES JANER (1946) (67), quién utilizó un embrión de 6 semanas y un feto de cuatro meses e hizo un estudio comparativo con rodillas de embriones de oveja de 10 cm., de cobaya de 30 días, conejo de 24 días y recién nacido, la formación de los meniscos pasa por una primera fase -los tres primeros meses en el embrión humano- en la cual el tejido celular intermedio va tomando cada vez más un carácter conjuntivo, dejando periféricamente una porción espesa, que representa, entre otras cosas, el esbozo de los meniscos, y una fase en la que éstos separan primeramente las masas laterales del fémur y después las de la tibia (durante los meses cuarto, quinto y sexto). A partir de esta fase los meniscos van tomando el carácter morfológico definitivo, adaptándose a las superficies de

los cartílagos (futuros huesos) y el carácter histológico de tejido genuino de células cartilaginosas. Afirmó además que "...respecto a los animales estudiados, se puede afirmar que a veces se pueden equiparar sus estudios con los del hombre, pero otra no. Esto demuestra que en la ontogenesis siempre hay que tener en cuenta las leyes bionómicas que rigen las distintas trayectorias evolutivas en cada especie animal". En cuanto a cómo está constituido el menisco consideró que "...La masa principal del menisco constituye su núcleo, formado por tres partes: una zona externa tendinosa, que ocuparía una octava o sexta parte del menisco. Su constitución sería fibrosa, parecida a la del tejido tendinoso. Una capa condroide, que abarcaría los dos tercios a cinco sextos del menisco y estaría formada por un tejido fibrocartilaginoso sin vasos, y una tercera capa, que vendría representada por una punta de cuña en un corte radial".

**EBERL-ROTHE** y **SONNENSCHENIN** (1950) (26) consideran que el menisco se forma en la zona fronteriza del mesénquima, esbozo de la articulación de la rodilla, que es continua con la zona intermedia de la articulación.

**GRAY** y **GARDNER** (1950) (33) atendiendo al orden evolutivo de los meniscos exponen que "...Están indicados después de la 8ª semana. En uno o dos especímenes de 8'5 semanas examinadas, pocos haces de colágeno están presentes en el menisco de uno o dos especímenes. Están bien definidos en la 9ª semana, aunque son avasculares. En la 12ª semana, en la unión con el tejido laxo

capsular algunas arteriolas, vénulas, capilares y nervios se localizan y alguno de ellos penetran en los meniscos por cortas distancias. En estadios subsiguientes el menisco estará fusionado con el tejido capsular y sinovial. El menisco lateral de un feto de 15 semanas, sin embargo, no está fundido a lo largo de su aspecto lateral, aunque se encuentra inmediatamente adyacente a la extensión de la cápsula articular. En la semana 18, la unión anterior del menisco es densa y compacta, en contraste con la unión posterior que es laxa. El menisco lateral de un feto de 19 semanas está separado de la cubierta sinovial posterolateral por un receso. En la semana 19'5 numerosos vasos están presentes en las porciones periféricas de los meniscos. Los vasos penetran en ambos meniscos en fetos de 30'5 a 32 semanas, aunque "a termino" se aprecia una reducción del número de vasos que penetran en ellos".

**KAPLAN** (1955) (50) y **ROOS y Cols.** (1958) (85) demostraron que el menisco lateral normalmente no adquiere una configuración discoide durante su desarrollo. Los últimos autores, afirman además que solamente era en la fase más primitiva del desarrollo, durante el periodo embrionario, cuando la placa de mesénquima no diferenciado a partir del cual se desarrolla el menisco se parece a un disco.

**ANDERSEN** (1961) (1) publicó que desde una etapa muy primitiva los meniscos consisten en fibrocartilago, "...Las células meniscales se transformaron en fibroblastos en una etapa

primitiva de 23 mm., formando la matriz cartilaginosa metacromática". Parece que se basó, al hacer esta afirmación, por lo menos en parte, en la especificidad de la reacción de la tinción con el Azul de Alcian. Dijo que a los 23 mm. existe una reacción metacromática muy débil en el primordio meniscal y que otra tinción con Azul Alcian indica la formación de la matriz cartilaginosa. Sin embargo, en la misma página, señaló que en las preparaciones fijadas correctamente, el líquido sinovial coagulado en el interior de la articulación se tinte con un color muy intenso y brillante con este colorante. Afirmó, así mismo que en este estadio existen tres componentes en la constitución de los meniscos: condrocitos, matriz cartilaginosa y fibras de colágeno, estas se aprecian a los 30 mm. en los meniscos consecuentemente "...el tejido que constituye los meniscos puede ser considerado como fibrocartilago".

GARDNER y O'RAHILLY (1968 (30) realizaron un estudio de investigación sobre el desarrollo de la rodilla humana, en épocas tempranas embrionarias y llegaron a la conclusión de que "...En el estadio 20 (18-23 mm., 7 semanas postovulatorias) de nueve embriones examinados, en uno se encontró el menisco lateral. En el estadio 21 (22-24 mm., aproximadamente 7'5 semanas postovulatorias) de cinco embriones examinados, en al menos tres especímenes se encontró el menisco lateral. En el estadio 22-23'8 mm., (aproximadamente 7'5-8 semanas postovulatorias) pudimos identificar a los dos meniscos. En el estadio 23 (27-31 mm., aproximadamente 8 semanas postovulatorias) los meniscos estaban

claramente definidos y eran celulares, con sus células orientadas; eran algo más oscuros que los tendones, pero sin embargo, eran parecidos a éstos y a los ligamentos. Contenían unas pocas fibras de colágeno. Nada en su aspecto sugirió la presencia de fibrocartilago. Se confundían, hacia el interior, con las interzonas fémoro-tibiales, que son muy delgadas. En este estadio, en los dos embriones examinados, los vasos sanguíneos estuvieron presentes a lo largo de los aspectos circunferenciales de los meniscos".

**LAHLAIDI (1974) (53)** se refirió en uno de sus trabajos a la influencia de los factores genéticos y ambientales sobre las estructuras articulares de la rodilla, y particularmente sobre los meniscos, afirmando que "...La forma de las estructuras anatómicas definitivas dependen de los factores genéticos y ambientales, ejerciendo estos últimos más tarde su influencia en el desarrollo embriológico".

**MAZZOTTI, PAGANI y MARCHINE (1975) (58)** estudiaron la articulación de la rodilla en series de 18 embriones y fetos humanos de una longitud cabeza cola de 20 a 200 mm.. La primera de las estructuras, por ellos considerada, es el disco intermdiaro de **Henke**, interpuesto entre la tibia y el fémur en el primer estadio del desarrollo, y notificaron que semejante formación no puede ser explicada como un ente anatómico diferente porque aparezca primeramente como centralmente discontinuo, y porque presente una diferente estructura para cada porción. Es la

parte más delgada del tejido interpuesto entre los extremos articulares. De este tejido interarticular primitivo surgen periféricamente los meniscos y centralmente el ligamento adiposo.

PALACIOS y RHOHE (1980) (77) dedicaron también un apartado al estudio de los meniscos de la articulación de la rodilla, considerando que "...Para algunos autores los meniscos se desarrollan in situ, a partir del mesénquima blastemal secundariamente vascularizado; para otros, a partir del mesénquima incluido en la articulación al formarse la cápsula fibrosa y aumentar de tamaño los componentes de la articulación, por crecimiento. La formación de los meniscos se inicia a las 8 semanas, periodo fetal, 30 mm., por condensación celular dispuesta según su eje mayor perpendicular al eje longitudinal de la diáfisis del fémur y tibia. Las condensaciones meniscales se ven definitivamente bien definidas a las 9 semanas, 40 mm.; tienen aspecto muy celular aunque contienen ya algunos elementos fibrilares colágenos. En este periodo son aún relativamente avasculares. En fetos mayores, los contornos de los meniscos terminan fusionándose con el tejido capsular fibroso, la sinovial se inserta en los límites superior e inferior de dicho contorno formándose un receso de la cavidad articular revestido por sinovial detrás del menisco lateral. A partir de la 19 semanas, 180 mm., ambos meniscos tienen un componente fibroso importante, los vasos sanguíneos penetran en ellos en ocasiones, más allá de su parte media. Hacia la semana 23, 220 mm., los meniscos contienen haces colágenos paralelos y son relativamente

avasculares. El tejido sinovial muy vascularizado, se interrumpe bruscamente en el límite de los meniscos. En fetos "a término", el número de vasos meniscales y la longitud intermeniscal de los mismos ha disminuido, los vasos no van más allá de la mitad de la anchura de los meniscos, si bien en las astas anteriores y posteriores de los mismos pueden alcanzar el límite interno".

**CACERES** y **CAJA** (1980) (13) afirman que de las estructuras meniscales que estudiaron encontraron en los embriones humanos de 28 mm. una condensación en la interlínea, que corresponde al cuerno anterior del menisco interno; que en el embrión de 30 mm. los meniscos han aumentado en anchura de tal forma que son mayores proporcionalmente que en el feto, y que en el periodo fetal temprano humano los meniscos aparecen como "...Estructuras longitudinales en los cortes periféricos".

**CLARK** y **ODGEN** (1983) (9) realizaron un amplísimo y detallado estudio de estos cartílagos semilunares o meniscos en un examen realizado sobre 548 meniscos recogidos de cadáveres prenatales y postnatales; han hecho entre otras cosas las siguientes aseveraciones "...Tanto el menisco medial como el lateral adquirieron su forma característica en el periodo temprano de su desarrollo prenatal, siendo identificables aproximadamente 7'5 semanas después de la ovulación. Para el horizonte 23 de **Streeter**, que corresponde a las 8 semanas, finales del periodo embrionario, el menisco está claramente definido. Cada menisco adquiere su forma característica durante el desarrollo prenatal y

este estadio es marcadamente celular. Los vasos sanguíneos son numerosos y más prominentes en el tercio periférico de los meniscos y en los ligamentos adyacentes coronarios y capsular. Sin embargo, los vasos son numerosos y prominentes en todas partes de los meniscos fetales". En lo que concierne al área meniscal "...Considerando todas las rodillas en conjunto, el menisco medial cubría el 51-74% del platillo medial, con una proporción media de menisco-platillo de 0'64, mientras que el menisco lateral consistentemente cubría una mayor proporción del platillo lateral, 75-93%, con una proporción media menisco-platillo de 0'84%. Las proporciones entre los meniscos y platillos fueron trazadas en los especímenes prenatales. Estas proporciones aumentan ligeramente durante los periodos temprano fetal que quedaron constantes aproximadamente a las 28 semanas de gestación. En todo momento del periodo fetal, el menisco lateral cubría una mayor proporción de su platillo que el menisco medial. La misma relación también se observa en los especímenes postnatales y adultos y parece ser relativamente constante". Por último refiriéndose a la morfología e histología de los meniscos en la edad fetal, exponen que "...En el embrión de 80 mm. los meniscos histológicamente estuvieron compuestos de fibroblastos, densamente empaquetados, que parecen ser más voluminosos en el tercio intermedio y menos y más compactamente dispuestos en el tercio periférico. Los canales vasculares atraviesan toda la anchura horizontal de los meniscos, incluyendo el tercio más interno. El suministro sanguíneo al menisco parecía llegarle a través de los ligamentos coronarios y de la porción



