Departamento de Ciencias Morfológicas Facultad de Medicina

Universidad de Granada

T E S I S D O C T O R A L

"CONTRIBUCION AL ESTUDIO DE LA MORFOGENESIS DE LA ARTICULACION DEL HOMBRO".

Por

JOAQUIN SANCHEZ-MONTESINOS GARCIA

DIRECTORES

Dr. Juan de Dios García García y Dr. Indalecio Sánchez-Montesinos García, Catedrático y Profesor Titular de Universidad, respectivamente, del Area de Ciencias Morfológicas (Anatomía Humana), de la Facultad de Medicina de la Universidad de Granada.

UNIVERSIDAD DE GRANADA

ACTA DEL GRADO DE DOCTOR EN MEDICINA

Curso de 1988 **a** 19 89 **Folio** 44 **Número** 88

Reunido en el día de la fecha el Tribunal nombrado para el Grado de Doctor de D. Joaquín Sánchez-Montesinos García, el aspirante leyó un discurso sobre el siguiente tema, que libremente había elegido: "Contribución al estudio de la Morfogénesis de la articulación del tarsiano".

Terminada la lectura y contestadas la objecciones formuladas por los Jueces del Tribunal, este le calificó de Apto "Cum laude"

Granada 18 de Febrero de 19 89

EL PRESIDENTE,

Fdo.: Luis Alvarez Guisado

El Secretario del Tribunal,

Fdo.: JOAQUIN ESPIN FERRIZ

EL VOCAL,

Fdo.: Antonio Campos Muñoz

EL VOCAL,

Fdo.: [illegible]

EL VOCAL,

Fdo.: José Ma Rodríguez Báez

FIRMA DEL GRADUANDO,

UNIVERSIDAD DE GRANADA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS MORFOLOGICAS

Teléf. 20 04 62
18012 - GRANADA

D. JUAN DE DIOS GARCIA GARCIA (A01EC1442), Catedrático de Universidad y D. INDALECIO SANCHEZ-MONTESINOS GARCIA (A44EC2414341524), Profesor Titular de Universidad; ambos en activo 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 realizados para la ejecución de la presente Tesis Doctoral por **D. JOAQUIN SANCHEZ-MONTESINOS GARCIA**, bajo el título: **"CONTRIBUCION AL ESTUDIO DE LA MORFOGENESIS DE LA ARTICULACION DEL HOMBRO"**, han sido efectuados 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 siete de Diciembre de mil novecientos ochenta y ocho.

DIRECTORES DE LA TESIS

Fdo. Juan de Dios García García

Fdo. I. Sánchez-Montesinos Gª.

A mis padres.

AGRADECIMIENTOS

Quiero en primer lugar expresar mi más profundo agradecimiento al Prof. Juan de Dios García García, quien ha derrochado conmigo sus extraordinarias cualidades científicas y humanas y me ha vuelto a mostrar el arte de enseñar, logrando con sus consejos, estímulo continuo y sincero cariño que pudiera realizar esta obra de investigación.

Asimismo, al Prof. Indalecio Sánchez-Montesinos García, ante todo compañero y amigo, quien con su valía universitaria y profesional me ha orientado y me ha mostrado que la consecución de cualquier meta es posible si se pone máxima dedicación, sinceridad y cariño con y por uno mismo.

A los Profs. Juan Antonio Mérida Velasco y Joaquín de la Cruz Espín Ferra por su ayuda incondicional y constante estímulo y pruebas de amistad en todo momento.

Al Director del Departamento de Ciencias Morfológicas de la Universidad Complutense de Madrid, Prof. Juan Jiménez Collado, y al Director del Departamento de Ciencias Morfológicas e Instituto "F. Oloriz" de la Universidad de Granada, Prof. Miguel Guirao Pérez, por su valiosa colaboración al aportar el material embriológico y fetal utilizado en el presente trabajo.

A todo el personal del Departamento de Ciencias Morfológicas de la Universidad de Granada, especialmente a la Srta. Marieta por su total disposición, amabilidad y animosidad en todo momento y por su bien hacer en la labor mecanográfica, así como a la Srta. Censi por su eficaz trabajo en el material fotográfico.

INDICE

Pág.

INTRODUCCION Y PLANTEAMIENTO DEL TEMA 1

JUSTIFICACION 100

MATERIAL Y METODOS 105

MATERIAL 108

METODOS 112

OBSERVACIONES Y COMENTARIOS 115

PERIODO EMBRIONARIO 117

PERIODO FETAL 205

RESULTADOS 264

PERIODO EMBRIONARIO 266

PERIODO FETAL 288

DISCUSION 303

CONCLUSIONES 337

BIBLIOGRAFIA 343

I.-INTRODUCCION

Y

PLANTEAMIENTO DEL TEMA

A lo largo de los años se han ido sucediendo tratados y publicaciones de Embriología y de Anatomía que han intentado definir el origen y el desarrollo de los miembros en general, de sus elementos esqueléticos y de cada una de sus articulaciones. Ya los embriólogos clásicos protagonizaron las primeras incursiones en el tema, pero lógicamente de un modo incipiente e incluso, en algunas ocasiones, tan superficial como intuitivo. El verdadero desarrollo del estudio de la morfogénesis de los miembros tiene lugar en los últimos tiempos, como consecuencia de la utilización de la embriología causal y experimental, gracias a la cual se ha profundizado en el conocimiento de los diferentes aspectos y elementos de los miembros y de sus articulaciones.

A pesar de ello, son muchas las lagunas que se pueden apreciar tras una revisión bibliográfica completa, no sólo en los acontecimientos generales de los miembros, sino también de sus articulaciones. Estas últimas, por ejemplo, no han sido tratadas con la misma uniformidad ni intensidad. Y así, la articulación de la rodilla es quizás la que haya gozado de más dedicación por los distintos investigadores, echándose en falta tratamientos similares en otras articulaciones que, tanto desde el punto de vista descriptivo o morfológico, y no digamos clínico, alcanzan una relevancia equivalente o incluso mayor a ella. Este es el caso de la articulación del hombro cuyo interés morfológico es innegable, pero aún lo es más cuando éste repercute sobre su prisma clínico; y baste para ello mencionar la frecuencia de algunos cuadros patológicos que afectan al hombro, como pueden ser la luxación del hombro en sus diferentes grados y modalidades, el hombro doloroso, etc., cuyas terapéuticas aún no están bien definidas ni logran el máximo de efectividad. Todo ello hace que el conocimiento de las características particulares del desarrollo y de la anatomía de esta articulación alcance altas cotas de interés, pues con toda seguridad, de ésto dependerá, o al menos, permitirá clarificar y ampliar en gran

medida el conocimiento de las diferentes patologías, así como de sus diagnósticos y tratamientos. Especialidades como Traumatología y la tan de moda, hoy en día, Medicina Deportiva, están demandando con insistencia un estudio amplio y conciso del desarrollo y de los diferentes aspectos anatómicos que presenta la articulación del hombro.

Haciéndonos eco de esta inquietud intentamos contribuir, en el marco de nuestras posibilidades, con el presente trabajo dedicado a la citada articulación del hombro.

Al examinar y contrastar la bibliografía existente hasta la fecha sobre este tema en concreto se hace evidente, y en cierto modo hasta sorprendente, la ausencia de datos o la ambigüedad o falta de unanimidad en las diferentes obras. Así por ejemplo, hay gran disparidad de criterios cuando se intenta establecer el origen y el desarrollo de los distintos elementos que participan en la organización del sistema articular del hombro. Tampoco existe, además, ningún estudio completo que establezca en especímenes humanos durante los periodos embrionario y fetal temprano el correspondiente horario morfogénico articular.

Estas dos plataformas temáticas ofrecen por sí solas un interés más que suficiente para provocar y animar a cualquier investigador a adentrarse en un estudio pormenorizado y exhaustivo, teniendo presente, en estos primeros momentos, que desde estos dos planteamientos o hallazgos básicos irán surgiendo nuevas inquietudes e interrogantes que harán la labor tan difícil como interesante.

Esta es la situación de partida que nos sugiere y permite adentrarnos en el estudio y análisis morfogénico de la citada articulación del hombro en especímenes humanos, y de este modo contribuir al conocimiento de su organización y desarrollo, tanto

en su aspecto general como en sus peculiaridades, a la vez que establecer su horario morfogénico, no sólo durante el periodo embrionario, sino también durante el periodo fetal temprano.

Tal y como se plantea el tema a priori, a partir de dos líneas amplias y fundamentales, anteriormente citadas, podría parecer fácil de abordar y presentar en este primer capítulo; pero sin embargo, estas dos se desglosan en numerosas parcelas y aspectos que conforman los distintos y complejos elementos que intervienen en la articulación del hombro, muchos de los cuales tienen entidad e importancia para constituir una línea a investigar por sí sola. Por ello, lo que en un principio puede parecer simple, dista mucho de serlo, y nos obliga, en aras a facilitar el seguimiento del trabajo, así como de la claridad y profundidad en la exposición y planteamiento del mismo, a dividirlo en diferentes secciones, tal y como seguirán a continuación.

1.- ASPECTOS GENERALES DE LA MORFOGENESIS DE LOS MIEMBROS Y DE SUS ARTICULACIONES

El conocimiento del origen, de las causas y del proceso de formación de los miembros y de sus articulaciones ha constituído un objetivo de vanguardia en este tema de investigación en diversas especies a lo largo de toda la literatura publicada.

En general, y en un sentido retrospectivo y breve, se suele explicar el establecimiento de los miembros y de sus articulaciones, y en este caso en particular del superior y en concreto de la articulación del hombro, a partir de la evolución de las aletas de los peces. Y así autores como **LEWIS (1901)** o **CAUNA (1963)**, en especial este último, designa a la cresta ectodérmica apical, por su similitud histológica con las placodas de los sentidos, como la "placoda de la extremidad". Se pensaba

que eran las placodas de los órganos tactiles. Las extremidades superiores de los vertebrados podrían ser consideradas, de este modo, como órganos del tacto montados sobre un tentáculo originalmente exploratorio de la pared corporal modificado y provisto de un esqueleto y musculatura. Ya desde antiguo existía la teoría del origen metamérico de las extremidades pares, teoría ésta no reñida con la defendida por **BRACHET (1935)**, según la cual "las extremidades no serían más que los extremos craneal y caudal de una gran aleta primitiva, pliegue mesenquimatoso de la pared lateral del cuerpo, de la cual la central estaría atrofiada". Semejante repliegue había sido ya descrito por **BAER (1837)** en los embriones de pollo, llamándole "cresta de Wolff". En la opinión de otros investigadores, como **MADERSON (1967)**, todo sugiere que las funciones locomotoras de estos apéndices, en la propia evolución de las especies, puedan ser consideradas como primarias hasta que sufren esta última especialización tactil. Estas funciones más específicas necesitan de un tentáculo con una gran movilidad ya desde su propia emergencia, precisamente en la articulación del hombro.

Sin embargo, estas cuestiones son mucho más profundas y complejas, y fruto de ello son los numerosos y amplios trabajos que se han y se siguen publicando en la actualidad; señal inequívoca de estar sometidas a debate, o por decirlo de otro modo, de no estar del todo bien definidas algunas interrogantes en relación al origen y desarrollo, material utilizado y factores que intervienen en la formación de los diferentes componentes de los miembros, y por ende, de sus articulaciones, especialmente referida a la del hombro.

Así pues, y sucesivamente, presentaremos los hallazgos más relevantes relacionados con estos conceptos según han ido quedando plasmados en las diferentes obras del espectro bibliográfico.

a) MORFOGENESIS Y DESARROLLO GENERAL

En este primer apartado sólo presentaremos aquellos datos ofrecidos de un modo global en la formación del miembro y en concreto de la articulación del hombro, pues a lo largo de este capítulo se analizarán, de modo específico, cada uno de los componentes que formarán dicha articulación.

Se tendrá ocasión de comprobar a lo largo de este apartado la falta de datos para poder establecer de un modo total y fiable un horario morfogénico. A pesar de ello comenzaremos diciendo que existe unanimidad en el sentir de los diferentes autores al considerar el momento de aparición de la yema correspondiente a los miembros superiores. Se podría decir, citando a algunos autores de los más representativos desde los primeros estudios hasta la actualidad, que su aparición acontece entre los 3-6 mm. Para **LEWIS (1901)** a los 4,5 mm. surgen por primera vez las evidencias de unas yemas a modo de un agrupamiento celular uniformemente dispuesto. En el mismo sentido se manifiestan **GARDNER (1963). O'RAHILLY y Cols. (1956)** y **O'RAHILLY y Cols. (1981)** fijan la fecha en el estadío 12 (3-5 mm.). En general se acepta la fecha de final de la 4ª semana de vida intrauterina (**TAURE, 1930; PUJIULA, 1943; CELESTINO, 1945; HOLLINSHEAD, 1958; PATTEN, 1958; NARBAITZ, 1975; MOORE, 1985; SADLER, 1986).**

A continuación expondremos una revisión panorámica de las posiciones de los diferentes investigadores, mencionando aquellas reseñas o datos que a nuestro juicio merezcan realmente ser citadas.

BAER (1837), en su estudio en el pollo, expuso que: "en general, cada elemento del esqueleto apendicular quedaba establecido originalmente como un cartílago separado, y que el

tejido no condrificado entre los elementos formaba las articulaciones".

LEWIS (1901) ofrece una revisión aproximada de diferentes estadíos: "A los 3,5 mm. no hay señales de las yemas de las extremidades. A los 4,5 mm. aparece por primera vez la evidencia de unas yemas a modo de un agrupamiento celular uniformemente dispuesto. A los 5 mm. la yema ha aumentado considerablemente de tamaño. A los 9 mm. el esqueleto se compone de mesénquima condensado rodeado de un tejido fuertemente teñido. A los 10,5 mm. ha aparecido cartílago en las formaciones esqueléticas. También existen zonas de precartílago. Ambos, precartílago y cartílago, están rodeados, por regla general, por un claro pericondrio que se tiñe con más intensidad. A los 11 mm. los elementos esqueléticos aparecen como centros de condrificación en el interior del blastema, uno por cada elemento. Aparecen al mismo tiempo que las condensaciones mesenquimales para las principales masas musculares, aunque a veces éstas son anteriores. A los 20 mm. las formas son como las del adulto. En los estadíos 16 y 17 (7-15 mm.) se identifican los nervios mediano, radial y cubital".

BARDEEN (1905) define con claridad dos conceptos fundamentales en los comienzos del desarrollo y que son utilizados con mucha frecuencia sin la menor aclaración o precisión. En primer lugar, designa como condensaciones "a unas determinadas masas de mesénquima que presentan un mayor número de células, de fibras o de ambas". En segundo lugar, designa como blastema, en particular en las extremidades, "a una masa de tejido mesenquimal a partir del cual se van a diferenciar los órganos antes de que comience la diferenciación e incluso las estructuras que son las primeras en diferenciarse en la extremidad".

SIMON (1923) habla ya a los 18 mm. de la presencia de la zona condrógena.

TAURE (1930) expone respecto a las estructuras del miembro que "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 condrificación del mesodermo del miembro superior tiene lugar algo más temprano que en el miembro inferior, aproximadamente una semana".

Los experimentos in vitro de **GLUCKSMANN (1939)** demuestran que "el mesénquima no diferenciado sometido a la presión entre dos cartílagos en desarrollo sufre una condrificación por sí mismo. La condrificación progresiva del disco articular que ocurre en el desarrollo normal se debe, por lo tanto, al hecho de que el disco mesenquimal está siendo sometido a una presión. El que se observen muchas figuras mitóticas en las células de los cartílagos en los alrededores del disco, durante este periodo del desarrollo, probablemente indique que la disminución progresiva del grosor del disco se deba en parte a la conversión de las células mesenquimales en condroblastos, y en parte a la invasión del disco por condroblastos que están experimentando una multiplicación activa desde los extremos de los cartílagos. Para postular la existencia de una presión sobre el disco se debe suponer que los cartílagos crecen mucho más que los tejidos que lo rodean; y es posible, ya que los cartílagos nacen no sólo por multiplicación celular, sino también por la suma de cantidades relativamente grandes de sustancia intercelular. Si existe presión sobre los discos articulares en los estadíos tempranos del desarrollo, ayudaría a la formación de la cavidad articular circunferencial".

WHILLIS (1940) basándose en los experimentos in vitro en aves de **FELL** y **CANTI (1934)**, que demostraron que se produce una disminución progresiva del grosor del disco mesenquimal entre los cartílagos en desarrollo, una laxitud del mesénquima en la parte circunferencial del disco y por último la unión de dos elementos del esqueleto por cartílagos primitivos piensa que "ésto viene a decir en definitiva que el mesénquima del disco articular experimenta, en efecto, la condrificación y deshace la teoría de que la articulación se forma debido a la interposición de un tejido no condrificante entre los dos huesos".

El desarrollo de las extremidades, para **PUJIULA (1943)**, tiene una dirección centrífuga, es decir, del tronco hacia fuera; y además, se adelantan las extremidades superiores a las inferiores. Afirma que "en el desarrollo del esqueleto de las extremidades se pueden considerar tres estadíos, como en las demás partes: estadío 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".

CELESTINO (1945) manifiesta que "los esbozos de los miembros están constituídos por mesénquima cubierto de epiblasto que se espesa en su extremidad en una especie de botón terminal. Este mesénquima deriva de la somatopleura. La diferenciación de los diversos segmentos de cada miembro comienza en el curso del segundo mes. Se forma primero, muy cerca de la punta del esbozo, un surco que separa la extremidad manual del resto del miembro. Luego éste se dobla formando un ángulo cuyo vértice es el codo. La diferenciación histológica del miembro superior se hace más precozmente que la del inferior. Se ve al fin del primer mes,

diferenciarse en el seno del mesénquima los esbozos de los miembros, una masa condensada que se llama escleroblastema. Las futuras piezas óseas se delimitan en el seno de éste. Los diferentes esbozos de los segmentos de los miembros no se separan enteramente en el curso de este primer periodo, sino que lo hacen después del comienzo de la transformación cartilaginosa (2º mes). Se ven individualizarse las diferentes piezas esqueléticas de los miembros en este mismo periodo".

STREETER (1945) recoge en el estadío 14 (5-7 mm.), en algunos ejemplares, el inicio de un vaso sanguíneo marginal.

HAINES (1947) también aporta una aproximación de un mapa cronológico de sucesos, tal como sigue: "A los 7 mm. el blastema esquelético aparece en el brote del miembro superior como una condensación difusa del mesénquima. A los 9 mm. está completa incluyendo la mano. El miembro inferior es algo más tardío. A los 10 mm., justo antes de que se comience a reconocer las primeras señales de la condrificación, el blastema esquelético está más diferenciado, pero en algunos lugares se sigue continuando con las masas premusculares. A los 10,5 mm. se reconoce el precartílago y las masas musculares se han hecho muy densas. A los 11 mm., cada elemento cartilaginoso está rodeado completamente por tejido blastemático y se expande por crecimiento aposicional. De este modo, el blastema no condrificado permanece entre los cartílagos haciéndose gradualmente delgado para formar una serie de láminas, las interzonas, siendo éstas las primeras indicaciones morfológicas de las articulaciones. A los 12 mm., los cartílagos del hombro se están pareciendo a su forma característica; y las interzonas, aún relativamente gruesas, están bastante diferenciadas formadas por una masa de tejido blastemal indiferenciado entre los cartílagos. A los 13 mm., la condrificación está más avanzada. Los elementos esqueléticos adquieren algunas de sus peculiaridades, como por

ejemplo los trocánteres. Los músculos pueden ser reconocidos individualmente. La interzona está formada por una lámina de tejido diferente condensado que se continúa con los cartílagos a cada lado. Periféricamente se continúa con el pericondrio de los elementos esqueléticos".

DAVIES (1950) opina que "los elementos esqueléticos toman primero la forma de condensaciones mesodermales (precartílago), convertida después en cartílago y finalmente en hueso. Los elementos esqueléticos condrificados se expanden y crecen por proliferación de sus células y aumento de la matriz entre ellos, el llamado "método intersticial de crecimiento", y por un nuevo depósito de cartílago en sus superficies. El mesodermo prolifera y se transforma de precartílago a cartílago. En este estadío la capa de cubierta de precartílago se caracteriza por la densidad de su núcleo y su avascularidad. El mesodermo situado más periféricamente es un retículo que más tarde se destina a ser la capa osteogénica del periostio. La capa fibrosa del periostio la limita externamente y, desde su comienzo, se continúa con los ligamentos capsulares".

Ya **BLECHSCHMIDT (1951)** presenta la conformación de los miembros, tema que analizaremos más detalladamente en los siguientes apartados. De todos modos, por hablar del origen y composición de los miembros, se puede citar aquí su comentario: "las yemas de las extremidades surgen de la pared corporal no segmentada y constan de mesodermo somatopléurico recubierto de ectodermo".

De entre los hallazgos de **GARDNER** y **GRAY (1953)** se pueden considerar en este apartado que "a los 22 mm. la forma general se asemeja a la del adulto. A los 198 mm. se observan fibras elásticas dispersas en el pericondrio y periostio de los elementos esqueléticos".

O'RAHILLY y **Cols. (1956)**, se manifiestan con parecida sistemática: "En el estadío 12 (2,5-5,8 mm.) la extremidad superior inicia su presencia en la forma de una hinchazón difusa enfrentada a las somitas 8ª a 10ª inclusive. La capa basal (stratum germinativum) del ectodermo presenta dos filas de núcleos. En el estadío 13 (3-6 mm.) el engrosamiento ectodérmico ocupa la superficie ventral y margen ventrolateral. Hay varias capas de núcleos en el engrosamiento, el cual se va difuminando a medida que se va confundiendo con el ectodermo adyacente más delgado. En el estadío 14 (4,9-8,2 mm.) las yemas de las extremidades superiores están más elongadas, de tal modo que se puede describir por primera vez un eje próximodistal. La porción lateral del engrosamiento ectodérmico forma una elevación o prominencia, que es la cresta ectodérmica. Subyacente a ella puede haber algunos vasos o un solo vaso marginal (vena marginal). En el estadío 15 (6-11 mm.) aparecen las condensaciones mesenquimales para el esqueleto de la yema superior. Esta se va subdividiendo en un segmento distal correspondiente a la mano y una región proximal que corresponde al brazo y al hombro. Se observa ahora un evidente vaso marginal. En el estadío 16 (7-12,2 mm.) están presentes las condensaciones blastemáticas".

PATTEN (1958) coincide una vez más en que los brotes de los miembros aparecen aproximadamente entre la 4ª y 5ª semana. "Una vez iniciado el desarrollo del esqueleto apendicular progresa muy rápidamente. A principio de la 6ª semana tenues condensaciones mesenquimáticas representan los esbozos que intervienen en la formación de los miembros y de sus cinturas escapular y pelviana. Hacia el final de la 6ª semana estas condensaciones precartilaginosas se han moldeado lo suficiente para sugerir algunos de los huesos principales. En la 8ª semana todos los segmentos principales de los miembros y de las cinturas están representados por miniaturas cartilaginosas bien formadas. En la

misma semana aparecen los centros de osificación primarios en los principales huesos largos del brazo, aunque hasta la 9ª semana no aparecen señas de osificación en las partes restantes de la cintura escapular".

MILAIRE (1963) en su estudio en roedores, tipo ratón y topo, expone que "de un modo general la condrificación de las piezas esqueléticas progresa en el sentido próximo-distal, conforme a un gradiente que ha caracterizado la morfogénesis primordial de la yema. Esta regla es sin embargo alterada por algunas excepciones como las que conciernen al blastema de la cintura y a las de la parte proximal del carpo y tarso que se diferencian con cierto retraso por conexión con los elementos más distales. Las futuras articulaciones quedan ocupadas por un mesoblasto denso, de aspecto indiferente, pobre en RNA y desprovisto de mucopolisacáridos y de fosfatasas. Este material derivado de la matriz precartilaginosa primordial se distingue o diferencia muy pronto del mesoblasto condrogénico y no sufre ninguna de las modificaciones características de la condrificación. Estrechas hendiduras aparecen en el seno del mesoblasto articular del hombro anunciando la formación de una cavidad articular a este nivel. En ningún caso se observa en esta zona procesos degenerativos".

GARDNER (1963) manifiesta que todos los huesos comienzan en la forma de condensaciones mesenquimales durante el periodo embrionario. Define el término -condensación- como "un aumento del número de células o fibras, o ambos". Expone también que "a las 4 semanas y media aproximadamente se establece la circulación en las yemas de la extremidad y están siendo penetradas por los troncos nerviosos principales".

DULYAPIN (1965) muestra que "en los embriones de 14 mm. de longitud los elementos de la articulación están compuestos de

tejido mesenquimal. A los 22-30 mm. de longitud las células precartilaginosas conforman definitivamente los contornos y la sustancia intercelular aumenta en gran manera. El pericondrio se diferencia, las zonas intermedias y central están mal definidas y el tejido conectivo periférico no muestra evidencias de diferenciación. A los 70-100 mm. de longitud la diferenciación de las zonas individuales o aisladas del cartílago articular es más evidente".

GENIS (1970) también apunta que "la aparición de los esbozos de los miembros ocurre en la 4ª semana (2,5-5,8 mm.). Los primitivos muñones están constituídos por un engrosamiento localizado del mesénquima, procedente de la somatopleura y cubierto por un epitelio cuboideo. No obstante, muy tempranamente el ectodermo del borde libre del esbozo se diferencia engrosándose para formar la denominada cresta ectodérmica apical. Por otro lado, el proceso de condrificación está claramente manifiesto a los 8,6-14,5 mm.".

SOLERE y **HAEGEL (1970)** de un modo conciso expone que "en el 24º día aparece el primer esbozo del miembro superior. A los 34 días se distinguen los elementos constitutivos esenciales. En la 7ª semana el miembro adquiere su segmento distal, y poco después un surco redivide el segmento proximal y se aprecian así los tres segmentos definitivos. En la 8ª semana aparecen los primeros elementos de los aparatos articulares".

O'RAHILLY y GARDNER (1972) establecen que "durante el desarrollo de las extremidades, la proliferación celular y la condrificación y osificación ocurren en los componentes esqueléticos. Para finales del periodo embrionario propiamente dicho (estadío 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 las del adulto. Los diversos eventos aparecen y ocurren, generalmente, unos pocos días antes en las extremidades superiores que en las inferiores".