tibio-meniscal de los ligamentos capsulares. No hay condricificación intracelular significativa ni formación de matriz en los meniscos de esta edad y la zona entre los meniscos y el platillo tibial estaba compuesta de fibrocartilago. En el embrión de 120 mm. las células de los meniscos están más diferenciadas y son más maduras. La matriz de estas dos estructuras es más colagenosa. Los haces de colágeno están orientados de forma más organizada. Las fibras están orientadas de forma circunferencial, aunque algunas lo estuvieron en sentido radial. Numerosos vasos estuvieron presentes en todas partes de los meniscos lateral y medial. En los embriones de 150 mm., la vascularización de los meniscos es más evidente; se ha producido la diferenciación de la capa superficial compacta periférica de los meniscos para formar una membrana sinovial más evidente. La membrana tenía un grosor de 5-6 células y era ligeramente más gruesa allí donde los meniscos eran ligeramente curvados. La orientación predominante de las fibras de colágeno es la circunferencial, mientras que las fibras adyacentes a los ligamentos coronarios estuvieron orientadas de un modo más oblicuo respecto al plano horizontal del platillo. Fibras radiales más prominentes aparecen en la superficie tibial de los meniscos. Son todavía visibles los vasos sanguíneos en todas partes de los meniscos, especialmente prominentes adyacentes a los ligamentos coronarios. A los 180 mm. el fibrocartilago aparece prominente en los puntos de unión de la porción menisco-tibial al ligamento capsular del cartilago de la epífisis tibial. La capa sinovial de los meniscos es claramente distinguible sobre las superficies meniscales superior e

inferior. A los 240 mm. la disposición de las fibras de colágeno es aún más organizada".

DOSKOCIL (1935) (23) refiriéndose a estas estructuras fibrocartilaginosas que son los meniscos está de acuerdo en que "...Los meniscos, así como los ligamentos cruzados están perfectamente formados en la fase en la que el espacio articular no existe todavía como un espacio propio".

#### 7.- MEMBRANA SINOVIAL.

La naturaleza conectiva del revestimiento sinovial, membrana sinovial, fue demostrada por primera vez por HUETER (1866) (49). Esta opinión fué apoyada por los estudios de REYHER (1874) (84), HAGEN-TORN (1882) (38) y HAMMAR (1894) (45).

RETTNER (1902) (83) considera que "...El tejido de los discos intercartilaginosos que persiste en la periferia de las superficies articulares, entre la cápsula y los ligamentos, sirve para el desarrollo de las membranas sinoviales. En los cortes longitudinales, el esbozo de la sinovial se presenta bajo la forma de un pliegue triangular cuya base es continua fuera de la capa interna de la cápsula, mientras que el vértice se prolonga, más o menos lejos, de las superficies articulares. En los embriones jóvenes, la membrana sinovial y sus prolongaciones están constituidas por tejido conjuntivo reticulado, de mallas

llenas de hialoplasma y conteniendo una gran riquera vascular. Un poco más tarde se presentan las arrugas o bandas, cuyas bases estén implantadas sobre la sinovial, mientras que el cuerpo está libre en la cavidad articular. La estructura de este pliegue o banda es la de un tejido reticulado con mallas llenas y en parte vacío de hialoplasma. ¿Cómo se forman estos pliegues?. Su persistencia en las articulaciones embrionarias o fetales, así como en el adulto, nos permite considerarlos como producciones patológicas. No son más que regueros de estos discos intercartilagosos que persisten en ciertos puntos y desaparecen por fundición celular".

**SULLIVAN (1922) (95)** señala un revestimiento sinovial en los meniscos articulares.

Resulta sorprendente, pero en **1928 CLARK y LE GROSS (18)** afirmaron que las cavidades tienen un revestimiento auténticamente mesotelial.

En **1933 KEITH (52)** insistió en que la membrana sinovial tiene su origen en el pericondrio y es de naturaleza cartilaginosa.

Un investigador que ha prestado gran atención a la articulación de la rodilla es **MC DERMOTT**, quien en **1943 (59)** encuentra en los especímenes humanos de 20'5 semanas la presencia de la membrana sinovial, concluyendo que "...Algunas células de

la superficie sobresalen en la luz de la cavidad. Se evidencian como las primeras manifestaciones definitivas de la formación de una más especializada capa que recubre la articulación, y puede denominarse membrana sinovial. No es uniforme, y en algunas zonas parece extenderse, sobre todo el menisco, hasta la unión de este último con el ligamento capsular y coronario. No se observa membrana sinovial en otras porciones de la articulación, excepto, posiblemente, por encima de algunas porciones del ligamento mucosum y de los ligamentos alares, en este estadio. Entre las 29-30 semanas la membrana sinovial parece revestir todo el espacio de la articulación con la excepción de los extremos del hueso. El hecho de que la membrana sinovial se observe por primera vez aproximadamente cuando la madre reconoce también, por primera vez, los movimientos fetales es ciertamente interesante. Toma su aparición por reorganización de la células sobre las márgenes libres de los meniscos y la superficie interna de la cápsula, después de que estas estructuras hayan sido bien diferenciadas. Finalmente cubre las superficies articulares de los huesos. Afirmamos que no consta de células endoteliales. No parece razonable suponer que el pericondrio dé lugar al revestimiento sinovial de la articulación". Afirmó que las vellosidades sinoviales aparecen a las 20-30 semanas. En cuanto al revestimiento de los meniscos por membrana sinovial consideró que poseían un revestimiento similar excepto en los puntos de unión con los ligamentos coronarios y con la cápsula, y que comienza a desaparecer en los meniscos a lo largo de los 2-3 años del nacimiento.

7

Para DAWIES (1945) (20) y DAWIES y EDWARDS (1948) (21) la red vascular subyacente a las células de la superficie deberían ser incluidas en la definición de membrana sinovial.

Como ya se ha mencionado, anteriormente, para HAINES (1947) (40) "...El mesénquima sinovial da lugar a las porciones más centrales de la cavidad sinovial, a la sinovial y a los tejidos subsinoviales, así como a las estructuras intracapsulares, incluyendo los ligamentos, tendones y fibrocartilago".

GRAY y GARDNER (1950) (33) refiriéndose a esta cuestión están en condiciones de afirmar que "...Aunque las cavidades primitivas son irregulares, poco después de que empiezen a coalescer, sus células de revestimiento adquieren una orientación más definitiva, varían de densidad y disposición y con métodos histológicos normales son morfológicamente similares a las células del tejido conectivo situadas más profundamente. Poco después de que las células que revisten las cavidades adquieran su orientación definitiva aparecen los vasos sanguíneos en los tejidos laxos por debajo de las células de revestimiento. Las vellosidades de la membrana sinovial se aprecian por primera vez en el ángulo superior del receso suprapatelar en fetos de 11 semanas; están presentes en los pliegues de reflexión del tejido sinovial del fémur a las 16'5 semanas y en el receso suprapatelar y cerca del menisco a las 18 semanas". Más adelante puede leerse que "...El tejido que delimita las cavidades, o membrana sinovial, surge del mesénquima sinovial y pronto se parece al del

adulto, no cubriendo además las superficies articulares de los meniscos".

**HAINES (1953) (42)** de nuevo volvió a tratar esta cuestión y afirmó que "...Del mesénquima sinovial se forman los tejidos sinoviales y subsinoviales".

**O'RAHILLY y GARDNER (1965) (73)** consideran que, en el pollo, "...Para el estadio 36 definitivas áreas de tejido sinovial se encuentran bordeando la cavidad articular".

Con posterioridad **ANDERSEN y BRO-RASMUSSEN (1961) (2)** apoyaron esta cuestión.

**WASSILEV (1972) (102)** realizó un estudio con microscopía electrónica, así como histoquímico, de la membrana sinovial afirmando que "...Para el día 16, en la zona periférica de la condensación del mesénquima que corresponde a la interzona articular, se observan células mesenquimales con numerosas vacuolas. Dichas células representan el esbozo de la membrana sinovial. Se pueden observar células precursoras de las llamadas células **A** y **B** y a los 20 días es posible distinguirlas o diferenciarlas entre sí. Las células **A** son ricas en vacuolas, presentan actividad ATPasa positiva, lo que sugiere que son derivadas de la membrana celular externa. Las células **B** exhiben una gran zona de Golgi y grandes cantidades de RER. Otra forma celular intermedia, entre estos dos tipos, también ha sido

encontrada. En todos los estadios del desarrollo estudiados la membrana basal estuvo ausente por debajo de las células de la capa sinovial".

PALACIOS y RHODE (1980) (77) consideran que ... "El estrato sinovial de la cápsula se considera derivado, por proliferación, de la parte periférica del mesénquima vascularizado de la capa media de la interzona. Al formarse las primeras cavidades parciales de la articulación de la rodilla aún no se hallan diferenciadas las características de los elementos del estrato sinovial. La orientación peculiar de las futuras células sinoviales, que delimitan la cavidad articular sinovial, no tiene lugar hasta la confluencia de las lagunas articulares. Las células del esbozo precoz de la sinovial no se distinguen con facilidad, ni morfológica ni histológicamente, de la células conjuntivas subyacentes; su disposición y densidad varían en distintas regiones de la articulación. Después de orientarse, en definitiva, las células de revestimiento del estrato sinovial, ocurre la vascularización del tejido conjuntivo subyacente, en especial sobre los acúmulos de tejido adiposo y alveolar. El tejido sinovial prolifera y termina organizándose en los meses fetales, apareciendo alrededor de la 11ª semanas, 70 mm.; la primera vellosidad sinovial aparecen en el receso suprarotuliano de la cavidad articular, que está revestido en épocas fetales por tejido rico en células, sostenido por tejido conjuntivo laxo, atravesado por capilares. Más tarde, a las 12ª semanas, 85 mm., es frecuente ver vellosidades en los recesos menisco-femorales,

en especial en el interno, formadas por una doble fila de células y capilares. En fetos mayores, las partes postero-laterales de la cápsula fibrosa, futuros casquetes condíleos, situados por delante de las cabezas de origen carnoso de los músculos gemelos, están revestidas por un delgado estrato sinovial que emite, igualmente, vellosidades hacia el interior de la cavidad. Las vellosidades sinoviales son también frecuentes en los meses fetales posteriores, a nivel de la inserción del estrato sinovial en el límite superior e inferior del contorno superficial de los meniscos. En éstos además, al principio se puede comprobar el revestimiento, en cierta extensión, de las caras superior e inferior de los mismos, circunstancia que después desaparece, excepto en las astas anterior y posterior, atadas al platillo tibial mediante ligamentos, en las que la sinovial se comporta como en los ligamentos cruzados. En los últimos meses fetales, se marcan diferencias regionales en el revestimiento sinovial de la cavidad articular de la rodilla. Se comprueba el adelgazamiento y reducción de los vasos del tejido sinovial que reviste ligamentos y estructuras fibrosas, destaca la pobreza relativa en fibras de colágeno, en comparación con el estrato fibroso de la cápsula. En general, durante los meses fetales, muchas vellosidades sinoviales son francamente voluminosas en comparación con el tamaño de la totalidad de la articulación. Todas las vellosidades tienen un eje de fibras colágenas atravesado por vasos y revestido por células de lining. Finalmente se define también, durante los meses fetales, el tejido sinovial que reviste la capa fibrosa del periostio intraarticular del fémur y tibia, dada la



inserción, a distancia variable, del límite del cartílago articular, de la cápsula fibrosa".

CACERES y CAJA (1980) (12) encuentran el tejido sinovial en el periodo fetal con las siguientes características: "...En su localización anterior se encuentra en contacto con los segmentos meniscales anteriores, ligamento rotuliano y la rótula; en su localización posterior está cerrando, por detrás, la cavidad articular, formando un acúmulo celular importante, que llega a contactar con el plano músculo-ligamentoso posterior".

#### 8.- CAPSULA ARTICULAR.

El manguito fibroso que constituye la cápsula de la articulación de la rodilla ha sido, también, objeto de estudio por gran cantidad de investigadores, que han intentado dar luz a sus orígenes y constitución merecen ser citados, por tal motivo, los trabajos de autores como SAER (1837) (5), quien trabajando en el embrión de pollo afirmó que "...La cápsula articular es una formación blastémica, una continuación del pericondrio por encima de la región de la articulación".

SCHULIN (1979) (88) y BARDEEN (1905) (7) apoyaron esta concepción.

En 1982, HAGEN-TORN (38), sin embargo, opina que la cápsula

tiene un origen extrablastémico.

Para LANGER (1929) (54) la cápsula articular está presente con anterioridad y posterioridad al estadio de 28 mm. (finales del horizonte XXIII). También dijo que a los 25 mm. estaba presente, por primera vez, su esbozo, detrás de los ligamentos cruzados, y que su aparición tardía se debía a la ausencia de los músculos.

TAURE (1930) (97) está convencido de que la cápsula y los ligamentos capsulares, así como la sinovial articular, derivan del manguito pericondral que está uniendo los dos cartílagos próximos de la articulación.

De la misma opinión es KEITH (1933) (52) para quien el pericondrio da lugar a la cápsula de la articulación.

PUJIULA (1943) (82) afirma, atendiendo a dicha estructura fibrosa, que "...La cavidad o hendidura de la articulación queda lateralmente limitada por tejido conjuntivo, transformado en la pared de la cápsula articular; esta pared diferencia su capa interna alrededor de la cavidad articular, para constituir la cápsula sinovial. Sobre la cápsula articular, periféricamente, se modifica el tejido conjuntivo tomando un carácter muy fibroso y compacto, para formar los ligamentos periarticulares.

MC DERMOTT (1943) (59) no encontró la cápsula articular

hasta el estadio de 9-10 semanas de desarrollo.

En 1947 HAINES (40) hace una entusiasta defensa de que la cápsula articular no deriva de los pericondrios articulares, afirmando que: "...Si la cápsula fibrosa realmente representara el pericondrio sería sorprendente encontrar otra capa de pericondrio intracapsular dentro de esta cápsula. El pericondrio, cerca de las articulaciones más grandes, está perfectamente claro a los 12 mm., mientras que la cápsula fibrosa todavía está ausente a los 14 mm.; y cuando sí aparece, a los 16 mm., sus pericondrios son redondos. El desarrollo de la cápsula fibrosa, en forma de condensaciones en el tejido blástemico sobrante, cerca de la articulación, ha aislado una porción general, que va a formar el mesénquima sinovial y otra porción del pericondrio para formar el pericondrio intracapsular. El pericondrio intracapsular quedará parcialmente transformado en las porciones más periféricas del cartílago articular, mientras que el resto persiste toda la vida."

MCLL (1948) (64) afirmó que no existe simultaneidad en la formación de las diferentes partes de la cápsula y que la mayor o menor simetría del adulto muestra tener diferentes modelos de desarrollo.

GRAY y GARDNER (1950) (33) son de la opinión de que en lo referente al momento de iniciación de la formación capsular existen grandes dificultades para precisarlo, y que esta

dificultad se debe, en parte, a la rapidez con que tienen lugar los cambios en la articulación de la rodilla en esta época, en el plazo de 2-3 semanas, durante las cuales el mesénquima y el pericondrio son incorporados a la articulación. Después realizan una descripción de la cápsula, afirmando que "...La cápsula fibrosa se describe convencionalmente como una envuelta que cerca o cierra la articulación de la rodilla. Es difícil describirla como una entidad, ya que varía de unas regiones a otras. Por ejemplo, el músculo cuádriceps femoral, su tendón, la rótula y el ligamento patelar, sirven como cápsula anteriormente, y la cápsula fibrosa solamente está presente en la parte posterior de la articulación de la rodilla. No hay indicios de una cápsula fibrosa en la articulación de la rodilla hasta especímenes de 8'5 semanas o más, de edad. En la articulación de la rodilla de un embrión de 9 semanas, una insignificante concentración de colágeno cerca de la línea media sugiere una cápsula articular. En el caso de que la cápsula sea diferente en la línea media, el tejido de la fosa poplítea estará directamente continuo con el tejido laxo intraarticular". Más tarde, refiriéndose a los factores responsables de la formación de la cápsula afirman que son desconocidos, aunque el movimiento puede ser un factor importante, "...En este sentido es interesante notar que una variación considerable tiene lugar posteriormente a los ligamentos cruzados, entre las cabezas del músculo gastrocnemius, y que en esta región la cápsula puede estar ausente".

En 1953 HAINES (42) vuelve a tocar el tema en estos términos

"...Se ha sugerido que la cápsula es una formación blastémica, una continuación del pericondrio por encima de la región de la articulación. Esto no puede ser cierto por completo ya que antes de que haya aparecido la cápsula el pericondrio embrionario puede ser seguido hasta la continuidad de los orígenes de las interzonas y después de su aparición subdivide al pericondrio en porciones extra e intracapsulares. Sin embargo, es posible que la cápsula esté formada en asociación con la capa fibrosa externa del pericondrio como parte de una condensación continua alrededor de los tejidos esqueléticos. Se forma así una cápsula alrededor de la región de la articulación, aislando el mesénquima sinovial y las porciones intracapsulares del pericondrio. Las condensaciones del mesénquima sinovial darán lugar a los ligamentos intracapsulares".

**ANDERSSEN (1961)** (1) da significado histoquímico a este proceso, afirmando que "...Se podría objetivar que la división citada del pericondrio va a tener lugar aunque la cápsula haya sido formada en el área marginal del blastema continuo con el pericondrio de los cartílagos. En el curso del crecimiento los cartílagos quedan separados del mesénquima sinovial blastémico, muy gamma metacromático, por una zona condrógena, el pericondrio intracapsular. La nítida demarcación entre la metacromasia del mesénquima sinovial y la metacromasia del mesénquima general vecino corresponde con precisión al sitio donde se sitúa la cápsula".

GARDNER y O'RAHILLY (1968) (30) encontraron la condensación correspondiente a la cápsula de la articulación de la rodilla en el estadio 23 (embriones humanos de 27-31 mm., y edad aproximada de 8 semanas postovulatorias).

LAHLAIDI (1974) (53) ha señalado que la cápsula posterior de la articulación de la rodilla está formada por elementos más complejos e individualizados que las partes anteriores y laterales de dicha formación.

PALACIOS Y RHOHE (1980) (77) expone su opinión de que "...la cápsula fibrosa de la articulación de la rodilla ni estructuralmente, ni embriológicamente, representa una entidad completa, ya que existen grandes variaciones en sus distintas porciones. Una cápsula, en sentido estricto, sólo se desarrolla en la parte posterior de la articulación. Por delante y a los lados, son el tendón del músculo cuádriceps femoral, la rótula, el ligamento rotuliano y los retináculos de la rótula, los elementos que cierran la cavidad articular. En fetos de 9 semanas, 40 mm., se puede observar una ligera condensación de fibras colágenas cerca de la línea media posterior, indicio de la cápsula fibrosa, que se extiende entre el pericondrio del fémur y la tibia, casi siempre atravesada por vasos y nervios. Esta condensación es más manifiesta en fetos mayores, 11 semanas, 70 mm., formada por células de núcleos oscuros y citoplasma poco abundante, con los ejes longitudinales orientados perpendiculares al eje longitudinal del miembro inferior. Como en los fetos más

jovenes, la parte central sigue siendo atravesada por los vasos y los nervios ya citados, que acompañan a los ligamentos cruzados. En fetos aún mayores, aumenta la cantidad de fibras colágenas de la cápsula fibrosa, particularmente por delante de las cabezas de origen de los músculos gemelos. En fetos de 25'5 cm., 27 semanas y de 27'5 cm., 29 semanas, el desarrollo posterior de la cápsula varía; en unos la parte media posterior es débil y entonces el tejido conjuntivo de la fosa poplíteas se continúa con el tejido conjuntivo laxo intraarticular que acompaña a los ligamentos cruzados; en otros, es densa con transición gradual con el tejido conjuntivo laxo dispuesto alrededor de los ligamentos cruzados. En cuanto a los factores que determinan la diferenciación de la cápsula fibrosa, se acepta que los factores primarios son genéticos, posteriormente los movimientos embrionarios activos pueden ser factores importantes en la diferenciación de la cápsula (Horizonte XX, 20 mm., 30 días)".