HAMILTON y **MOSSMAN (1975)** consideran que "las condensaciones mesenquimatosas de los huesos de las extremidades aparecen siguiendo una secuencia próximo-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 condrificación 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 unos 25 mm. (8ª semana de desarrollo)".

GASSER (1975) ofrece, igualmente, un reducido plano por estadíos: "En la 5ª semana los esbozos de los miembros aparecen como proyecciones obtusas en la superficie lateral, e incluyen mesodermo denso rodeado por un ectodermo formando así una especie de placoda. En la 6ª semana (8-14 mm.) los esbozos de los miembros presentan una constricción que separa o diferencia la mano. También se distinguen las ramas nerviosas correspondientes al músculo-cutáneo, mediano, cubital y radial. En la 7ª semana (14-20 mm.) se hacen evidentes brazo, antebrazo y mano; y los componentes del esqueleto se hacen distinguibles piezas de cartílago. En la 8ª semana (21-30 mm.) son apreciables las áreas del hombro, codo y muñeca".

MITROVIC (1978), en su estudio sobre embriones de rata, cree que "el primer paso en el desarrollo de la articulación es una agregación celular clásica que conduce a la formación del blastema esqueletogénico, ocurriendo en dos oleadas. La primera da lugar al blastema esqueletal axial a partir del cual surgen las estructuras intraarticulares tales como el cartílago

articular, los procesos glenoideos y los ligamentos intraarticulares que se diferencian posteriormente. La segunda, ocurre más tarde en el desarrollo del mesénquima vecino. Parece ser discontinuo tanto en el espacio como en el tiempo. Las estructuras tales como tendones, ligamentos para y periarticulares y las cápsulas articulares van a formarse a partir de este tipo de condensación celular en diferentes periodos del desarrollo. El tejido sinovial va a surgir de las células situadas entre la interzona y el blastema capsular".

PALACIOS y **RHODE (1980)** consideran que "los primordios óseos que van a participar en la articulación pasan por los estadíos sucesivos de la condensación mesenquimal continua, dentro del escleroblastema central del brote apendicular. Los estadíos histogénicos de los primordios óseos son: mesenquimal, en el 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 y hay fibras elásticas en menor cuantía. Los modelos cartilaginosos, finalmente formados, crecen por aposición subpericondral y división de las propias células del modelo cartilaginoso en formación, tanto en anchura como en longitud".

O'RAHILLY y **Cols. (1981)** consideran que "en el estadío 12 (3-5 mm.) sólo están las yemas de las extremidades frente a las somitas 8ª a 10ª. En el estadío 14 (5-7 mm.) se puede observar una cresta ectodérmica y una arcada vascular marginal. En el estadío 15 (7-9 mm.) el segmento proximal del miembro superior corresponde al hombro".

BALINSKY (1983) trata en conjunto el tema de la diferenciación de los miembros, diciendo que "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 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 precartílago, y luego, por una deposición ulterior de la materia o sustancia intercelular en cartílago. 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 precartílago, los elementos distintivos del esqueleto forman unidades separadas que pueden fusionarse más tarde. Se trata más bien de un caso de migración de células mesenquimales a partir de una capa epitelial que de una desintegración de un epitelio con producción de mesénquima. La diferenciación del esqueleto de la extremidad suele progresar en dirección próximo-distal, si bien son frecuentes algunas desviaciones respecto a este orden".

MOORE (1985), se suma a los que opinan que los primordios de las extremidades aparecen hacia el final de la 4ª semana. Considera que "cada primordio de las extremidades está constituido por una masa de mesénquima derivado del mesodermo somático y está cubierto por una capa de ectodermo. Durante la 6ª semana los anlages mesenquimatosos de los huesos experimentan condrificación para que se formen modelos cartilaginosos hialinos del futuro esqueleto apendicular".

WILLIAMS y **WARWICK (1985)** exponen que "el mesénquima esquelético aparece como una masa condensada continua que, inicialmente, no está claramente limitada del tejido miógeno circundante. En este núcleo de mesénquima se desarrollan centros de condrificación y osificación, 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 cartílago y hueso avanza de una manera ordenada y característica".

SADLER (1986), por su parte, asegura que "para la 6ª semana pueden identificarse por primera 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 esbozos 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 cemento".

b) FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA MORFOGENESIS Y EN EL DESARROLLO.

Otra cuestión frecuentemente estudiada y debatida se centra en el estudio del establecimiento de la articulación. Y así, se encuentran numerosas publicaciones que han intentado relacionar el desarrollo de la articulación con factores mecánicos, genéticos; en definitiva, factores extrínsecos o intrínsecos. Y por otro lado, si la activación del material ectodérmico o mesodérmico es un proceso inductivo o no, punto este último al que dedicaremos específicamente el siguiente apartado. Un grupo de autores, entre los que se encuentran: **HARRISON (1918)**, **HAMBURGER (1938)** y más recientemente **DRACHMAN** y **SOKOLOFF (1966)**, **HAMILTON** y **MOSSMAN (1975)**, entre otros, apoyan sin reservas la idea de la capacidad intrínseca de autodiferenciación que poseen los miembros en la edad embrionaria.

Otros, como **HOLDER (1978)**, hablan de que la osteogénesis es

un hecho programado genéticamente.

También se inclinan por la relación con la influencia nerviosa, tanto en un sentido favorable como desfavorable. A título demostrativo, entre los que afirman la repercusión nerviosa se pueden citar a **EASTLICK (1943)** y **SCHOWING** y **CELERS (1973).**

Divergen las teorías de **HARRISON (1904)** y **HAMBURGER (1929)** en ranas, que opinan que "la invasión neural del esbozo no influye en los procesos morfogenéticos iniciales del mismo, ya que cuando se impide la entrada de los nervios del miembro se desarrolla normalmente". No obstante, **HAMBURGER y WANGH (1940)** constatan la influencia del sistema nervioso en el trofismo del primordio apendicular. **AREY (1962)** afirma que "las influencias nerviosas, vascular o muscular, no tienen ningún efecto sobre la formación de las cavidades articulares". Para **BRADLEY (1970)** "la condrificación y la primera fase de osificación proceden normalmente en ausencia de inervación".

Otros autores analizan la posible actuación o factor vascular a la vista de la presencia en estadíos muy precoces de la vena o seno marginal. **CARTER (1954)** "observa variaciones en el tamaño y disposición del seno marginal en embriones de ratón con alteraciones genéticas". **TSCHUMI (1957)** piensa que "es la cresta apical la que determina el desarrollo y trayecto del seno marginal y éste, a su vez, provee al miembro del metabolitos necesarios para su crecimiento". **JIMENEZ (1982)** manifiesta que "el papel exacto que ejercen estos vasos sobre el desarrollo del miembro, es en parte desconocido, pudiendo pertenecer e integrarse en el contexto de factores de -epigénesis trófica- de **DALQ (1949)".**

Sin embargo, la mayoría de los autores se inclinan por

analizar los factores mecánicos en relación a si el movimiento influye o no en la formación de las diferentes estructuras de las extremidades. Un dato de partida, a tener en cuenta en este caso, es el que nos ofrecen **WINDLE** y **FITZGERALD (1937)** y **WINDLE (1944)**, ya que detectan los movimientos en las extremidades humanas aproximadamente a los 20-23 mm. C-R.

Los primeros fueron **HENKE** y **REYHER (1874)**, 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)**, **HAGEN-TORN (1882)**, **TORNIER (1894)**, **FALDINO (1921)**. Este último 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 su superficie". O bien **MURRAY** y **SELBY (1930)** que postulan que "en el desarrollo normal de las articulaciones diartrodiales la contracción muscular y el movimiento es esencial".

En el mismo sentido, pero ya más recientemente, podemos citar investigadores como **DRACHMAN** y **SOKOLOFF (1966)**, **MURRAY** y **DRACHMAN (1969)**, **BRADLEY (1970)**, **RUANO** y **Cols. (1978, 80, 85)**, **PERSSON (1983)** y **LLUSA** y **Cols. (1988)**.

Y así, **DRACHMAN** y **SOKOLOFF (1966)** proponen que "los factores que pueden en teoría ser responsables del fracaso en la terminación del desarrollo articular son la inmovilidad del miembro, crecimiento en un ambiente anormal y la falta de inervación. La primera de estas posibilidades es la que nos parece más razonable". Concluyen que "las contracciones musculares son esenciales durante el desarrollo embrionario para: 1.- Formación de la cavidad articular primaria. 2.- Inicio de la forma de las superficies articulares. 3.- Las contracciones

musculares no son necesarias para la morfogénesis articular previa al estadío de la formación de la cavidad".

MURRAY y **DRACHMAN (1969)** demostraron en el pollo la dependencia o participación de la actividad muscular y del movimiento en el desarrollo normal y en el mantenimiento de las articulaciones móviles.

BRADLEY (1970) realiza un análisis en embriones de pollo y opina que "la formación, o mejor, la diferenciación correcta de una articulación depende de la existencia de movimientos en esta articulación".

En este sentido, 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 de **RUANO** y **Cols. (1978)**, 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 la 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 estadíos 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".

Posteriormente **(1980 y 85), RUANO y Cols.** 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 en embriones de pollo, concluyendo 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,y 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.

Igualmente, **PERSSON (1983)**, "tras la paralización de embriones de pollo observa la ausencia de la cavidad articular en el tobillo. También implica a las estructuras paraarticulares, tales como la cápsula, ligamentos y meniscos. De aquí, por tanto, la importancia de las contracciones musculares y del movimiento para el desarrollo de las articulaciones sinoviales".

Por último, en un trabajo muy reciente de **LLUSA y Cols. (1988)** en embriones de pollo, se viene a refrendar los trabajos de **RUANO y Cols.(1978,80,85)**, comentados unas líneas atrás, comunicando que "la formación de las articulaciones acontece en el periodo donde los movimientos embrionarios son periódicos y

gradualmente más intensos y frecuentes". Asimismo cree que estos movimientos se producen de manera pasiva como ya suponía **WINDLE** y **ORR** en **1934.** "En los dos últimos días del desarrollo los movimientos van disminuyendo debido a que éstos comienzan a ser controlados por el sistema nervioso central", compartiendo esta idea con **DECKER (1967)** y **HAMBURGER (1968).**

La réplica surgió en la obra de **BERNAYS (1878),** quien en su clásico trabajo sobre la articulación de la rodiila en el hombre y en animales, tras sugerir que existen dos estadíos de desarrollo en la articulación de la rodilla, primero de formación del esbozo 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 factores hereditarios los que determinan, principalmente, la forma de la articulación"; aunque no negó, sin embargo, que durante el periodo 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 (1878),** fueron ratificadas por autores como **KAZZANDER (1894), BARDEEN (1905), HESSER (1926), LANGER (1929), FELL** y **CANTI (1934), MARTINO (1935), HAINES (1947), GRAY** y **GARDNER (1950), GARDNER (1963),** entre otros.

Así, **FELL** y **CANTI (1934)** demostraron in vitro en aves que "los rudimentos precondrales del esqueleto de los miembros, explantados por el método del cristal de reloj, sufrieron un crecimiento anatómicamente normal en ausencia de movimiento".

GARDNER (1963) precisa que "los huesos y las articulaciones son estructuras autodiferenciadoras, o sea, pueden alcanzar su forma y su disposición iniciales mediante factores intrínsecos en las células que van a formar parte de los huesos y las

articulaciones. Los factores externos, tales como la actividad muscular y las presiones de crecimiento carecen de importancia".

Por último, otro grupo de autores contemplan el tema desde un punto de vista más amplio y se colocan en una disposición menos tajante en el sentido de dar la importancia o el papel correspondiente a la influencia o no de los factores intrínsecos y extrínsecos, pero cada uno de ellos en un momento característico del desarrollo, o bien con ciertos condicionantes o en determinadas circunstancias.

Y así podemos citar los siguientes autores: **WHILLIS (1940),** expone que "el hecho de que la unión de los dos elementos del esqueleto por cartílagos primitivos persistan en el embrión humano hasta el 4º ó 5º mes y no después, puede hacer pensar en que el movimiento sea el factor determinante para la conclusión de la articulación. Sin embargo, las evidencias sobre ésto son escasas y poco convincentes. En primer lugar, los hechos podrían ser igualmente explicados suponiendo que el movimiento no ocurre porque la formación de la articulación no está terminada, así como que justamente es ese movimiento el que termina la formación. Sea así o no, hay que suponer la actuación de otros factores además del movimiento. Esta no es la única causa de la separación de los dos elementos, pero juega un papel importante". Observa, en concreto en el codo de ratas, que "la separación ocurre por licuefación progresiva de la matriz degenerada desde el margen hacia el interior". Confiesa que la razón de la licuefación es desconocida.

SISSONS (1956) opina que "en estadíos primitivos sólo tienen importancia los factores intrínsecos, y en estadíos posteriores éstos siguen siendo muy importantes, pero las contracciones musculares son esenciales para la formación de la cavidad articular".