También, por su cuidada descripción, merecen ser citados los conocimientos de CACERES y CAJA (1980) (12) sobre esta cuestión, para quienes "...Las estructuras músculo-tendinosas, óseas, el tendón rotuliano y la rótula, están presentes en los primeros estadios del desarrollo, constituyendo un factor de suma importancia para la formación de la cápsula articular. En el momento de la cristalización del mesénquima permiten la estratificación de los fibroblastos y células integrantes de la futura cápsula de la rodilla, obteniéndose de este modo su disposición definitiva. Por el contrario, cuando no existe una

estructura preeliminar que permita aquella estratificación en el momento de la cristalización del mesénquima la definición de la cápsula articular no se realiza, como sucede a nivel de la parte posterior de la misma". Posteriormente, estudiando el desarrollo de este elemento capsular en el periodo fetal humano aseguran que "...la cápsula anterior está limitada por delante de la articulación, iniciándose como la estructura tendinosa del cuádriceps; distalmente se pierde, confundiéndose con la aponeurosis anterior de la pierna; se refuerza para formar el ligamento rotuliano y se une a la rótula íntimamente; mientras que la cápsula posterior no parece tener una estructura propia en este periodo, estando delimitada por detrás por estructuras musculares, ligamentos y la sinovial posterior". Por tanto, "...la cápsula posterior no está definida en el periodo embrionario como en el inicio del fetal, sino que se evidencia como una superposición de elementos, principalmente ligamentos cruzados y grupos musculares, que cierran por detrás la articulación en estos estadios".

**WILLIAMS y WARWICK (1985) (104)** de acuerdo con **HAINES , 1947, GARDNER y GRAY, 1950 y GARDNER y O'RAHILLY 1968** exponen que "...la capa intermedia de la interzona se une al mesénquima general del miembro, que está muy vascularizado. A partir de éste se condensa una capa para formar la cápsula fibrosa de la articulación, que se desarrolla en continuidad con el pericondrio de los huesos relacionados con ella y representa el precursor de la cápsula sinovial".



## 9.- FORMACIONES LIGAMENTOSAS ARTICULARES.

De la formación de los distintos elementos intrarticulares merecen consideración especial los trabajos de investigadores tales como SUTTON (1887) (96) quien explicó el origen de las estructuras intraarticulares como el resultado del arrastre de dichas estructuras hacia adentro con la superposición de una capacidad de flexionar la articulación. LUCIEN (1904) (56) quien ya encontró los ligamentos cruzados en especímenes de 3 cm. de longitud vertex-coccix, antes incluso de que se perciba el esbozo de la cavidad articular. BARDEEN (1910) (8) que afirmó que los ligamentos cruzados y el ligamento mucoso se diferencian directamente a partir del blastema. CAREY (1922) (14) para quien "...las estructuras intraarticulares quedan bien diferenciadas con respecto a las porciones periféricas y centrales del blastema intermedio antes del comienzo de la formación de la cavidad de la articulación". TAURE (1930) (97) que opina que los ligamentos cruzados proceden de la diferenciación de la cápsula articular. DUBINKIN y MOTNENKO (1931) (25) para quienes el tejido lateral de los extremos de la hendidura se convertirá en meniscos, cápsula y ligamentos. KEITH (1933) (52) que expresó que "...El desarrollo de los cóndilos hacia el espacio poplíteo aísla una posición posterior de la cápsula que llega a situarse dentro de la articulación y forma los ligamentos cruzados. MC DERMOTT (1943) (59) para quien los ligamentos cruzados de la articulación de la rodilla aparecen en la 9ª-10ª semana en el embrión humano, afirmando que los ligamentos intraarticulares se diferencian

directamente desde el blastema que permanece después de que la desaparición de las células haya resultado en la formación de un espacio articular. De los ligamentos expone que "...Los ligamentos cruzados se reconocen como masas compactas de hilos ondulados, que están bastante separados entre sí y se aprecian tal como en el adulto a las 9-10 semanas; a las 10-11 semanas se observan más maduros y con vasos sanguíneos en el blastema que se sitúa alrededor". Para este autor el esbozo del ligamento coronario, consistente en una disminución evidente de la densidad de la masa fibroblástica entre la periferia de los meniscos y la cápsula, aparece a las 12 semanas, periodo en el que se observan también vasos sanguíneos en el tejido laxo que rodea a los ligamentos cruzados, y en algunas zonas incluso parece que estos vasos sanguíneos atraviesan, entrando desde los ligamentos coronarios, hasta los meniscos. En la 19 semana está muy aumentada la vascularización de los ligamentos cruzados y coronarios. NAVES JANER (1946) (67) afirma que "...A partir del estadio en que aparece el disco intermedio y el tejido celular intermedio va tomando cada vez más un carácter conjuntivo, deja perifericamente una porción muy espesa, que representa el primer esbozo de los meniscos, cápsula y ligamentos. GRAY y GARDNER (1950) (33) realizando un estudio experimental en 45 embriones y fetos humanos encontraron que "...En uno de los especímenes de 7'5 semanas de edad la condensación de los ligamentos cruzados es sugestiva; hacia la 8ª semana están definitivamente presentes fibras de colágeno que se orientan de modo similar a las que presentan los ligamentos del adulto. A las 9 semanas están

compuestos por numerosas células que tienen escasa cantidad de citoplasma y núcleos ovalado, así como largos ejes paralelos a la dirección adoptada por los ligamentos. A las 10 semanas presentan un aumento de fibras colágenas; a las 12 aún son más colágenos; a las 14 semanas están penetrando en ellos vasos sanguíneos. A las 18 semanas la unión femoral está extendida a un área relativamente larga mientras que la unión tibial es más compacta. En la 19<sup>a</sup> 5 semanas los vasos sanguíneos discurren longitudinalmente a los ligamentos, acompañados a menudo de los nervios". En cuanto a los ligamentos intraarticulares relacionados con los meniscos afirman que "...El ligamento de Wrisberg asciende desde la parte posterior de los meniscos laterales hasta el cóndilo femoral medial en los fetos de 10 semanas de edad. Un débil contorno del ligamento de Wrisberg está presente en la rodilla izquierda de uno o dos de los especímenes de 11 semanas. Un ligamento transverso conecta el menisco anteriormente en un feto de 12 semanas. Otro ligamento de Wrisberg se apreció además en los especímenes de 14 semanas". **ANDREASSI (1958)** con el fin de determinar las relaciones entre los ligamentos cruzados y la cápsula articular de la articulación de la rodilla estudió embriones humanos de 20'24,40,45 mm. de longitud cabeza-cola y observó que "Los ligamentos cruzados derivan de la parte posterior del disco intermedio, independientemente de la cápsula articular". **GARDNER y O'RAHILLY (1968)** (30) encontraron los ligamentos cruzados en embriones humanos en el estadio 22 (23'4-25'8 mm., 7'5-8 semanas postovulatorias) y consideraron que "...Los ligamentos cruzados

estuvieron presentes como células o proliferaciones orientadas". En el estadio 23 (27-31 mm., aproximadamente 8 semanas postovulatorias) los vasos sanguíneos estuvieron presentes alrededor de los ligamentos cruzados, y en el tejido laxo de la porción posterior de la rodilla". En cuanto al origen de las estructuras intraarticulares consideran que: "Las estructuras articulares, tales como los ligamentos se desarrollan in situ y no experimentan ninguna migración de significado filogenético.

**PALACIOS y RHODE (1980) (77)** consideran que "...Se acepta que, al igual que los meniscos, los ligamentos cruzados anterior y posterior, tienen origen blastémico, desarrollándose a partir del tejido laxo de la capa media de la interzona, vascularizada, por invasión. Estos ligamentos aparecen definitivamente en fetos de 8 semanas de edad, 30 mm., y están formados en este periodo, e incluso a las 9 semanas, 40 mm., esencialmente por células conjuntivas jóvenes, con núcleos alargados, fusiformes, cuyo eje mayor se dispone en la dirección de los propios ligamentos, rodeados por escaso citoplasma. Tanto a las 8 semanas como en fetos mayores, los ligamentos cruzados están acompañados por vasos y nervios que proceden de la parte posterior del esbozo articular, transcurriendo en el conjunto peri e intraligamentoso. Muchos terminan penetrando en las epífisis del fémur y tibia, hechos aún más destacados en fetos humanos mayores. Entre las 10-12 semanas (60-85 mm.) los ligamentos cruzados aumentan de volumen lo mismo que el resto de las estructuras articulares. Los elementos colágenos son más abundantes y destacan a las 15

semanas, predominando sobre el componente celular. En este periodo y en posteriores destaca en el ligamento posterior la diferencia entre el origen femoral que ya en el feto es más extenso que la inserción tibial, que se realiza en un área más reducida, si bien más condensada y compacta. La vascularización definitiva de los ligamentos cruzados se va estableciendo hacia las 23 semanas, 220 mm.; se observan vasos longitudinales paralelos a la dirección de los haces colágenos, acompañados de nervios, localizados en el tejido periligamentoso, cerca de la cavidad articular, que ceden ramos que atraviesan el espesor de los ligamentos cruzados, los cuales aparecen tabicados en los cortes parasagitales, por las ramas vasculares. Es frecuente ver cómo vasos que acompañan a los ligamentos que nos ocupan, penetran por corto trayecto en la epífisis cartilaginosa tibial y femoral, muy cerca de la inserción y del origen de los ligamentos cruzados. Finalmente los ligamentos cruzados aumentan en tamaño en los últimos meses fetales. Los tejidos conjuntivos peri e intraligamentosos y conjuntivo-adiposos persisten. Si bien ocurre una disminución relativa de su masa. De todos modos, los ligamentos cruzados en todos los casos están revestidos por tejido sinovial". Después, dedicándose en un apartado a los ligamentos relacionados con los meniscos yugales (transverso, interneniscal) y menisco-femoral de Wrisberg afirmaron que "...Se van diferenciando entre las 10-12 semanas, 60-115 mm., así como los ligamentos meniscales que fijan los extremos de los meniscos a la zona intercondílea tibial. Al mismo tiempo aumenta la proporción de tejido fibroso colagenoso, menos en la unión de los

meniscos con la cápsula fibrosa en la que se encuentra tejido conjuntivo laxo rico en vasos y nervios que penetran más o menos en los meniscos".

**CAJA y CACERES (1980)** (13) observaron la condensación longitudinal de células que corresponde y da origen al ligamento cruzado posterior en el embrión humano de 28 mm., mientras que el ligamento cruzado anterior fue observado por estos autores en el periodo fetal humano. El ligamento cruzado en dicho periodo fetal aparece en la parte interna, visualizándose su inserción tibial bien reforzada. Es de estructura densa, compuesta por fibras longitudinales y distalmente recubierto por sinovial; el ligamento cruzado posterior está formado por fibras longitudinales que se esparcen en su inserción distal. Su cara posterior delimita la articulación y la anterior el fondo de saco posterior de la articulación.

#### **10.- REFUERZOS LIGAMENTOSOS Y TENDINOSOS DE LA ARTICULACION DE LA RODILLA.**

De acuerdo con nuestra documentación bibliográfica, el primero en notificar el curso peroneal del eje del ligamento rotuliano del recto femoral fue **STRASER (1917) (94)**, un típico exponente de la visión mecanicista de la forma en que se organizan las superficies articulares y los aparatos de soporte y apoyo.

En 1929 LANGER (54) también observó que el tendón del cuádriceps se conducía por delante de la rótula.

GRAY y GARDNER (1950) (33) exponen en orden cronológico el momento de aparición y desarrollo de estos tendones y ligamentos, afirmando que "...Las condensaciones para el tendón del músculo cuádriceps femoral y para el ligamento peroneo colateral están presentes en la 7ª semana: el 1º está bien definido en la 7'5 semanas y el segundo en la 8ª. En fetos de 9 semanas, el ligamento peroneo colateral desciende desde la porción lateral del cóndilo lateral hasta fusionarse con el pericondrio del peroné. El ligamento tibial colateral alcanza también un comparable estadio de desarrollo. El tendón del músculo cuádriceps femoral continua en el plano medio-sagital del miembro y el ligamento patelar está lejos de la tuberosidad. En la 10ª semana, el ligamento arqueado poplíteo es evidente como una banda que se extiende desde la cabeza del peroné hasta la porción posterior del cóndilo femoral lateral. En las 12ª semanas, el retículo patelar es delgado y celular, y el medial está separado del aspecto anterior del menisco medial por tejido vascular laxo. En las 14'5 semanas, el ligamento tibial lateral ha alcanzado ya un considerable desarrollo y se fusiona con el pericondrio y periostio de la tibia. Una sección a través de la rodilla de un feto de 15'5 semanas revela hileras paralelas de vasos penetrados en el tendón del cuádriceps femoral. El tendón del músculo poplíteo en este espécimen está separado del menisco lateral posterolateralmente por un receso de la cavidad articular. Este

tendón se desarrolla in situ y mantiene su posición con respecto al menisco lateral a través del período fetal. La presencia del ligamento poplíteo está relacionada con las variaciones de la parte posterior de la cápsula. En especímenes jóvenes, en los cuales la cápsula fibrosa es deficiente, el ligamento poplíteo oblicuo también es deficiente. En los fetos de 30'5-32 semanas este ligamento cierra posteriormente la articulación como una pesada banda".

**PATURET (1951) (79)** estudió el curso del ligamento patelar o rotuliano, dibujándolo de modo incorrecto frontalmente, pero correctamente desde arriba.

**CIHAK y PUZANOVA (1960) (17)** encontraron, trabajando en embriones y fetos, los tendones del recto femoral y de los vastos medial y lateral en la superficie anterior de la rótula, mientras que solamente el vasto intermedio terminaba en el borde superior de la rótula. El tendón del recto femoral pudo ser seguido y aislado hasta la tuberosidad de la tibia.

**GARDNER y O'RAHILLY (1968) (30)** en un estudio perfectamente estudiado que realizaron sobre embriones humanos, encuentran los elementos ligamento-tendinosos en este orden "...En el estadio 18 (11'7-17 mm., 6 semanas postovulatorias) un ligamento rotuliano en vías de diferenciación pudo ser identificado en dos de los embriones estudiados. En el estadio 19 (16'3-21 mm., 7 semanas postovulatorias) una evidente condensación celular para el



ligamento fibular o peroneo colateral fue observada en tres de los seis especímenes utilizados, y en cada uno de estos embriones se pudo identificar el tendón del músculo poplíteo. El ligamento rotuliano estaba claramente presente en todos los especímenes. Se apreció, además, en uno de los especímenes, la sugerencia de un retináculo primitivo para la rótula. En el estadio 20 (18-23 mm., 7 semanas postovulatorias) el ligamento peroneo colateral y el tendón del músculo poplíteo estaban claramente presentes, y el ligamento tibial colateral pudo ser identificado en algunos especímenes. También fueron identificados los retináculos patelares. En el estadio 21 (22-24 mm., 7.5 semanas postovulatorias) el retináculo rotuliano estuvo presente en todos los embriones. El ligamento peroneo colateral también estuvo presente, junto con el tendón del poplíteo, pero el ligamento tibial colateral no siempre pudo ser identificado. En el estadio 22 (23.4-25.8 mm.) los ligamentos colaterales estaban presentes de modo más constante y eran muy celulares". Concluyen afirmando que: "...Las estructuras ligamentosas se van condensando con el orden siguiente: El ligamento rotuliano entre los estadios 18-19; El ligamento fibular colateral y el tendón del poplíteo, en el 19; el retináculo rotuliano entre el 19-20; el tibial colateral en el 20; y el ligamento poplíteo oblicuo en el 23".

**WILLIAMS y WARWICK (1985) (104)** en "La Anatomía de Gray" describen las relaciones entre los tendones del cuádriceps y la rótula. De acuerdo con ellos, el tendón del recto femoral está inserto en la base de la rótula, los vastos lateral y medial

están insertos en sus bordes laterales y en el tendón del recto femoral, mientras que el vasto intermedio forma una profunda porción del tendón del recto femoral.

Por su parte **PALACIOS y RHODE (1989) (77)** exponen que "...A las 7 semanas, Horizonte XX, 22 mm., se pueden ver condensaciones correspondientes al tendón del músculo cuádriceps y al ligamento lateral externo de la rodilla, que se definen a las 7'5 semanas, Horizonte XXI-XXI, 22-24 mm.; una semana más tarde, 35 mm., aparecen bandas de fibras colágenas en estos tendones y ligamentos. A las 9 semanas, 40 mm., se halla considerablemente desarrollado el ligamento lateral interno. Los retináculos de la rótula, medial y lateral, aparecen en la 11ª semana, 70 mm., y en la misma época la parte externa del ligamento poplíteo arqueado. En los meses posteriores, los citados ligamentos se hacen más fibrosos, densos y avasculares. A las 19'5 semanas, 185 mm., el tendón del músculo poplíteo se observa bien definido, vascularizado e inervado al igual que el tendón rotuliano, que ya se halla esbozado a las 9 semanas, 40 mm.. En fetos de 30'5-32 semanas, 293-295 mm., el ligamento poplíteo oblicuo destaca en forma de potente banda que cruza dorsalmente la articulación".

**DOSKOCIL (1985) (23)** también se dedicó, en parte, al estudio del tendón del recto femoral, llegando a la conclusión de que "...En la fase en la cual la insinuación del espacio articular es solamente un delgado y laxo tejido conectivo situado entre los modelos cartilaginosos de los huesos, podemos ver ya el material

del futuro tendón del recto femoral, discurriendo e insertándose sobre la superficie anterior de la rótula, mientras enfrente, el vasto medial y lateral acaban sobre el espesamiento a lo largo de una cara de la rótula. En el periodo citado la asimetría del ligamento patelar es manifiesta, teniendo una dirección disto-fibular. Una sección realizada exactamente a través de la extremidad inferior del muslo, muestra la localización asimétrica del recto femoral con su inserción tibial siguiendo el eje del muslo. Las cuatro paredes del músculo cuádriceps se encuentran claramente visibles, y este músculo en el embrión corre diagonalmente al eje muslo-pierna, una situación que está meramente indicada en el adulto. En estadios más avanzados, se hace cada vez más discernible que solamente el vasto intermedio está insertado en el borde superior del reborde cartilaginoso rotuliano, mientras que en el recto femoral discurre enfrente del pericondrio de la rótula y ambos vastos (medial y lateral) están insertados en el espeso tejido conectivo, descrito en estadios más tempranos, en cualquier sitio del esbozo de la rodilla. La asimetría en el curso del ligamento rotuliano disminuye a lo largo del desarrollo".

#### 11.- COMPONENTE GRASO DE LA ARTICULACION DE LA RODILLA.

LUCIEN (1904) (56) en su trabajo "Desarrollo de la articulación de la rodilla y formación del ligamento adiposo" expone que "...Se sabe que el ligamento adiposo de la

articulación de la rodilla está sujeta, dependiendo de los individuos, a variaciones considerables. A veces está totalmente ausente, o bien puede presentarse como una delgada lámina que partiendo de la porción posterior del paquete adiposo viene a insertarse sobre la porción alta del ligamento cruzado anterior, dejando a la cavidad articular completamente tabicada. El estudio filogenético, así como el estudio ontogénico, nos lleva a considerar al ligamento adiposo y el paquete adiposo anterior de la rodilla como simples masas de relleno, no teniendo una situación muy precisa en medio de los diferentes aparatos ligamentosos de la articulación de la rodilla". ¿Cómo se constituyen según **LUCIEN** estas estructuras? "...Una vez que del disco intermedio han surgido las cavidades articulares, no queda del disco intermedio más que una masa compacta situada debajo de la rótula, que llegará a dar el paquete adiposo de la rodilla, así como una lámina de tejido embrionario, reliquia de la masa intermedia del disco, que continuando hacia atrás al paquete adiposo acaba insertándose por encima del ligamento cruzado anterior, justo en la fosa intercondílea. Esta lámina o septum mediano sigue la misma evolución que el paquete adiposo del cual no es más que una prolongación. "...El paquete adiposo anterior está representado, en el feto humano de 4 cm. de longitud vértice-coccix, por una masa que completa todo el espacio comprendido entre la cara inferior de la rótula y la porción preespinal de la tibia. Está limitada, por delante, por el ligamento rotuliano, al que desborda por la derecha y por la izquierda; hacia atrás se prolonga por una lámina a la que hemos

llamado septum median, que acaba en la escotadura intercondílea. En el feto de 6'5 cm. de longitud el septum median y el paquete adiposo anterior tienen la misma forma y la misma situación. Están compuestos por un tejido conjuntivo embrionario atravesado por algunas ramas vasculares. En los fetos de más edad la diferenciación sigue todavía y finalmente el tejido adiposo y septum median están formados por un tejido conectivo laxo en el cual no tarda en aparecer grasa que acaba dando a estas formaciones su aspecto característico. El septum median se encuentra aún en embriones de 11-12 cm. de longitud, pero es raro encontrarlo en fetos de 13 cm. y excepcional en los de más edad, no estando representado en esta época más que por el ligamento adiposo, tal y como se encuentra normalmente en el adulto. El ligamento adiposo es, por lo tanto, la reliquia del septum median del embrión. Aparece después de la desaparición de la porción inferior del septum. La regresión del septum median se hace de delante a atrás y no abandonará más que en último lugar sus conexiones con el ligamento cruzado anterior".

Para **MC DERMOTT (1943) (59)**, que toma como estudio del componente graso de la rodilla a la almohadilla grasa infrapatelar o infrarotuliana, la aparición de células grasas evidentes en la masa del tejido conectivo inferior de la rótula, de modo que se convierte en una almohadilla grasa infrapatelar, tiene lugar a las 19 semanas de desarrollo.

**GRAY y GARDNER (1950) (33)** encontraron "...Numerosas células

grasas dispersas en la región infrarotuliana y en la fosa poplítea en la 17 semana, y también en otros estadios de la evolución. Son más numerosas en la semana 18, y cerca de la línea media de la región infrarotuliana están dispuestas en lóbulos grasos".

**SHIMODA (1955) (90)** refiriéndose a la constitución de los elementos grasos de la articulación de la rodilla afirma que "...Los cuerpos adiposos de alrededor de la rodilla están compuestos de tejido laxo".