HAMILTON y **MOSSMAN (1975)** dedican un amplio análisis a este tema. Dice que "en los esbozos de los miembros, las células de la condensación blastemai axial que se condrifican luego para formar los modelos cartilaginosos del esqueleto apendicular son determinadas para la condrificación muy temprana en el desarrollo. Por lo tanto, el esbozo del miembro precoz puede ser considerado como un mosáico de mesénquima que se autodiferencia, del cual algunas partes están destinadas a condrificarse. El modelo del mosáico es impuesto en el esbozo del miembro en un estadío precoz en su desarrollo, presumiblemente por fenómenos organizadores que están bajo control genético, y no resultado de factores mecánicos locales, tales como la presión o posición central".

"El desarrollo de la forma en la condensación blastematosa, que indica aproximadamente la forma del modelo cartilaginoso del hueso definitivo, se determina muy temprano en el desarrollo, y es el resultado de influencias intrínsecas y no extrínsecas (mecánicas) que actúan sobre el esqueleto en desarrollo".

"Los factores mecánicos como la presión o la contracción muscular pueden tener una influencia modificadora sobre los detalles de la forma del esqueleto, pero las características primarias de la forma y tamaño general de los huesos y la existencia y posición de articulaciones se debe a autodiferenciación. Los experimentos con cultivos de tejidos y el estudio del desarrollo óseo bajo condiciones en las que el movimiento embrionario de los huesos no puede ocurrir, demuestran que la forma grosera de los huesos se debe a la actividad de factores intrínsecos que, luego de cierto periodo de debilidad en el desarrollo temprano, son inherentes en el mesénquima en desarrollo".

"En los estadíos tempranos del periodo que sigue a la

determinación del hueso, solamente son de importancia los factores extrínsecos en las condiciones bajo las cuales los intrínsecos puedan actuar de manera adecuada para producir la forma del esqueleto. En los estadíos posteriores del desarrollo, la importancia de los factores extrínsecos parece aumentar algo y las contracciones de los músculos esqueléticos son esenciales para la formación de la cavidad articular primaria y para determinar la forma de las superficies articulares".

MITROVIC (1982), trabajando en embriones de pollo, llegó a las siguientes conclusiones: "los resultados de nuestros experimentos, consistentes en la producción de parálisis con decametonium, sugieren que los factores intrínsecos son importantes para la diferenciación en los estadíos primitivos de la hendiduración 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". De igual modo afirma que "la parálisis no inhibe completamente los estadíos tempranos de la hendidura 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 lc que ocurre en los embriones normales, ellas desaparecen rápidamente, induciendo fusiones a través de las articulaciones".

c) MATERIAL BASICO DE LA MORFOGENESIS Y DEL DESARROLLO.

Obviamente estos apartados amplían sin solución de continuidad a los que les preceden y viceversa, pero realmente éste es un aspecto peculiar, cuestionado y donde los autores divergen y aportan constantemente nuevos datos. Efectivamente, una de las primeras temáticas abordadas en el estudio de la génesis causal del miembro ha sido la de dilucidar los factores

responsables del crecimiento localizado de la somatopleura y, sobre todo, si dicha activación es una propiedad intrínseca o es el resultado de un proceso inductivo, tal y como hemos analizado en el apartado anterior. Pero además, es muy debatida la cuestión de la atribución de propiedades inductoras a los componentes mesodérmico y ectodérmico en el proceso de determinación y segregación de las distintas estructuras del miembro en desarrollo.

El panorama bibliográfico de opinión sobre este particular está como se presenta en las siguientes páginas. En líneas generales, los autores describen la presencia del ectodermo, pero el debate se centra fundamentalmente en la cresta ectodérmica y el papel que juegan ectodermo o mesodermo, o ambos, en una actuación conjunta.

Comenzaremos con aquellas primeras ideas, los primeros enfoques, donde se habla sobre todo del papel de los somitos, para luego apreciar la evolución de las investigaciones que pasan por describir y realzar el papel del ectodermo y posteriormente apreciar la función del mesodermo, la interacción del ectodermo-mesodermo; punto éste, donde generalmente se centra la discusión en las últimas obras.

Así por ejemplo, una teoría que debemos mencionar es la dada por **THORNTON (1956)** y **SAUNDERS** y **Cols. (1957)**, al estudiar el desarrollo en diversos animales, que muestran que la cresta ectodérmica y la placoda de los miembros juegan un importante papel en la regeneración e inducción de las extremidades. Este fenómeno puede ser comprendido en base a la citada teoría placodal del origen de las extremidades, considerando a éstas como un tentáculo, provisto de esqueleto y musculatura, con la misión de transportar un órgano o placoda tactil".

Por otro lado, y refiriéndose en concreto al papel de los somitos se pueden citar a modo ilustrativo los siguientes autores: Unos, que ciertamente están en contra de la participación somítica, como **SAUNDERS (1948)** que descarta la idea de una contribución de los somitos en la constitución del ala de pollo. **HOLLINSHEAD (1958)** dice que "el mesénquima que produce la protuberancia parece ser derivado de la proliferación de la pared lateral del cuerpo y no por migración de los somitos", o bien **ZWILLING (1961)** y **GRIM (1970)** estudiando embriones de pollo que mantienen que "los somitos no contribuyen a la formación de las yemas de las extremidades".

Otros sí consideran la participación somítica en alguna medida, como **MURILLO (1963)**, manifestando que "parece evidente la intervención de los somitos en la génesis primitiva de los miembros. No se puede asegurar que sea el mismo material somítico el que migre y forme las estructuras musculares y esqueléticas del miembro, pero sí que al menos los somitos situados a nivel de la zona donde normalmente han de brotar los miembros ejerzan un evidente papel en su génesis y desarrollo. Para la normal morfogénesis de los miembros de las aves (pollo o pato) es imprescindible la continuidad del esbozo prospectivo de los miembros con las estructuras de la zona medio-dorsal del embrión". Igualmente **PINOT (1970)** opina que "en el pollo el mesénquima somítico estimula el mesodermo de la extremidad". **KIENY** y **BURGBAL (1970)**, consideran al estudiar embriones de pollo que "en los estadíos donde el mesodermo presuntivo no posee aún poder morfogenético, sólo el mesodermo somítico regional tiene capacidad diferenciadora o cuando menos, inductora sobre el mesénquima somatopleural aún indiferenciado". A este respecto, **FERNANDEZ (1982)** cree que "el mesodermo somítico mantiene su poder morfogenético incluso una vez establecido el estadío en que el mesodermo somatopleural adquiere capacidad autodiferenciadora".

El principal planteamiento, tal como adelantábamos al comienzo de este apartado, se halla en las diferentes opiniones en torno a la actuación del ectodermo y mesodermo en la formación y desarrollo de las extremidades y de sus articulaciones, especialmente en este caso la del hombro.

KOLLIKER (1879) ilustró el engrosamiento del epiblasto en unas secciones de embriones de pollo siendo el responsable del término "gorro ectodérmico" (Ektoderkappe).

BALFOUR (1885) describe en las extremidades de los amniotos un engrosamiento del epiblasto en su borde distal.

LEWIS (1901) al tratar el desarrollo de la extremidad superior en el hombre observa un engrosamiento en el vértice de las extremidades en desarrollo de los mamíferos.

DETWILER (1933) y **CHAUBE (1959)** al analizar diversos aspectos en animales de experimentación opinan que "ciertas propiedades características de los miembros tales como sus relaciones de simetría se establecen precozmente en el seno del mesoblasto presuntivo".

Paralelamente, **FILATOW (1928)** y **STEINER (1928)** por simple disección en los anfibios separan el epiblasto del mesénquima subyacente e implantan separadamente estos dos constituyentes bajo la piel de los flancos. "Si bien los injertos mesenquimatosos no daban jamás nacimiento a una extremidad, los injertos epiblásticos, por contra, suscitaban en la mitad de los casos una yema de extremidad anterior típica pero no funcional". Para estos autores, "el epiblasto juega, en el curso de los primeros estadíos de la morfogénesis de la extremidad, el papel de organizador; el mesénquima adquiriría secundariamente y por inducción sus potencialidades. El papel que juega el epiblasto en

los anfibios es el de la cresta epiblástica en los mamíferos".

FISCHEL (1929) se refirió al epitelio superior situado en el extremo distal de la yema de la extremidad en muchos tipos de animales y le denominó "Epithelfalte", "Ektodermkappe" o "Randfalte", que viene a significar "pliegue epitelial", "gorro ectodérmico" o "pliegue marginal". El consideró que el término "Epithel Verdickung", que es "engrosamiento epitelial" es más apropiado en el embrión humano, y demostró este engrosamiento en ilustraciones de 2 embriones de 6 y 9 mm. Lo interpretó como "un centro de crecimiento para el incremento en tamaño del esbozo de la extremidad y también como un centro de organización que ejerce una influencia de formación en el tejido conectivo embrionario". Consideró que "el engrosamiento era responsable de la condensación axial del blastema y que el epitelio alto, encontrado en la superficie interna (presumiblemente ventral) del esbozo del epitelio de los miembros, juega un papel similar".

STEINER (1928), en un estudio del desarrollo de la piel en el hombre, ilustró un gorro ectodérmico en la extremidad superior de un embrión humano de 9 mm. Afirmó que "constaba de un grosor de varias capas, localizadas principalmente en las superficies caudal y medial del esbozo de la extremidad, y probablemente con una influencia formativa sobre el mesodermo".

Los trabajos de **BALINSKY (1931)** sobre el Axolote, después de haber descubierto la inducción de una extremidad por el injerto de una vesícula auditiva en los músculos de la espalda, reflejan que "el epiblasto de una yema de extremidad adquiere, después de algún tiempo, la facultad de ocasionar por sí solo la formación de una extremidad". Observa que el epiblasto, subordinado al mesoblasto al inicio del desarrollo, llega a tener propiedades que progresivamente actúan sobre el mesénquima y consiguen la división del miembro en segmentos, la separación de los dedos,

etc. Este trabajo se suma a las experiencias de **HARRISON (1925, 1931)** en los reptiles y anfibios, y de **ROTMANN (1931)**, en el tritón, demostrando la acción inductiva del mesodermo sobre el ectodermo en el momento de la aparición de la cresta de la extremidad.

HAMBURGER (1939) manifiesta en su trabajo sobre embriones de pollo que "siempre que las conexiones vasculares satisfagan con su penetración el aseguramiento de todas sus necesidades tróficas y respiratorias la joven cresta de la extremidad puede desarrollarse independientemente de las neuritas que la colonizan secundariamente".

DAVIES (1946) propone que "todos los componentes de la articulación diartrodial se desarrollan a partir del mesodermo. Los elementos esqueléticos condrificantes, que ya están esbozados, inicialmente están separados del tejido mesenquimal en el cual aparecerá la cavidad".

BLECHSCHMIDT (1948, 1951) opinó que "la banda de ectodermo engrosado en la cabeza es continua con unas zonas o bandas localizadas en las extremidades superiores, y que estas últimas a su vez están en continuidad con las que se encontraban en las extremidades inferiores".

El trabajo de **SAUNDERS (1948)** claramente indica la importancia del ectodermo en el desarrollo de la extremidad de las aves, al igual que en otros embriones amniotes donde parece ocurrir ésto de forma constante. El autor llega a establecer los territorios presuntivos del esbozo y muestra que los materiales de los diversos sectores llegan a ser identificables como tales siguiendo un orden próximo-distal. "La capa apical tiene un papel inductor sobre las zonas mesenquimatosas a medida que aparecen. Al marcar embriones de pollo y larvas de anfibios se demuestra

que la parte más activa en crecer de los esbozos de un miembro es su extremo distal. Esta rápida proliferación del mesodermo apical resulta en la disposición continua de los segmentos prospectivos del miembro en orden próximo-distal. Una vez que se ha establecido, el segmento continúa creciendo, pero durante los estadíos más tempranos, a un ritmo algo menor que el del mesénquima más distal ("apical")".

STREETER (1948,49) llamó la atención sobre el ectodermo más grueso en la piel que se encuentra por encima de las zonas más condensadas del mesénquima de la cabeza, particularmente en las regiones mandibular e hioidea. Según este autor estos engrosamientos sugirieron una mayor actividad funcional. Afirmó que "el ectodermo grueso de la piel y la marcada proliferación del mesénquima con quien está en contacto son asimismo características de las yemas de los miembros e inudablemente son una expresión de alguna interacción entre los dos tejidos".

ZWILLING (1949) demuestra que la cresta ectodérmica está ausente en pollos con "síndrome sin ala". Confirma, pues, el papel inductor de la capa apical. Asimismo comprueba la sucesión próximo-distal en la aparición del mesénquima destinado a formar los diferentes segmentos de la extremidad.

NAUJOKS (1953) encontró que "tras la exposición de embriones de pollo a una deficiencia de oxígeno durante un periodo breve condujo a varios defectos ontogénicos: en algunos casos las extremidades mostraron un desarrollo del esqueleto deficiente y carecían de la cresta apical ectodérmica".

En **1954 CAIRNS** y **SAUNDERS** estudian los papeles respectivos del mesoblasto y del epiblasto en la diferenciación de la extremidad en el pollo, injertando independientemente estos dos constituyentes. Admiten el papel inductor del mesoblasto sobre el

epiblasto que lo reviste.