**PALACIOS y RHODE (1980) (77)** aseguran que "...Los pliegues adiposos, por regla general, aparecen de la 16 a la 20 semana del desarrollo fetal, 140-190 mm. de longitud. Los primeros acúmulos de células adiposas suelen encontrarse en la región infrarotuliana y en la fosa poplítea, por detrás de la parte media posterior de la cápsula fibrosa. Se ven lobulillos de grasa cerca de la línea media anterior, a nivel infrarotuliano, en fetos de 18 semanas, 170 mm., así como pliegues alares muy vascularizados, a cada lado de la rótula, cubiertos por sinovial (ligamento falciforme de Morris). Más tarde, 19 semanas, fetos de 180 mm., se distinguen también células adiposas a lo largo de los ligamentos cruzados. La grasa aumenta en el resto del periodo fetal, y en fetos "a término" predomina en la región infrarotuliana, en los pliegues alares, en la fosa poplítea directamente a la parte posterior de la articulación, cuando esta articulación presenta un defecto

vertical medio posterior en su cápsula fibrosa. La grása situada en la región infrarotuliana constituirá el paquete adiposo anterior, revestido igualmente por sinovial, cuyo vértice se va dirigiendo a la parte anterior del espacio intercondíleo del fémur; al converger con las aletas de la rótula, forma el ligamento adiposo, prolongación celular que en la época fetal divide la cavidad articular de la rodilla en dos cámaras, interna y externa."

## 12.- BOLSAS SEROSAS EN LA ARTICULACION DE LA RODILLA.

La información más antigua que poseemos a este respecto proviene de **MOSER (1892) (66)** quien considera que la bolsa anserinal se forma en el estadio de 74 mm. y la bolsa semimembranosa en el de 90 mm. sin embargo, ni este autor, ni **BRACK (1934) (11)** encontraron la bolsa prepatelar en los fetos.

**GRAY y GARDNER (1950) (33)** refiriéndose a las bolsas articulares están en condiciones de afirmar que "...Las bolsas, estructuras parecidas a las cavidades articulares, están por primera vez indicadas por medio de una laxitud en los lugares de los futuros espacios. Así, en la 9ª semana, el tejido de las áreas de las futuras bolsas suprapatelar superficial, semimembranosa y anserinal es laxo en estructura, en los especímenes jóvenes. La bolsa superficial prepatelar está presente definitivamente en la 11ª semana. En uno de los fetos

examinados de 12 semanas se aprecia la presencia bilateral de las bolsas prepatelar superficial, anserinales y semimembranosas. Las bolsas suprapatelar e infrapatelares profundas están indicadas por una laxitud del tejido en la 13ª semana y están definitivamente presentes en la 15ª semana. A las 18 semanas aparecen ya varias bolsas más: una, entre la cabeza medial del músculo gastrocnemius y el músculo semimembranoso, y otras entre la cápsula y el ligamento fibular colateral. Al principio nunca se observan comunicaciones de las bolsas con la articulación de la rodilla, pero más tarde terminan haciéndolo siempre".

**POLACEK (1959) (8)** realizó un estudio sobre la inervación de una de las bolsas de la articulación de la rodilla, la bolsa suprapatelar, en el hombre y dice de ella "...Tiene lugar por un ramo perióístico proveniente de una rama que da el nervio femoral para el vasto intermedio". Estos resultados los obtuvo estudiando 30 preparaciones, de las cuales 15 eran de adulto y 15 de fetos.

**PALACIOS y RHODE (1980) (77)** también dedican un apartado al estudio de estas estructuras, en el que puede leerse "...Las primeras bolsas sinoviales que se esbozan, al igual que las lagunas articulares, en el tejido laxo de distinta localización, se reconocen a nivel prerotuliano superficial, a las 11 semanas, 70 mm., con limitación de células aplanadas. La bolsa de la pata de ganso y del tendón del músculo semimembranoso, aparecen alrededor de las 12 semanas, 85 mm.; y la bolsa serosa del tendón del músculo biceps femoral y las bolsas serosas supra e



infrarotulianas profundas se pueden ver a las 15 semanas, 130 mm. las bolas sinoviales situadas entre el músculo gemelo interno y la parte posterointerna de la cápsula, y entre aquél y el tendón del músculo semimembranoso, así como la situada entre el ligamento lateral externo y la cápsula de la articulación de la rodilla, no aparecen hasta las 18 semanas, 170 mm."

MATERIAL

Y

METODOS

El material utilizado para la realización de la presente Tesis Doctoral pertenece a las Embriotecas del Instituto F. Olóriz y al Departamento de Ciencias Morfológicas de la Universidad de Granada.

**1.- Embrioteca del Departamento de Ciencias Morfológicas:**

**- Estadio 17 de O'Rahilly:**

- Embrión humano: J.D.-5, de 13 mm..

**2.- Embrioteca del Instituto F. Olóriz:**

**- Estadio 18 de O'Rahilly:**

- Embrión humano: X-12, de 15 mm.
- Embrión humano: G.G.-1, de 17 mm.

**- Estadio 19 de O'Rahilly:**

- Embrión humano: B.E.-1, de 17 mm.

**- Estadio 20 de O'Rahilly:**

- Embrión humano: B.B.-5, de 20 mm.
- Embrión humano: P.T.-9, de 20 mm.
- Embrión humano: M.A.-7, de 22 mm.
- Embrión humano: X-6, de 22'5 mm.

**- Estadío 21 de O'Rahilly:**

- Embrión humano: P.F.-6, de 22-24 mm.
- Embrión humano: C.H.-1, de 24 mm.

**- Estadío 22 de O'Rahilly:**

- Embrión humano: E.A.-3, de 24'5 mm.
- Embrión humano: B.B.-4, de 26 mm.
- Embrión humano: G.V.-4, de 27 mm.
- Embrión humano: N.A.-2, de 27'5 mm.
- Embrión humano: H.E.-1, de 28 mm.
- Embrión humano: F.A.-5, de 28 mm.

**- Estadío 23 de O'Rahilly:**

- Embrión humano: N.A.-1, de 29 mm.
- Embrión humano: R.I.-4, de 29 mm.
- Embrión humano: B.B.-2, de 30 mm.
- Embrión humano: X-18, de 30 mm.
- Embrión humano: H-23, de 31 mm.
- Embrión humano: X-14, de 31 mm.
- Embrión humano: M.A.-4, de 35 mm.
- Embrión humano: X-12, de 35 mm.
- Embrión humano: C.A.-1, de 35 mm. Serie B.

**- Período fetal, novena semana del desarrollo:**

- Feto humano: R.I.-1, de 38 mm.
- Feto humano: H-19, de 39 mm.

- Feto humano: P.B.-1, de 39 mm.
- Feto humano: G.V.-3, de 41 mm.
- Feto humano: A.M.-1, de 41 mm.
- Feto humano: P.E.-7, de 41 mm.
- Feto humano: Z.O.-1, de 42 mm.
- Feto humano: S.A.-1, de 44 mm. Serie B.

**Periodo fetal, décima semana del desarrollo:**

- Feto humano: G.V.-1, de 45 mm.
- Feto humano: M.A.-3, de 46 mm.
- Feto humano: S.A.-3, de 48 mm.
- Feto humano: M.A.-2, de 50 mm.
- Feto humano: X-8, de 50 mm.

**Periodo fetal, décimo primera semana del desarrollo:**

- Feto humano: M.A.-1, de 52 mm.
- Feto humano: B.B.-3, de 53 mm.
- Feto humano: X-11, de 53 mm.

**Periodo fetal, décimo segunda semana del desarrollo:**

- Feto humano: H-4, de 62 mm. Serie A.
- Feto humano: S.A.-4, de 70 mm.
- Feto humano: P.E.-3, de 70'5 mm.

**Periodo fetal, décimo tercera semana del desarrollo:**

- Feto humano: J.M.-1, de 80 mm.
- Feto humano: O.L.-1, de 83 mm.

- Período fetal, décimo cuarta semana del desarrollo:

- Feto humano: 7.0-3 de 100 mm.

Este material fue estudiado en forma seriada, analizando el origen y desarrollo embriológico y fetal de los elementos constitutivos del par cinemático articular de la rodilla humana.

De todos los embriones y fetos humanos estudiados, y para evitar repeticiones innecesarias en las descripciones, seleccionamos, por representar los momentos culminantes en la cronología evolutiva de la articulación de la rodilla, una serie de ellos, cuyo estudio nos va a permitir hacer un seguimiento desde la fase del anlage hasta su desarrollo final. Los ejemplares seleccionados y sus características pueden encontrarse al final de este capítulo.

Los embriones y fetos estudiados tienen una edad que oscila entre los 41 días y las 14 semanas del desarrollo, con una longitud que abarca desde los 13 mm. a los 102 mm..

En su día, y por los respectivos servicios de las citadas embriotecas, siguiendo las técnicas habituales de laboratorio, fueron fijados en formol neutro al 10% durante 24-72 horas, seguidamente se deshidrataron con etanol a concentraciones crecientes, aclarando con benzoato de metilo y benzol, para más

tarde hacer su inclusión en parafina de P.P. a 18-60°; con posterioridad se cortaron los bloques en series transverso-horizontales, todos ellos excepto los E.A.-3, A.M.-1, X-8 y Z.G.-2, que lo fueron sagitalmente, con un grosor de corte aproximado de 10-15 micras. La tinción de los citados cortes se hizo a base de Hematoxilina de Harris y Fosina.

Hemos hecho un estudio morfodescriptivo, con un microscopio óptico convencional Orthoplan, con cámara fotográfica modelo Vario-Orthomat 2, de una serie de planos de sección de los diferentes embriones y fetos.

Elegimos de la seriación completa aquellos planos que consideramos de mayor utilidad, para cumplir el objetivo de nuestro trabajo de investigación.

Los embriones y fetos humanos que presentamos tienen las siguientes características:

PROTOCOLO -1-

- Embrión humano: J.D.-5.
- Estadío: 17 de O'Rahilly.
- Edad: 41 días.
- Longitud: 13 mm.
- Cortes: Transverso-horizontales de 10 micras de espesor.

- Tinción: Hematoxilina de Harris y Eosina.
- Procedencia: Embrioteca del Departamento de Ciencias Morfológicas. Universidad de Granada.

PROTOCOLO -2-

- Embrión humano: X-12.
- Estadío: 18 de O'Rahilly.
- Edad: 43 días.
- Longitud: 15 mm.
- Cortes: Transverso-horizontales de 10 micras de espesor.
- Tinción: Hematoxilina de Harris y Eosina.
- Procedencia: Embrioteca del Instituto F. Olóriz. Universidad de Granada.

PROTOCOLO -3-

- Embrión humano: G.G.-1.
- Estadío: 18 de O'Rahilly.
- Edad: 44 días.
- Longitud: 17 mm.
- Cortes: Transverso-horizontales de 10 micras de espesor.
- Tinción: Hematoxilina de Harris y Eosina.
- Procedencia: Embrioteca del Instituto F. Olóriz. Universidad de Granada.



PROCOLO -4-

- Embrión humano: B.E.-4.
- Estadío: 19 de O'Rahilly.
- Edad: 48 días.
- Longitud: 17 mm.
- Cortes: Transverso-horizontales de 10 micras de espesor.
- Tinción: Hematoxilina de Harris y Eosina.
- Procedencia: Embrioteca del Instituto F. Olóriz. Universidad de Granada.

PROCOLO -5-

- Embrión humano: B.B.-5.
- Estadío: 20 de O'Rahilly.
- Edad: 50 días.
- Longitud: 20 mm.
- Cortes: Transverso-horizontales de 10 micras de espesor.
- Tinción: Hematoxilina de Harris y Eosina.
- Procedencia: Embrioteca del Instituto F. Olóriz. Universidad de Granada.

PROCOLO -6-

- Embrión humano: M.A.-7.

- **Estadio:** 20 de O'Rahilly.
- **Edad:** 51 días.
- **Longitud:** 22 mm.
- **Cortes:** Transverso-horizontales de 10 micras de espesor.
- **Tinción:** Hematoxilina de Harris y Eosina.
- **Procedencia:** Embrioteca del Instituto F. Olóriz. Universidad de Granada.

PROTOCOLO -7-

- **Embrión humano:** P.E.-8.
- **Estadio:** 21 de O'Rahilly.
- **Edad:** 52 día.
- **Longitud:** 22-24 mm.
- **Cortes:** Transverso-horizontales de 10 micras de espesor.
- **Tinción:** Hematoxilina de Harris y Eosina.
- **Procedencia:** Embrioteca del Instituto F. Olóriz. Universidad de Granada.

PROTOCOLO -8-

- **Embrión humano:** C.H.-1.
- **Estadio:** 21 de O'Rahilly.
- **Edad:** 52 días.
- **Longitud:** 24 mm.

- **Cortes:** Transverso-horizontales de 10 micras de espesor.
- **Tinción:** Hematoxilina de Harris y Eosina.
- **Procedencia:** Embrioteca del Instituto F. Olóriz. Universidad de Granada.

PROCOLO -9-

- **Embrión humano:** E.A.-3.
- **Estadío:** 22 de O'Rahilly.
- **Edad:** 54 días.
- **Longitud:** 24'5 mm.
- **Cortes:** Sagitales de 10 micras de espesor.
- **Tinción:** Hematoxilina de Harris y Eosina.
- **Procedencia:** Embrioteca del Instituto F. Olóriz. Universidad de Granada

PROCOLO -10-

- **Embrión humano:** H.E.-1.
- **Estadío:** 22 de O'Rahilly.
- **Edad:** 56 días.
- **Longitud:** 28 mm.
- **Cortes:** Transverso-horizontales de 10 micras de espesor.
- **Tinción:** Hematoxilina de Harris y Eosina.
- **Procedencia:** Embrioteca del Instituto F. Olóriz. Universidad de Granada.

PROCOLO -11-

- Embrión humano: N.A.-1.
- Estadío: 23 de O'Rahilly.
- Edad: 57 días.
- Longitud: 29 mm.
- Cortes: Transverso-horizontales de 10 micras de espesor.
- Tinción: Hematoxilina de Harris y Eosina.
- Procedencia: Embrioteca del Instituto F. Olóriz. Universidad de Granada.

PROCOLO -12-

- Embrión humano: X-4.
- Estadío: 23 de O'Rahilly.
- Edad: 58 días.
- Longitud: 31 mm.
- Cortes: Transverso-horizontales de 10 micras de espesor.
- Tinción: Hematoxilina de Harris y Eosina.
- Procedencia: Embrioteca del Instituto F. Olóriz. Universidad de Granada.

PROCOLO -13-

- Feto humano: R.I.-1.

- Estadío: Período fetal.
- Edad: 9 semanas.
- Longitud: 38 mm.
- Cortes: Transverso-horizontales de 10 micras de espesor.
- Tinción: Hematoxilina de Harris y Eosina.
- Procedencia: Embrioteca del Instituto F. Olóriz. Universidad de Granada.

PROTOCOLO -14-

- Feto humano: G.V.-3.
- Estadío: Período fetal.
- Edad: 9 semanas.
- Longitud: 41 mm.
- Cortes: Transverso-horizontales de 10 micras de espesor.
- Tinción: Hematoxilina de Harris y Eosina.
- Procedencia: Embrioteca del Instituto F. Olóriz. Universidad de Granada.

PROTOCOLO -15-

- Feto humano: A.M.-1.
- Estadío: Período fetal.
- Edad: 9 semanas.
- Longitud: 41 mm.

- **Cortes:** Sagitales de 10 micras de espesor.
- **Tinción:** Hematoxilina de Harris y Eosina.
- **Procedencia:** Embrioteca del Instituto F. Olóriz. Universidad de Granada.

PROTOCOLO -16-

- **Feto humano:** G.V.-1.
- **Estadío:** Período fetal.
- **Edad:** 10 semanas.
- **Longitud:** 45 mm.
- **Cortes:** Transverso-horizontales de 10 micras de espesor.
- **Tinción:** Hematoxilina de Harris y Eosina.
- **Procedencia:** Embrioteca del Instituto F. Olóriz. Universidad de Granada.

PROTOCOLO -17-

- **Feto humano:** M.A.-3.
- **Estadío:** Período fetal.
- **Edad:** 10 semanas.
- **Longitud:** 46 mm.
- **Cortes:** Transverso-horizontales de 10 micras de espesor.
- **Tinción:** Hematoxilina de Harris y Eosina.
- **Procedencia:** Embrioteca del Instituto F. Olóriz. Universidad de Granada.

PROCOLO -18-

- Feto humano: X-8.
- Estadío: Período fetal.
- Edad: 10 semanas.
- Longitud: 50 mm.
- Cortes: Sagitales de 10 micras de espesor.
- Tinción: Hematoxilina de Harris y Eosina.
- Procedencia: Embrioteca del Instituto F. Olóriz. Universidad de Granada.

PROCOLO -19-

- Feto Humano: M.A.-1.
- Estadío: Período fetal.
- Edad: 11 semanas.
- Longitud: 52 mm.
- Cortes: Transverso-horizontales de 10 micras de espesor.
- Tinción: Hematoxilina de Harris y Eosina.
- Procedencia: Embrioteca del Instituto F. Olóriz. Universidad de Granada.

PROCOLO -20-

- Feto humano: B.B.-3.

- **Estadio:** Período fetal.
- **Edad:** 11 semanas.
- **Longitud:** 53 mm.
- **Cortes:** Transverso-horizontales de 10 micras de espesor.
- **Tinción:** Hematoxilina de Harris y Eosina.
- **Procedencia:** Embrioteca del Instituto F. Olóriz. Universidad de Granada.

PROTOCOLO -21-

- **Feto humano:** S.A.-4.
- **Estadio:** Período fetal.
- **Edad:** 12 semanas.
- **Longitud:** 70 mm.
- **Cortes:** Transverso-horizontales de 10 micras de espesor.
- **Tinción:** Hematoxilina de Harris y Eosina.
- **Procedencia:** Embrioteca del Instituto F. Olóriz. Universidad de Granada.

PROTOCOLO -22-

- **Feto humano:** O.L.-1.
- **Estadio:** Período fetal.
- **Edad:** 13 semanas.
- **Longitud:** 83 mm.



- Cortes: Transverso-horizontales de 10 micras de espesor.
- Tinción: Hematoxilina de Harris y Eosina.
- Procedencia: Embrioteca del Instituto F. Olóriz. Universidad de Granada.

PROTOCOLO -23-

- Feto humano: Z.O.-2.
- Estadío: Período fetal.
- Edad: 14 semanas.
- Longitud: 102 mm.
- Cortes: Sagitales de 10 micras de espesor.
- Tinción: Hematoxilina de Harris y Eosina.
- Procedencia: Embrioteca del Instituto F. Olóriz. Universidad de Granada.

OBSERVACIONES

Figs. 1-1



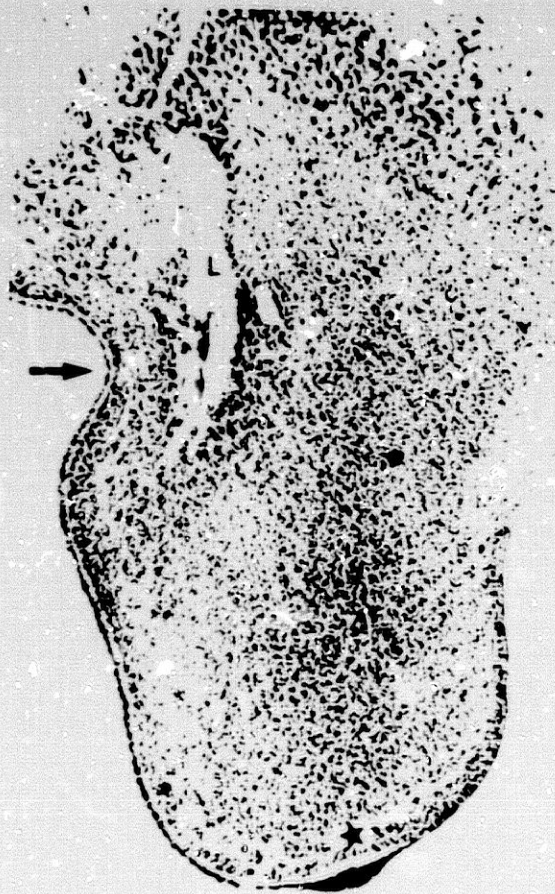
- Embrión humano: J.D.-5
- Corte: 59.1.4.
-  :Constricción que marca el esbozo de la futura articulación.
- ● :Cresta ectodérmica apical.
- ★ :Vena marginal.
- L :Plexo lumbo-sacro.