AMPRINO y **CAMOSSO (1955)** asignan un papel relevante al mesodermo, negando toda importancia morfogénica a la cresta apical, al estudiar su papel en las yemas de miembros en embriones de pollo.

En sentido opuesto, **ZWILLING** insiste en su idea ofrecida en **1949** en su estudio en embriones de pollo sobre el papel inductor de la cresta apical, mostrando en **1955** que "el mesodermo separado del ectodermo por el "vèrsene" e implantado bajo el ectodermo situado fuera del territorio del miembro es incapaz de provocar la diferenciación de éste".

Este mismo autor, **ZWILLING (1955)**, junto a **SAUNDERS** y **Cols. (1957)** sobre el mismo animal de experimentación precisaron que "la inducción ejercida por la capa apical es una influencia no específica e incapaz de modificar la naturaleza del mesoblasto inducido. Injertada o transplantada sobre el mesoblasto de una yema anterior, una capa apical originaria de un esbozo posterior induce la formación de un miembro anterior y visceversa.

La integridad funcional y morfológica de la capa apical depende en cada momento de una influencia ejercida por el mesoblasto, calificado por **ZWILLING (1956 b)** como "factor mesoblástico de mantenimiento", cuyo efecto predomina en la región postaxial de la yema". Ya sospechado por **ZWILLING (1956 a)** y conocido por él en el curso de experimentos de modificación de las relaciones normales del epiblasto y mesoblasto, la existencia de tal factor fue enseguida demostrada por diversos autores como: **SAUNDERS** y **Cols. (1958)**; **SAUNDERS** Y **Cols. (1959)** y **AMPRINO** y **CAMOSSO (1958, 59)**, que después de haber modificado las relaciones especiales de la extremidad distal de la yema y del muñón proximal, han visto desarrollarse un extremo distal

simétricamente duplicado. Estos dos grupos de autores interpretan de modo diferente los resultados obtenidos. Para **SAUNDERS** y **Cols. (1958,59)**, la porción preaxial de la capa apical adquiriría bajo la influencia del mesoblasto postaxial del muñón, el poder inductivo que caracteriza normalmente la mitad postaxial de esta estructura. Para **AMPRINO** y **CAMOSSO (1958,59)** que no creen en la participación morfogénica de la hoja superficial en el curso del desarrollo normal, la formación de una porción distal supernumeraria en dependencia del mesoblasto primitivo preaxial resultaría directamente de la influencia ejercida por el mesoblasto postaxial sin la intervención de la capa apical.

O'RAHILLY y **Cols. (1956)** hablan de que "la interacción epitelio-mesenquimal es un factor importante, controvertido y complejo en la morfogénesis de las extremidades de los vertebrados. Casi en el momento en que se puede distinguir por primera vez la yema de la extremidad en el hombre se observa un engrosamiento ectodérmico en el aspecto ventral de ésta. A los pocos días el engrosamiento da lugar a una cresta ectodérmica apical. La aparición y desaparición del engrosamiento y de la cresta ectodérmica en la extremidad inferior se retrasa con respecto a los mismos sucesos en la superior a razón de aproximadamente un horizonte, ésto es, alrededor de dos días".

MILAIRE (1957) manifiesta que "el acúmulo mesenquimatoso inicial originario de la hoja media induce a nivel del epiblasto la formación de una capa apical. Esta última controla en cada momento el crecimiento y, después, el modelaje de la yema; proceso que explica con precisión el método citoquímico. Al mismo tiempo, se realiza la irrigación del esbozo, la penetración de las fibras nerviosas, entre otras".

BELL y **Cols. (1959)** describen la formación completa de las extremidades a partir de yemas que habían sido totalmente

privadas del epiblasto y sometidas a ultrasonidos e implantadas en la cavidad peritoneal en embriones de pollo. Casos de regulación parcial han sido descritos por **BELL y Cols. (1959)** después de denudar las yemas de extremidades de pollo con vèrsene. Tras haber estudiado paralelamente los efectos de la exéresis del epiblasto por uno y otro de estos métodos, **BELL y Cols. (1962)** han establecido que "toda regulación consecutiva a la exéresis después de haber tratado con vèrsene es debida a la reconstrucción de una capa apical dependiente de los fragmentos celulares que quedan adheridos al mesoblasto. Estos fragmentos pertenecen al estrato celular basal de la hoja superficial. Por contra, cuando la denudación ha sido realizada por ultrasonidos, la regulac_ón puede sobrevenir en un mismo porcentaje de casos, lo mismo que en la ausencia de toda célula epiblástica residual".

Ciertos resultados obtenidos por **HAMPE (1960)** en embriones de pollo sugieren que "el mesoblasto que se diferencia en el ápex se elabora en la raíz de la yema y migra después distalmente de un modo que el autor no ha podido precisar".

KIENY (1959, 60, 68 y 71) opina que es evidente, tras las investigaciones realizadas en embriones de pollo, "el papel activo del ectodermo en el crecimiento y en la diferenciación de las articulaciones de las extremidades. Por otra parte, el mesodermo parece jugar un papel no menos importante pues es él quien determina la cualidad (ala o pata) de esta diferenciación". Expone también que "antes de proliferar en una yema, el mesoblasto presuntivo es ya capaz de formar un miembro cuando es transplantado bajo el ectoblasto en posición heterotópica". En definitiva, concluye: "-Que el mesodermo del esbozo de la extremidad es el inductor primario de la extremidad. -Que el ectodermo situado fuera del territorio del miembro puede contribuir a la edificación de una extremidad porque él ha sido sometido a la acción inductiva primaria del mesodermo de la

extremidad.- Que el ectodermo reacciona formando una calota apical que a su alrededor ejerce una acción inductiva sobre el mesodermo subyacente".

MILAIRE (1963) presenta un profundo, extenso y muy interesante estudio al respecto, del que citamos lo siguiente: "La morfogénesis primordial de las extremidades comporta en los mamíferos una serie de interacciones ejercidas sobre el mesoblasto y su revestimiento epiblástico. Aunque la capa apical es la única estructura donde el papel morfogénico ha sido demostrado por la experimentación, la totalidad de la hoja superficial parece implicada en otras especies, como el ratón y el topo. La capa apical de los mamíferos asegura, en el sentido próximo-distal, el crecimiento y la regionalización del mesoblasto condrógeno. En todos los vertebrados tetrapodos, cada una de las extremidades se edifica en las dependencias de un blastema mesoblástico de origen parietopleural así como de epiblasto que lo reviste. La primera manifestación perceptible de la morfogénesis es la actividad proliferativa del mesoblasto presuntivo parieto-pleural. Los procesos que ponen en funcionamiento estos hechos son todavía desconocidos. Durante esta fase de elaboración y crecimiento, influencias recíprocas se establecen gradualmente entre el mesoblasto y el epiblasto marginal de la joven yema. Respondiendo primero a la influencia primaria del mesoblasto, esta región del epiblasto se engruesa y adquiere la conformación de la capa apical. Igual que opinaba **KIENY (1960)** esta inducción puede, en los estadíos jóvenes, actuar sobre los territorios epiblásticos que no están normalmente destinados a las extremidades. Con la excepción del territorio de la cintura en la cual la determinación no parece necesitar la intervención del epiblasto, el resto del material del miembro evoluciona poco a poco en contacto y bajo la influencia de la capa apical; en cada caso, los ejes de polarización del futuro esqueleto están allí precozmente

establecidos. De todos modos, el destino de los diversos territorios no están inmediatamente fijados. Dos grupos de actividades toman sucesivamente parte en el desarrollo de las extremidades que se manifestan en sentido próximo-distal. Se tratan desde el principio de una serie de interacciones morfogenéticas entre el mesoblasto y ciertos territorios epiblásticos engrosados y portadores, de forma transitoria, de caracteres citoquímicos particulares que terminan en la individualización de la matriz primitiva del esqueleto, y de un material superficial destinado a formar el pericondrio, los músculos, los tendones y otras partes blandas. En esta fase de morfogénesis primordial sucede en cada territorio segmentario una fase de citodiferenciación que se acompaña de importantes modificaciones progresivas en cada sistema de órganos, y de algunas diferencias de una especie a otra".

Y continúa: "La entrada en proliferación de una región dorsal de la parietopleura truncal produce el desencadenamiento de la morfogénesis de las extremidades. Esta actividad predomina en la mitad ventral de la hoja de origen, siendo el mesoblasto que se produce más abundante ventralmente. Inicialmente indiferenciado el revestimiento epiblástico reacciona todo él a los primeros contingentes mesoblásticos de origen parietopleural, siendo más intensa que la cantidad de neuroblasto subyacente y predominando en la cara ventral de la joven yema. Un sector limitado de epiblasto ventral así diferenciado no tarda en distinguirse por su quimismo más activo, lo cual denuncia la capa apical. Antes de adquirir su forma típica esta lengüeta de epiblasto asegura por una inducción en el entorno la regionalización del mesoblasto condrogénico destinado a la extremidad. Los territorios epiblásticos que estaban diferenciados a la vez que la capa apical aseguran, por su parte, la individualización del mesoblasto destinado a las partes blandas; su intervención es más fugaz y menos poderosa que la de

la capa apical misma. Este material se condensa en la periferia de la yema donde forma una mancha basófila subepiblástica de predominio ventral. Esta superioridad anuncia la mayor cantidad de musculatura de flexión sobre la de extensión. En el momento preciso que corresponde a la fase de condensación de los blastemas precartilaginosos subyacentes, la mayor parte de este material superficial alcanza un movimiento de migración que le lleva al contacto del esqueleto. Los contingentes celulares más profundos se incorporan a los precartílagos, los cuales formarán el pericondrio. Los contingentes más superficiales se laminan en diversos blastemas músculo-tendinosos. Las células más periféricas, las que no participan en la migración, se transforman en un mesoblasto laxo destinado a ser tejido conjuntivo".

GENIS (1970) opina que "el conocimiento de los mecanismos diferenciativos incriminados en la morfogénesis del miembro es aún altamente especulativo, a pesar de la gran información recogida experimentalmente". Presenta una hipótesis explicativa de los procesos que conducen a la formación de los miembros, como él mismo dice, -sujeta como es natural, a una futura revisión-: "1.- El mesodermo parietal (somatopleura) es activado por un factor. posiblemente de procedencia somítica. El mesodermo así diferenciado influiría sobre el epiblasto ocasionando la aparición de la "cresta ectodérmica apical". 2.- La cresta ectodérmica apical ejercería ahora un efecto inductor sobre el mesénquima subyacente, determinando la sucesiva segregación de todos los componentes según una secuencia próximo-distal. 3.- La persistencia estructural y funcional de la cresta apical depende de un segundo factor mesoblástico o "factor de mantenimiento" (**ZWILLING** y **HANSBOROUG, 1956**) que se propaga a los territorios mesodérmicos proximales".

FABER (1971) cree que "existe una interdependencia

morfogenética continua entre el ectodermo apical y el mesodermo, y que esta relación es importante en el establecimiento de la diferenciación regional, pero no necesariamente en la secuencia de la determinación de la extremidad".

JIMENEZ y **PUCHADES (1971)** en sus estudios en embriones de pájaros llegan a la conclusión de que la cresta apical juega un papel activo e imprescindible en la formación del miembro, ya que "tras la extirpación de la cresta apical de un esbozo de miembro y su ulterior implantación en un área mesodérmica no da origen a un miembro; en todos estos casos, obtiene esbozo con alto grado de tipicidad de miembro".

ZWILLING (1972) piensa que "para la formación y desarrollo de las extremidades es necesario tener la capacidad de sostener la cresta y responder a ella, lo cual es distintivo y se encuentra únicamente en el mesodermo de la yema de la extremidad".

BODEMER (1972) expone que "el mesodermo del futuro miembro provee al ectodermo de cualidades inductoras que a su vez reaccionan sobre el mesodermo. Las cualidades propias del miembro parecen ser propiedad del mesodermo. La prominencia apical ejerce una acción inductora sobre el mesodermo subyacente del miembro, dando origen a la formación de partes terminales de éste. El ectodermo influye en el caracter regional de la diferenciación morfológica en relación con el eje próximo-distal del miembro, pero el ectodermo no afecta la calidad. Se ilustra la reciprocidad de las influencias mesodérmica y ectodérmica por la evidente dependencia de la influencia ectodérmica sobre algún factor del mesodermo. La persistencia del reborde ectodérmico apical como una influencia activa sobre la elaboración continuada de elementos distales del miembro parece requerir un factor de mantenimiento asociado al mesodermo".

Según **SAUNDERS** y **REUSS (1974)** "en el pollo existe un ectodermo competente que responde a la inducción mesodérmica de la formación de la cresta apical que, a su vez, induce el crecimiento hacia fuera del mesodermo de la yema de la extremidad".