Fig. 1-2

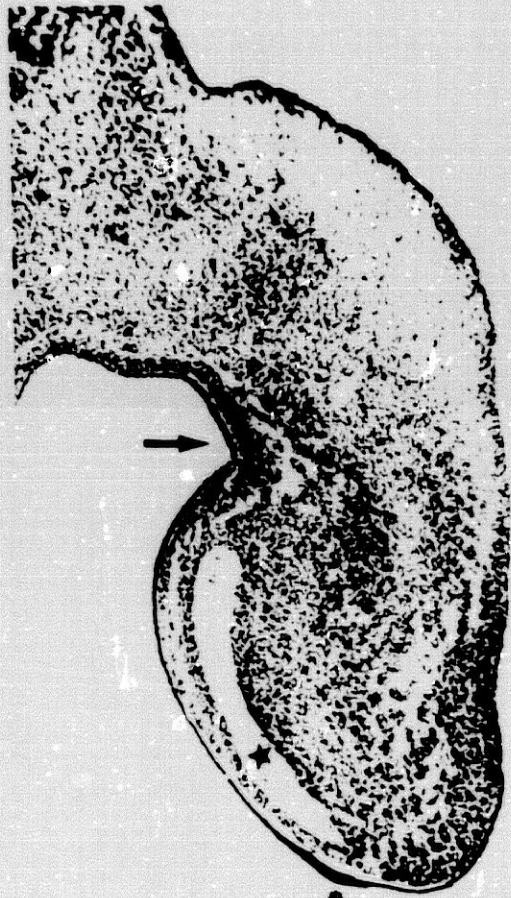
- Embrión humano: J.D.-5.
- Corte: 59.1.4.
-  :Constricción que marca el esbozo de la futura articulación de la rodilla.
- ● :Cresta ectodérmica apical.
- ★ :Vena marginal.
- L :Plexo lumbo-sacro.



1.1



1.2



1.3

Fig. 1-3




- Embrión humano: J.D.-5.
- Corte: 63.2.4.
-  :Constricción que marca el esbozo de la futura articulación de la rodilla.
-  :Cresta ectodérmica apical.
-  :Vena marginal

Fig. 2-1





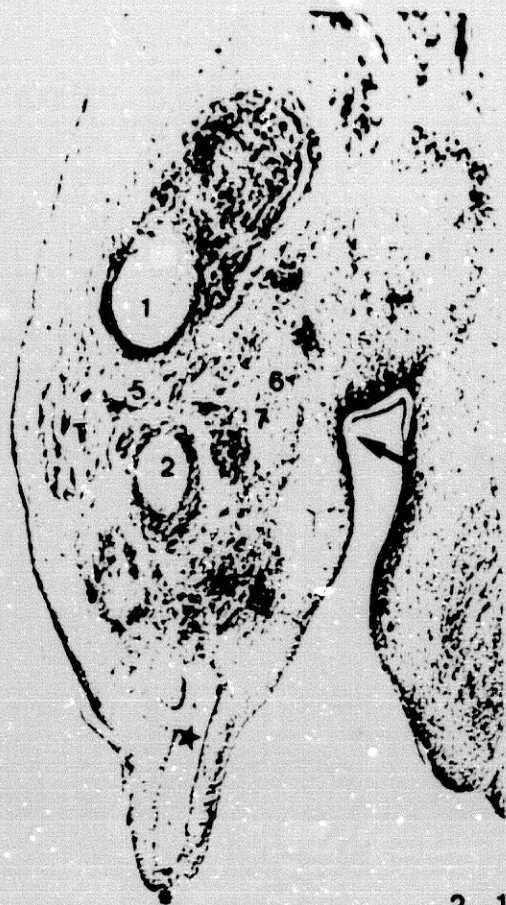
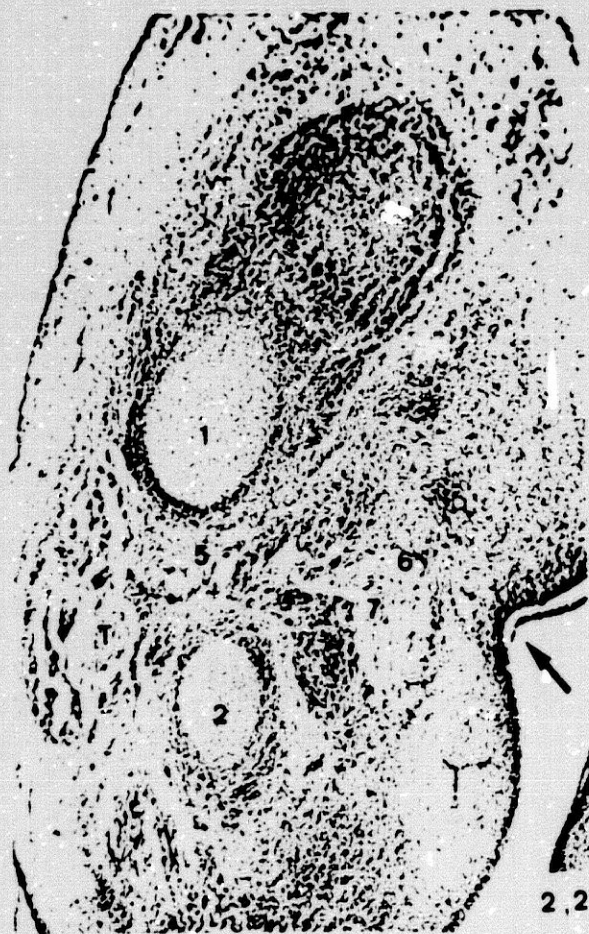
- Embrión humano: X-12.
- Corte: 11.2.6.
-  :Constricción que marca el esbozo de la articulación de la rodilla.
-  :Cresta ectodérmica apical.
-  :Vena marginal.
- 1 :Fémur en fase precartilaginosa.
- 2 :Tibia en fase precartilaginosa.
- 5 :Pieza articular intermedia fémoro-tibial.
- 6 :Nervio ciático mayor.
- 7 :Nervio ciático poplíteo interno.
- T :Nervio tibial anterior.

Fig. 2-2

- Embrión humano: X-12.
- Corte: 10.2.3.
-  :Constricción que marca el esbozo de la futura articulación de la rodilla.
- 1 :Fémur en fase precartilaginosa.
- 2 :Tibia en fase precartilaginosa.
- 5 :Pieza articular intermedia fémoro-tibial.
- 6 :Nervio ciático mayor.
- 7 :Nervio ciático poplíteo interno.
- T :Nervio tibial anterior.



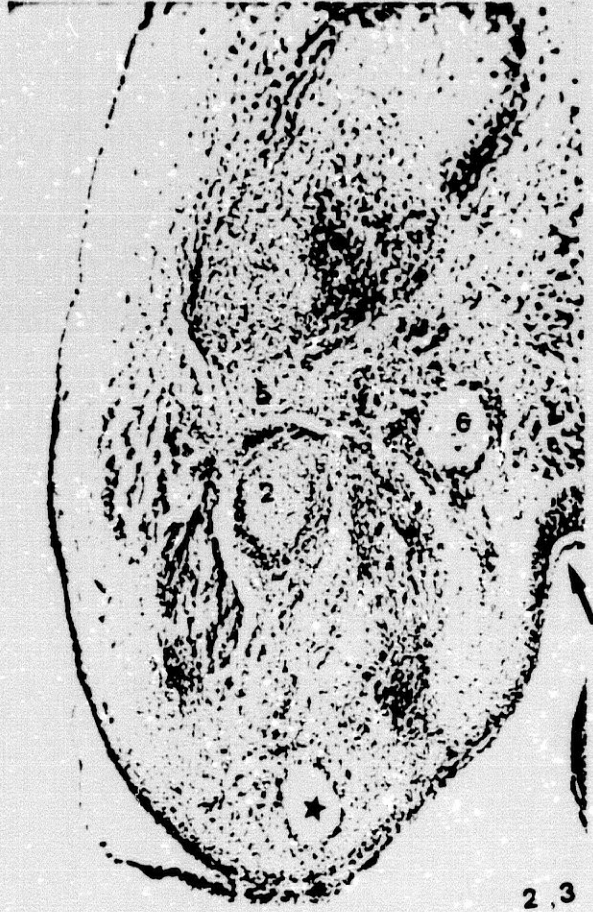
2.1



2.2



♀



2.3

Fig. 2-3




- Embrión humano: X-12.
- Corte: 10.2.3.
-  :Constricción que marca el esbozo de la futura articulación de la rodilla.
-  :Cresta ectodérmica apical.
-  :Vena marginal.
- 1 :Fémur en fase precartilaginosa.
- 2 :Epífisis proximal de la tibia en fase precartilaginosa.
- 5 :Pieza articular intermedia fémoro-tibial.

Fig. 3-1



- Embrión humano: G.G.-1.
- Corte: 74.3.3.
-  :Constricción que marca el esbozo de la futura articulación de la rodilla.
-  :Vena marginal.
- 1 :Molde precartilaginoso de epífisis distal del fémur.
- 2 :Molde precartilaginoso de epífisis proximal de tibia.
- 5 :Pieza articular intermedia fémoro-tibial.

Fig. 3-2



- Embrión humano: G.G.-1.
- Corte: 74.3.3.
-  :Constricción que marca el esbozo de la rodilla.
-  :Vena marginal.
- 1 :Molde precartilaginoso de epífisis distal del fémur.
- 2 :Molde precartilaginoso de epífisis proximal de tibia.
- 5 :Pieza articular intermedia fémoro-tibial.





Fig. 3-3

- Embrión humano: G.G.-1.
- Corte: 75.1.3.
- 1 : Molde precartilaginoso de epífisis distal del fémur, en aumento.
- 2 : Molde precartilaginoso de epífisis proximal de tibia, en aumento.
- 5 : Pieza intermedia fémoro-tibial.

Fig. 3-4



- Embrión humano: G.G.-1.
- Corte: 75.1 3.
-  : Contricción que marca el esbozo de la rodilla.
-  : Vena marginal.
- 1 : Molde precartilaginoso femoral.
- 2 : Molde precartilaginoso tibial.
- 5 : Pieza articular intermedia fémoro-tibial.



Fig. 3-5

- Embrión humano: G.G.-1.
- Corte: 75.3.1.
- 1 : Detalle del molde precartilaginoso de la epífisis distal femoral.
- 2 : Detalle del molde precartilaginoso de la epífisis proximal tibial.
- 5 : Detalle de la pieza articular intermedia fémoro-tibial.





Fig. 3-6

- Embrión humano: G.G.-1.
- Corte: 75.3.1.
-  : Futura localización de la rodilla.
-  : Vena marginal.
- 1 : Molde precartilaginoso de epífisis distal del fémur.
- 2 : Molde precartilaginoso de epífisis proximal de tibia.
- 5 : Pieza articular intermedia fémoro-tibial.



3.6

Fig. 3-7

- Embrión humano: G.G-1.
- Corte: 76.3.1.
- 1 :Detalle, a mayor aumento, de la epífisis distal del fémur.
- 2 :Detalle de la epífisis proximal de la tibia.
- 5 :Pieza articular intermedia fémoro-tibial.

Fig. 3-8

- Embrión humano: G.G.-1.
- Corte: 76.3.1.
- 1 :Epífisis distal femoral.
- 2 :Epífisis proximal tibial.
- 6 :Nervio ciático mayor.
- M :Nervio femoral.
- U :Nervio obturador.



3.7



3.8



3.9