Para **HAMILTON** y **MOSSMAN (1975)** "se presenta el problema de si es el mesodermo del esbozo capaz de diferenciarse de manera autónoma, o si es el ectodermo que lo recubre el que toma parte en el proceso. La actividad proliferativa especial del mesénquima apical se debe, posiblemente, a la presencia de una prominencia ectodérmica que puede servir como inductor del crecimiento del miembro, no habiendo elaboración posterior de estructuras distales tales como dedos o manos, una vez que se saca esta prominencia". Asimismo, realizan unos comentarios profundos y muy sugerentes a los grupos de investigadores como el de **BELL** y **Cols. (1959)** que proponen que al sacar las células ectodérmicas apicales no siempre se produce una inhibición en la diferenciación distal del esbozo del miembro. Opinan que "los resultados contradictorios que siguen a la extracción ectodérmica pueden explicarse con la presencia o ausencia, luego de esa extracción de una capa refringente, no celular quizás, en la superficie del mesodermo subyacente. Todos los investigadores que intervinieron en este trabajo experimental parecen estar persuadidos de que la extracción quirúrgica de la prominencia ectodérmica origina una carencia de estructuras apendiculares distales. La respuesta final al problema debe aguardar análisis experimentales posteriores. Entretanto, no obstante, parece correcto decir que el promontorio ectodérmico y su vena marginal están probablemente relacionados con los estadíos sucesivos en la diferenciación próximo-distal del esbozo del miembro".

SEICHERT (1979), en su estudio en embriones de pollo mediante el método de marcaje lineal, redunda una vez más en la

idea de la interacción entre el ectodermo y mesodermo en el desarrollo de los miembros.

GUMPEL-PINOT (1980) tras cultivos con filtros demuestra que "la interacción entre el ectodermo y el mesodermo en yemas de extremidades de embriones de pollo requieren condiciones de contacto y no pueden tener lugar a distancia".

Un año más tarde, **GUMPEL-PINOT (1981)** demuestra en embriones de pollo que "la interacción mesodermo-ectodermo en la extremidad, incluso a través de filtros está mediado por una membrana basal, al igual que en condiciones in vivo. Este resultado apoya la hipótesis del papel significativo jugado por la membrana basal en la interacción ectodérmico-mesenquimal que participa en la diferenciación del cartílago en la yema de la extremidad".

WILLIAMS y **WARWICK (1985)** manifiestan que "los datos experimentales disponibles indican que el ectodermo de la región apical de la yema del miembro, aunque relativamente indiferenciado, es necesario para el desarrollo de las sucesivas agregaciones del mesénquima durante el crecimiento de la yema. La potencialidad de la masa inicial del mesodermo esplacnopleural está limitada a la formación de los elementos más proximales del miembro, es decir, la cintura del mismo. El desarrollo del mesodermo de los segmentos sucesivos del miembro es inducido en sentido próximo-distal por la cresta de ectodermo, cuyas células aparentemente no proliferan para cubrir la yema en crecimiento. El necesario aumento de ectodermo para ello parece derivar de proliferación intersticial o del ectodermo de la pared del cuerpo".

En **1981, JIMENEZ**, en esta ocasión in vitro con técnicas enzimáticas, de nuevo pone de manifiesto el papel básico de la

cresta apical en la formación del miembro.

MOORE (1985) y **SADLER (1986)** coinciden al precisar que "los sistemas articular, esquelético y muscular se desarrollan a partir del mesodermo. Cada primordio de las extremidades está constituido por una masa de mesénquima derivada del mesodermo somático y está cubierto por una capa de ectodermo. El reborde ectodérmico apical ejerce una influencia inductora de ese mesénquima, el cual fomenta el crecimiento y desarrollo de las extremidades".

Asimismo, **GUILLEN (1987)** concluye en embriones de pollo que "la cresta apical diferenciada después de la disociación y reagregación al azar de sus elementos constitutivos, presenta normal patrón histotípico, por lo que consideramos puede mantener su capacidad inductora diferenciadora". Y que "la condensación apical controla el ciclo mitótico del mesénquima subapical, con la determinación de espacios libres en el extremo distal del miembro, reducción de la densidad celular e incremento de su división".

2.- MORFOGENESIS ESPECIFICA DE LA ARTICULACION DEL HOMBRO

a) ELEMENTOS ESQUELETICOS DE LA ARTICULACION DEL HOMBRO

En este apartado se quieren resaltar los comentarios generales y particulares que dedica la bibliografía a aquellas porciones de los huesos, o mejor, elementos esqueléticos que conforman la articulación del hombro.

Así pues, se puede decir que en esta articulación se han de analizar diversas porciones del húmero y de la escápula, tal y como desglosaremos a continuación.

En general, **HESSER (1926)** refiriéndose específicamente a las superficies articulares habla de que "las diversas teorías sobre la forma están siempre en relación directa o indirecta a los movimientos embrionarios", y las rechaza en base a que "las formas ya están desarrolladas en el estadío donde las interzonas todavía son homogéneas y cuando no se podía haber producido ningún o muy poco movimiento".

Por otra parte, y también en sentido global, **HAINES (1947)** se refiere a la composición de las superficies articulares, "dispuestas centralmente por las capas condrógenas de las interzonas y en la periferia construídas de tejidos similares, formando parte originalmente del pericondrio intracapsular. Conforme se van ampliando más las cavidades sinoviales, una gran proporción del pericondrio se condrifica formando cartílagos articulares, y las grandes porciones de las superficies articulares en la mayoría de las articulaciones se forman de esta manera. Cerca de las márgenes de las superficies articulares se aprecia una zona de transición entre éstas y el pericondrio que va progresando sobre los cartílagos embrionarios, siempre que la superficie articular también se encuentre en el proceso de extensión, aunque después se estabiliza formando una zona de transición del adulto".

a.1.- HUMERO.

LEWIS (1901) expone de un modo cronológico y a grandes pinceladas algunos datos destacables del húmero. "A los 9 mm. el húmero es una masa cilíndrica de mesénquima condensado rodeado de un tejido fuertemente teñido que ocupa el centro de la porción proximal de la yema del miembro y se continúa con la escápula. A los 10,5 mm. el húmero se continúa directamente con la escápula y la raíz del proceso coracoides. Hay zonas de precartílago y cartílago. A los 11 mm. aparece un centro de condrificación en el

interior del blastema correspondiente al húmero. A los 16 mm. la principal porción del húmero es de cartílago rodeada por un pericondrio grueso que se continúa con el de la cabeza de la escápula formando el comienzo del ligamento capsular. El pericondrio muestra engrosamientos para las tuberosidades. Una porción de la cabeza del húmero se apoya en la base del proceso coracoides, indicando que una porción de éste va a ser incorporado a la cabeza de la escápula. A los 20 mm. la cabeza humeral se apoya sobre una zona tan grande proporcionalmente de la coracoides. El húmero, de material cartilaginoso, tiene una forma muy similar al del adulto. Del mismo material se encuentran bien formadas las tuberosidades. El surco bicipital está presente en este estadío".

BERTRAND (1923) aprecia "a los 46 mm. vasos en la epífisis con la peculiaridad de ser terminales y no comunicar con los diafisarios". Para el mismo periodo **HESSER (1926)** dice no encontrar la presencia de vasos.

HAINES (1947) manifiesta "la presencia a los 9 mm. de la condensación mesenquimal correspondiente al húmero (al igual que en la escápula). A los 10,5 mm. comienza a ser precartílago".

GARDNER y **GRAY (1953)** realizan uno de los estudios más completos y extensos referido también a diferentes estadíos en el desarrollo y a diferentes partes del húmero: "A los 12 mm. se halla precartílago junto a la interzona de la articulación, algo menos maduro en la epífisis que en la diáfisis. A los 20 mm. la cabeza, definitivamente esférica, está separada de la diáfisis por el cuello anatómico. Igualmente, el troquíter y el troquín están presentes. A los 22 mm. se observan capilares en el pericondrio. Aparece el surco intertubercular en el que está el tendón de la cabeza larga del bíceps. A los 25 mm. una cavidad separa la cabeza humeral del tendón del bíceps. A los 28 mm.

existen muchos capilares en el húmero que posteriormente, a los 37 mm. comienzan a penetrar el cartílago de la epífisis proximal del húmero. La penetración vascular es mayor en la cabeza humeral entre los 49 y 57 mm. A los 75 mm. aumenta el número y el tamaño de los canales cartilaginosos. A los 85 mm. los vasos de la epifisis cartilaginosa ya se comunican con los de la diáfisis ósea. A los 95 mm. los canales cartilaginosos grandes de la cabeza se ramifican. A los 253 mm. las células cartilaginosas de la cabeza humeral se hacen esféricas y se agrupan en las superficies articulares, teniendo forma de huso en la tuberosidad. En el estadío final de a término aparece un punto de osificación temprano en la cabeza del húmero".

O'RAHILLY y Cols. (1956) proponen "el estadío 16 (7-12,2 mm.) como fecha en la que se inicia la condrificación del húmero, siendo ésta claramente manifiesta en el siguiente estadío".

GARDNER (1963) manifiesta que "hacia la 5ª semana postfecundación, el húmero llega a parecerse al adulto en cuanto a la forma y disposición. A la 10ª semana los vasos invaden la cabeza humeral. Y por último se puede destacar que la osificación epifisaria del húmero comienza a término o algo antes".

ANDERSEN (1963) realiza también un extenso estudio al respecto. "A los 12 mm. la cabeza no está nítidamente separada de la interzona entre el húmero y la escápula. Sin embargo, un ligero estrechamiento indica el límite entre la cabeza y la diáfisis. A los 18 mm. hay vasos en las capas externas del pericondrio. A los 20 mm. la cabeza es redondeada, pero no bien definida de la interzona. Tanto el troquíter como el troquín están bien señalados, así como el cuello anatómico. A los 23 mm. la forma es similar a la del adulto y existe una amplia vascularización en el pericondrio. A los 26 mm. hay un claro surco bicipital para el tendón de la cabeza larga del bíceps. El

troquíter y el troquín son claramente hialinos. A los 38,5 mm. se hace evidente el primer signo de crecimiento vascular hacia la extremidad proximal, pareciendo que su procedencia es del surco bicipital, y debida a una activa penetración por co[illegible]lisis. A los 84 mm. la cabeza es penetrada por extensión de l[illegible]canales vasculares cartilaginosos".

GARDNER (1973) opina que "la cabeza del húmero empieza a condrificarse en el estadío 18 (13-17 mm.)".

Algo más tarde y en esta línea, **O'RAHILLY y GARDNER (1975)** dicen que "el húmero comienza su proceso de condrificación en los estadíos 16 (8-11 mm.) y 17 (11-14 mm.)".

O'RAHILLY y Cols. (1981) ofrecen algunas aportaciones precisas e interesantes en la misma línea cronológica: "En el estadío 15 (7-9 mm.) se comienzan a observar condensaciones de mesénquima que representan al húmero. En el estadío 16 (8-11 mm.) se puede comenzar a ver la condrificación del húmero. En el estadío 17 (11-14 mm.) la condrificación en el húmero es clara. En el estadío 18 (13-17 mm.) la condrificación hace su aparición en la cabeza humeral. En el estadío 21 (22-24 mm.) comienza la osificación en el húmero".

a.2.- ESCAPULA.

Por el interés y las peculiaridades que presentan las diferentes partes de la escápula creemos conveniente reflejar una primera visión general de toda ella y posteriormente resaltar los datos, que a nuestro juicio así lo merezcan, de cada detalle por separado.

- Escápula en general:

LEWIS (1901) presenta una vez más los datos en diferentes etapas del desarrollo: "A los 9 mm. la escápula se continúa con el húmero como una masa de mesénquima condensado rodeado de un tejido fuertemente teñido. A los 10,5 mm. la escápula está compuesta de precartílago. Ella y la raíz del proceso coracoideo se continúan con el húmero. A los 11 mm. aparece un centro de condrificación en el blastema escapular. A los 16 mm. la escápula está compuesta en su mayor parte de cartílago. Hay una gruesa capa de pericondrio alrededor del cartílago y una considerable masa de tejido condensado a lo largo del borde vertebral. Una porción de la cabeza del húmero se apoya en la base del proceso coracoides indicando que una porción de éste va a ser incorporada a la cabeza de la escápula. A los 20 mm. ésta parece haberse agrandado a expensas de la porción de la base del proceso coracoides así como de la unión de la coracoides y de la cabeza".

Del trabajo de **HAINES (1947)** se puede resaltar para esta ocasión el dato de que "a los 9 mm. se encuentra la condensación mesenquimal correspondiente a la escápula (al igual que en el húmero)".

GARDNER y **GRAY (1953)** ofrecen el siguiente amplio panel de datos: "A los 12 mm. presenta una forma característica de "S" y su consistencia es de mesénquima condensado excepto en sus bases que es de precartílago. A los 13 mm. se advierte la presencia del cuello de la escápula. Los tejidos adyacentes a ella se tornan densos para formar el pericondrio, el cual es más evidente en la cara medial del cuerpo y cerca de la articulación donde se continúa directamente con la interzona. A los 17 mm. este pericondrio es muy evidente en el labio glenoideo. Los capilares invaden el pericondrio más prominente del lado medial del cuerpo escapular y el próximo a la interzona en la porción lateral,

siendo igualmente numerosos a los 28 mm. En este estadío aparece un punto de osificación en el cuello que se extiende hacia la espina. A los 57 mm. el punto de osificación del cuerpo se extiende hacia la espina, y a los 60 mm. alcanza la base del acromion. A los 73 mm. aparecen canales cartilaginosos cerca de la base de la coracoides, haciéndolo en la cabeza de la escápula a los 85 mm. A los 132 mm. los vasos entran en la cabeza de la escápula desde el periostio del cuello acercándose muchísimo a la fosa glenoidea".

ANDERSEN (1963), de igual modo, ofrece un amplio panorama de datos a presentar: "A los 12 mm. una sección horizontal del cuerpo de la escápula tiene forma de "S". A los 18 mm. toda la escápula es de cartílago excepto las zonas marginales periféricas, encontrándose vasos en las capas externas del pericondrio. A los 23 mm. la forma remeda la del adulto y hay una amplia vascularización en el pericondrio. A los 26 mm. el cuello de la escápula es lo más vascularizado. A los 33 mm. se puede ver una osificación perióstica leve cerca del cuello de la escápula, pero no hay todavía calcificación de la sustancia fundamental cartilaginosa. A los 38 mm. ocurre la calcificación de esta sustancia en un centro endocondral grande en el cuerpo y en la espina. A los 72.5 mm. la osificación perióstica está cerca del proceso coracoideo e incluye toda la espina. A los 84 mm. la osificación endocondral se aproxima a la fosa glenoidea y existe un crecimiento vascular incipiente hacia el cartílago cerca de la base del proceso coracoides".

Del trabajo de **GARDNER (1973)** se puede resaltar el que "en el estadío 18 (13-17 mm.) la escápula comienza a condrificarse".

O'RAHILLY y Cols. (1981) manifiestan que "en el estadío 18 (13-17 mm.) aparece en la escápula el proceso de condrificación. En el estadío 23 (27-31 mm.) comienza el proceso de osificación".

- Cavidad glenoidea:

A continuación se detallan aquellos datos más significativos de esta parcela escapular.

SIMON (1923) y **HESSER (1926)** opinan que "la cavidad glenoidea es plana a los 24 y 22 mm., respectivamente".

HAINES (1947) muestra que "a partir de los 66 mm. la superficie glenoidea está recubierta de fibrocartílago".

GARDNER y **GRAY (1953)** aportan algunos datos más sobre el particular: "A los 13-14 mm. la superficie articular glenoidea apenas se ha curvado. A los 20 mm. es ligeramente cóncava, haciéndose más marcada a los 28 mm., para ser aún más profunda a los 60 mm. A los 110 mm. vasos adicionales han invadido la porción glenoidea. A los 144-145 mm. la osificación progresa desde el cuello a la porción glenoidea".

ANDERSEN (1963) remarca que "a los 20 mm. la cavidad glenoidea es claramente cóncava y está rodeada por un labio metacromático no bien delimitado de la interzona de la articulación".

- Labio glenoideo:

Las reseñas más destacables en relación a este detalle articular son las que siguen:

SIMON (1923) habla del labio glenoideo como una estructura producida por la interzona. Observa el anlage del labio glenoideo a los 20 mm.

HAINES (1947) expone que "a los 23 mm. el labio glenoideo

está definido, continúandose a nivel central con la capa condrógena de la interzona que recubre la superficie glenoidea de la escápula y periféricamente con el pericondrio del cuello de la escápula. Parece haber surgido aparte del tejido de la interzona. A los 24 mm. la continuidad vista a los 23 mm. es más evidente.

GARDNER y **GRAY (1953)** hacen, una vez más, un estudio más extenso del particular: "A los 17 mm. el pericondrio es muy prominente a nivel del labio glenoideo. El anlage aparece como una condensación celular en la margen de la futura fosa glenoidea. A los 21 mm. esta condensación da la impresión de ser una proyección celular que extiende el labio glenoideo. En la condensación aparecen fibras de colágena. A los 23 mm. aumentan las fibras de colágena, sobre todo cerca del borde libre. A los 27 mm. el labio glenoideo es más prominente en su porción posterior que en la anterior. Aunque está bien señalado aún no se delimita perfectamente. En la porción anterior de la zona profunda al tendón del subescapular la representación del rodete no se une al cartílago del margen glenoideo de la escápula. Aquí parece que el labio glenoideo se forma del mesénquima sinovial. A los 30 mm. aumentan las fibras de colágena aunque sigue siendo más celular que fibroso. El cartílago hialino del margen glenoideo de la escápula se extiende un poco a lo largo de la cara interna del labio. A los 60 mm. han aumentado mucho las fibras de colágena. A los 85 mm. los vasos que estaban en el borde pasan al interior. A los 95 mm. la transición del labio fibrocelular al cartílago hialino es gradual en la porción anterior y abrupta en la posterior. En estadíos posteriores la sinovial se refleja para cubrir el margen libre del labio. A los 270 mm. se ven por primera vez fibras elásticas en el labio, aumentando en gran medida y haciéndose su distribución más generalizada a los 302 mm., para definitivamente hacerse fibroso a término".

ANDERSEN (1963) de manera similar expone con amplitud los siguientes datos: "El labio glenoideo aparece a los 18 mm. como una transición metacromática y teñida por el Azul Alcian entre la capa condrógena de la cavidad glenoidea y el pericondrio ordinario de la escápula. A los 23 mm. se observan numerosas finas fibras de colágena en la zona marginal del labio orientadas de tal modo que siguen la circunferencia del mismo. A los 26-30 mm. se halla una transformación de la parte del labio que limita con la interzona, asumiendo el caracter de cartílago hialino de la cavidad glenoidea. Por otro lado, las zonas periféricas se hacen más fibrosas. El defecto en el labio bajo el tendón del músculo subescapular descrito por **GARDNER y GRAY (1953)** no se observa en los especímenes estudiados en este trabajo". La explicación según Andersen podría ser que estos autores utilizan la hematoxilina-eosina que no aporta información sobre la sustancia intercelular. "El labio se irá haciendo cada vez más fibroso. A los 84 mm. los vasos han penetrado hacia las porciones periféricas del labio, pero nunca hacia sus zonas hialinas. Superiormente, el labio aún muestra transiciones en la inserción del tendón del bíceps".

Para **GARDNER (1973)** y **O'RAHILLY y GARDNER (1975)** "el labio se puede identificar en el estadío 20 (18-22 mm.)".

HERTZ y **Cols. (1986)** manifiestan que "básicamente la sección transversal del rodete glenoideo tiene forma triangular; sin embargo, en su parte anterior tiene forma de menisco o labio. Sus haces de fibras se disponen de forma circular con una estructura radial y reticular entrelazadas cerca de los tendones del bíceps y tríceps".

- Espina:

Esta porción de la escápula no tiene una relación estricta y

directa con la articulación del hombro, pero por su situación de íntima proximidad, como punto de referencia, y su participación con el acromion merece ser considerada.

LEWIS (1901) precisa que "a los 9 mm. no hay señales de ella. A los 20 mm. aún no ha aparecido, pero el engrosamiento del borde anterior del que surge el músculo supraespinoso probablemente represente por su labio lateral la espina y por el medial el futuro borde anterior".

GARDNER y **GRAY (1953)** opinan que "a los 13 mm. no está presente, aunque sí a los 20 mm.".

ANDERSEN (1963) la considera "a los 20 mm. claramente hialina. A los 36 mm. la osificación perióstica se extiende hasta la base de la espina. A los 72,5 mm. la osificación perióstica incluye toda la espina".

Para **GARDNER (1973)** "se hace visible en el estadío 18 (13-17 mm.)".

- Acromion:

Esta parcela escapular se debe considerar por las mismas razones y como detalle particular de la anterior.

LEWIS (1901) opina que "a los 9 mm. no hay señales de su presencia,, pero sí a los 10,5 mm. A los 16 mm. el acromion es grande, curvado y mayoritariamente de tejido condensado, con un centro delgado de cartílago que se continúa con el cartílago del cuerpo. A los 20 mm. su pericondrio se continúa con el de la escápula".

GARDNER y **GRAY (1953)** la observan "a los 20 mm. casi completamente cartilaginosa. A los 23 mm. la punta del acromion se sitúa tan próxima a la cabeza del húmero que su pericondrio se mezcla. A los 60 mm. la osificación alcanza su base, llegando a su borde libre a los 144-145 mm.".

ANDERSEN (1963) considera "bastante grande al acromion a los 12 mm., pero con predominio de mesénquima blastemático en su consistencia. A los 20 mm. es claramente hialino. A los 84 mm. es todavía cartilaginoso, existiendo un ligero crecimiento vascular inmediatamente posterior a la superficie articular del acromion, la cual aparece ahora como una superficie hialina".

O'RAHILLY y **GARDNER (1975)** dicen que "se puede identificar en el estadío 20 (18-22 mm.)".

- Coracoides:

Al igual que las estructuras anteriores, tiene relación y referencia comparativa suficiente para que deba ser considerado de manera particular.

LEWIS (1901) comenta "no observar ningún rasgo a los 9 mm., haciéndolo a los 10,5 mm., donde la raíz del proceso coracoideo y la escápula se continúan directamente con el húmero. La porción del proceso coracoides desde donde surge la cabeza larga del bíceps debe en definitiva hacerse una porción de la cabeza de la escápula. A los 16 mm. es más grande que el acromion y contiene un centro cartilaginoso que se continúa con el cartílago del cuerpo. Ya se ha indicado cómo en este estadío una porción de la cabeza del húmero se apoya en la base de proceso coracoides, indicando que una porción de éste va a ser incorporado a la cabeza de la escápula. A los 20 mm. es más grande y su pericondrio se continúa con el de la escápula. La cabeza de la

escápula parece haberse agrandado a expensas de la porción de la base del proceso coracoides así como de la unión de ambas".

GARDNER y **GRAY (1953)** hablan "a los 17 mm. de su forma en gancho y de la persistencia de blastema en su extremo. A los 85 mm. se puede observar un canal cartilaginoso en su base. A los 160-180-198 mm. su pericondrio está unido a la clavícula pero no hay cavidad articular. En el estadío a término hay un centro de osificación en la parte libre del proceso coracoides".

ANDERSEN (1963) manifiesta que "a los 12 mm. aún predomina la consistencia de mesénquima blastemático. A los 20 mm. es claramente hialino; y a los 84 mm. existe un crecimiento vascular incipiente hacia el cartílago cerca de la base de la coracoides".

GARDNER (1973) lo halla condrificado en el estadío 19 (16-18 mm.).

b) PIEZA ARTICULAR INTERMEDIA DE LA ARTICULACION DEL HOMBRO. DERIVADOS.

Somos conscientes de la dificultad y de la artificialidad que puede suponer la separación en el análisis de la interzona y de sus derivados más señalados, pero se realiza así en aras a la claridad y a poder hacer un examen más detallado de cada uno, a pesar de que en algunas ocasiones los conceptos y los detalles se solapen o se repitan en la exposición. Comenzaremos presentando las aportaciones que se han ido sucediendo sobre lo que es la interzona y su desarrollo, para posteriormente a lo largo de esta sección presentar las revisiones hechas de sus derivados.

b.1.- INTERZONA

Destacaremos los autores que han realizado un estudio más profundo y completo, siguiendo una sistemática cronológica análoga a la que venimos desarrollando hasta el momento.

Ya en **1.852 BRUCH** habló de un blastema no condrificado a los 11 mm. que permanece entre los cartílagos, haciéndose gradualmente delgado para formar una serie de láminas, las interzonas ("Zwischenzone"), siendo las primeras manifestaciones morfológicas de la articulaciones". También denominadas por otros autores como "disco articular" (**WHILLIS, 1940**, entre otros).

SIMON (1923) "observa en la articulación del hombro el inicio del derrumbamiento de la capa media de la interzona en un ejemplar de 18 mm.", aunque para **HESSER (1926)** "todavía a los 22 mm. la interzona es homogénea".

HAINES (1947) opina que "la interzona se observa por primera vez en el estadío de 11 mm. A los 12 mm., aún relativamente gruesa, es bastante diferenciable formada por una masa de tejido blastemal indiferenciado entre los cartílagos. A los 13 mm. está formada por una lámina de tejido diferente condensado que se continúa con los cartílagos a cada lado. La interzona, pericondrio y tejido condensados están en una ininterrumpida continuidad. En la interzona no hay signos de diferenciación. A los 14 mm. la interzona aún se distingue más, pues los cartílagos han asumido sus formas características y se hace clara la naturaleza de las superficies articulares. El tejido interzonal es, y siempre permanece avascular. A los 16 mm. la articulación del hombro posee una interzona que sigue siendo homogénea y en continuidad con el pericondrio que rodea los cartílagos. En el estadío de 16-19 mm. se puede decir que la interzona se continúa, en la periferia, con el pericondrio intracapsular y éste se

refleja y se prolonga con el extracapsular. Entre la cápsula y el pericondrio extracapsular se encuentra una zona de tejido menos condensado, aún poco desarrollado, que dará lugar a la formación sinovial", detalle que volveremos a recoger al hablar de esta estructura. Ratifica en el estadío de 19 mm. los hallazgos descritos por **LEWIS (1901)** y **RETTERER (1902)** en el sentido de que las interzonas son todavía perfectamente homogéneas compuestas de células redondeadas, observando con frecuencia divisiones mitóticas. "En la superficie de la interzona se están produciendo fenómenos de condrificación, de tal modo que en este estadío forman importantes zonas de crecimiento para el esqueleto. A los 21 mm. en el hombro, la capa media de la interzona presenta un estadío temprano de disolución. A los 23 mm. la interzona ha alcanzado la típica estructura de tres capas. A los 29 mm. son más evidentes las capas de la interzona. En la capa media las células se van aplanando y se hacen paralelas a la superficie de la interzona y, simultáneamente, la matriz de este tejido se va aclarando en preparación para la licuefación. A pesar de ello, a veces, hacia el cent de la interzona (capa media), lejos de disolverse, parece que sus células se agrupan pudiendo parecer que vuelve a pasar de tres capas a ser homogénea. Se interpreta como "un artefacto debido a la compresión de la capa intermedia blanda de la interzona por la expansión de los cartílagos durante la preparación del material. Y en efecto, se observa un pliegue de presión que atraviesa el cuello de la escápula cerca de la articulación". A los 30 mm. la capa media de la interzona y las porciones internas del mesénquima sinovial se han reblandecido y parcialmente ya están descompuestas para producir la cavidad articular por licuefación".

DAVIES (1950) manifiesta que "entre los elementos esqueléticos en condrificación hay un mesodermo indiferenciado, el llamado mesodermo interzonal o disco articular, ocupando el lugar de la futura articulación y limitado externamente, en los

estadíos más tempranos, por un acúmulo de tejido condensado precisando el ligamento capsular. Proximal y distalmente, esta condensación capsular se une con el pericondrio que posteriormente se diferencia al periostio que recubre los elementos esqueléticos".

GARDNER y **GRAY (1953)** ofrecen también sus aportaciones al respecto: "A los 12-17 mm. el blastema no condrificado entre el húmero y la escápula es más denso que el que rodea al mesénquima. La interzona es avascular aunque los capilares se sitúan en su periferia. A los 20 mm. es más densa, pero en la porción medial de la articulación, sobre todo bajo el tendón del subescapular, se observan las tres capas y un ligero derrumbamiento, el cual ocurre a los 22 mm. afectando a la capa media. Se puede apreciar muy bien la disolución de la interzona situada sobre el origen del tendón de la cabeza larga del bíceps, lo que sugiere el comienzo de la cavitación. A los 23 mm. la capa media está más disuelta en su porción periférica que en el resto".

AN'JERSEN y **BRO-RASMUSSEN (1961)** realizan una exposición global, a modo de resumen, de los acontecimientos relacionados con la interzona, tal y como sigue: "En el lugar de la futura articulación existe, en periodos tempranos, la llamada interzona insertada entre los cartílagos vecinos. Esta interzona tiene tres capas, dos condrógenas, cada una de las cuales están en continuidad con el pericondrio de los cartílagos; y una capa intermedia laxa, de mesénquima avascular que se continúa periféricamente con el mesénquima vascular, el llamado mesénquima sinovial. Las células de la capa intermedia de la interzona están dispuestas con sus ejes longitudinales en ángulo recto en relación a los ejes largos de los cartílagos vecinos, no siendo en este lugar tan abundantes las figuras mitóticas como en las dos capas condrogénicas. En los estadíos tempranos del desarrollo, la capa intermedia de la interzona consiste en una

zona con un grosor de 3-4 células, pero en fases posteriores esta capa está ocupada por ambos lados por las capas condrógenas, cuyas células se convierten en condroblastos que depositan una sustancia marcadamente metacromática alrededor de aquellas. Los cartílagos que delimitan la articulación crecen de forma aposicional en todas direcciones, particularmente en parte a través de las capas condrógenas en la interzona y, en parte, gracias a la ayuda del pericondrio ordinario. En los estadíos más tardíos, la capa intermedia ha sido ocupada por ambos lados por las capas condrógenas y éstas se tocan en el área central de la articulación. Simultáneamente, en este lugar, dejan de existir las dos capas condrógenas a medida que las zonas de crecimiento de los cartílagos vecinos se van incorporando en el cartílago articular, pues ahora están en contacto a través de sus superficies lisas. En el área periférica de la articulación los cartílagos permanecen cubiertos durante cierto tiempo por una capa condróge Desde esta capa los segmentos periféricos de la futura superficie articular sufren un aumento continuo aposicional para mantener el ritmo del crecimiento fetal en total. El área central del cartílago tiene una formación exclusivamente intersticial".

ANDERSEN (1963) comenta también ampliamente el tema. Expone que "a los 12 mm. la interzona aparece como una masa densa, celular, que une la escápula y el húmero, no estando claramente delimitada de los primordios cartilaginosos adyacentes. A los 18 mm. su área central está algo más dispersa. Hay numerosas figuras mitóticas que se mezclan con las zonas condrógenas de los cartílagos contiguos. Es completamente avascular aunque en el mesénquima que la rodea hay muchos vasos. A los 23 mm. es todavía homogénea. Los vasos se extienden a las zonas marginales de la interzona, especialmente bajo la coracoides, transformando el tejido denso celular en laxo. A los 25-26 mm. posee tres capas diferentes, dos condrógenas y una intermedia. A los 28 mm. la

capa intermedia ha disminuído en anchura y desaparece en la parte superior de la articulación. A la vez las dos capas condrógenas se mezclan o confunden con los respectivos cartílagos articulares, mientras que las dos superficies lisas están siendo separadas por una pequeña cavidad articular. El tejido adopta un caracter muy laxo, pero no hay signos de degeneración celular precediendo a la formación de la cavidad".

HAMILTON y **MOSSMAN (1975)** realizan las siguientes reflexiones al respecto: Explican que "no hay indicación del sitio de la futura articulación sinovial hasta después de la diferenciación de los modelos cartilaginosos de los futuros huesos. Cuando ésto ocurre, el mesénquima entre los extremos de los elementos cartilaginosos adyacentes se dispone para formar la interzona. En el centro de ésta las células son aplanadas, mientras que en la periferia se continúan con el pericondrio de los moldes cartilaginosos. El crecimiento de éstos, uno contra otro, comprime la parte central de la interzona, apareciendo a la vez, una cavidad en la parte circunferencial".

MILAIRE (1978) en su trabajo versado sobre ratones, corrobora el hallazgo ya visto por **ANDERSEN** y **BRO-RASMUSSEN (1961)** en el sentido de que "la interzona mesodérmica representa el supuesto material de los cartílagos articulares adyacentes que pone en marcha la síntesis de la matriz exocelular más tarde que el cartílago monoarticular". Unos años después, este mismo autor, **MILAIRE (1983)**, con el mismo tipo de material, habla de que "el mesodermo indiferenciado de las interzonas prearticulares se caracteriza por una reacción temprana de AMP-PH (AMP-fosfohidrolasa). A medida que ocurre el desarrollo se hace evidente que el material positivo que representa el futuro cartílago articular retiene selectivamente AMP-PH mientras se está diferenciando. Las diversas articulaciones reaccionan de acuerdo a un peculiar patrón topográfico en el que ocurren dos

inversiones respecto al gradiente próximo-distal del desarrollo de los miembros: la interzona del hombro se hace positiva más tarde en relación al codo (y la medio-carpiana más tarde que la carpo-metacarpiana)".

MOORE (1985) propone que "el mesénquima entre los huesos en desarrollo, conocido como mesénquima interzonal, se diferencia de la siguiente manera: 1.- Periféricamente da lugar a los ligamentos capsulares y a otros ligamentos. 2.- En la parte central desaparece y forma la cavidad articular. 3.- Donde tapiza la cápsula y las superficies articulares forma la membrana sinovial".

WILLIAMS y **WARWICK (1985)** 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 cartílago-hueso, sino que permanecen como placas de mesénquima interzonal. Este se hace trilaminar en las articulaciones diartrodiales en desarrollo, y por ende en la articulación del hombro, debido a la aparición de una zona intermedia, más tenue, entre las dos capas densas próximas a los extremos cartilaginosos de las terminaciones esqueléticas de la región. Estas últimas se continúan periféricamente con el pericondrio vecino, y como él, son condrogénicas. En la capa intermedia surge la cavitación que da lugar a la cavidad articular".

b.2.- CAVIDAD ARTICULAR.

Los diferentes aspectos de la formación de la cavidad articular han sido bastante debatidos a lo largo de los años. Ya se ha apuntado en alguna cita del apartado anterior la aparición

y formación de la cavidad en el seno de la interzona. Ahora se tendrá ocasión de analizar todo ésto con mayor precisión y amplitud.

En este mismo sentido, ya **BAER (1837)**, 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 condrificado situado entre ellos es el que forma las cavidades articulares".

VELPEAU (1843) estudió el modo en que se formaban las cavidades articulares en embriones y fetos, contentándose con utilizar el método de disección e inspección directa, y concluyó que "en las primeras semanas de vida embrionaria ninguna cavidad articular podía ser distinguida; yo no he reconocido evidencias de ellas mas que después de los 40 días. Aparecen bajo la forma de simples fisuras o de ligeras cavern ; 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, al principio 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".

BERNAYS (1878) propone que "la cavidad articular se forma a partir de una dehiscencia producida entre los dos lechos condrogénicos de la interzona a causa de la contracción muscular. Cuando estas dos capas condrógenas se observan, el tejido indiferente está bastante atenuado y en su lugar se ve un espacio vacío, la cavidad articular".

SCHULIN (1879) fue el primero que afirmó que "la cavitación en la articulación comienza en la periferia de la misma, siendo un factor importante la acumulación de líquido intersticial".

LEWIS (1901), refiriéndose a la articulación del hombro, observa "a los 16 mm. una tira de pericondrio entre la escápula y el húmero sin existir ninguna señal de cavidad articular, que sigue sin estar presente a los 20 mm.".

RETTERER (1902) piensa que "el establecimiento de la hendidura articular es el resultado de una evolución particular del tejido esqueletógeno o conjuntivo primario. Este, constituído desde el origen como un cartílago de elementos con protoplasma común se transforma a nivel de la futura interlínea en tejido conjuntivo reticular a modo de mallas llenas de hialoplasma. Enseguida se fluidifican, se atrofian los restos celulares y su lugar es ocupado por una cavidad que, según la región, será mucosa, peritendinosa o articular. El esbozo de la cavidad aparece en la periferia de la futura articulación".

En relación a ésto último, **FALDINO (1921)** opina que "la cavidad comienza por el centro".

SIMON (1923) aporta el dato de que "la cavidad de la articulación del hombro comienza a ocurrir a los 30 mm.".

Para **TAURE (1930)** "la cavidad articular se forma por reabsorción del disco intermedio".

BLACK (1934) encuentra "como primera señal de cavidad articular en el hombro una pequeña hendidura a los 32,5 mm.".

WHILLIS (1940) propone que "a partir del 4º ó 5º mes fetal los elementos esqueléticos quedan separados por un proceso de

licuefación observado con la técnica de tinción de Tionina, mostrando las zonas de licuefación menor afinidad a la misma. La cavitación suele comenzar periféricamente".

Para **HAINES (1947)** "Las cavidades aparecen en el momento o poco después de la osificación perióstica de los huesos largos. En el hombro ocurre a los 30 mm., siendo completa la dehiscencia o licuefación de la capa media de la interzona a los 34 mm. La aparición de la cavidad comienza por la periferia".

DAVIES (1950) cree que "las porciones centrales y, posteriormente, las más periféricas de la interzona comienzan a cavitarse para formar la futura cavidad articular. Esto se consigue por una ampliación y confluencia de las mallas del retículo por retracción y separación de sus puentes protoplasmáticos, permitiendo de este modo, que los espacios adjuntos o próximos se unan y formen un gran espacio. La licuefación del tejido juega un papel menor en este proceso, pero no puede ser excluído".

En este sentido, **EBERL-ROTHE** y **SONNENSCHEIN (1950)** opinan que "el desarrollo de la cavidad de la articulación ocurre merced a un proceso degenerativo".

GARDNER y **GRAY (1953)** al analizar el proceso de cavitación de la articulación del hombro observan que "a los 22 mm. se insinúa el comienzo de la cavidad por la pérdida de la interzona en la región situada directamente sobre el origen del tendón de la cabeza larga del bíceps. A los 25 mm. están presentes por primera vez las cavidades situadas anterior y posterior a la articulación. Otra cavidad separa la cabeza humeral del tendón del bíceps. A los 27 mm. la cavidad articular está ya presente y se prolonga hasta el surco bicipital. A los 30 mm. la cavidad rodea el tendón de la cabeza larga del bíceps excepto donde éste

se sitúa junto a la cápsula. A los 75 mm. una prolongación de la cavidad articular pasa debajo de la porción más inferior del surco bicipital. A los 180 mm. la porción posterior se extiende casi al nivel de la osificación. A los 198 mm. la cavidad se elonga hasta la cara externa del labio glenoideo. A los 285 mm. la porción posterior de la cavidad se extiende bajo el nivel de osificación del húmero".

MUNARON (1954) supone "para el desarrollo de la cavidad articular una actividad secretoria mayor o incrementada de sustancias intercelulares (por ej., el ácido hialurónico) con una capacidad subsiguiente mayor de agua y una reducción en la resistencia mecánica".

A este respecto, **GARDNER y Cols. (1957)** se suman a los autores que opinan a favor de que "el desarrollo de la cavidad se debe a un proceso degenerativo".

ANDERSEN y **BRO-RASMUSSEN (1961)** realizaron un estudio histoquímico en 25 fetos humanos muy detallado e interesante sobre la interzona articular y el proceso de cavitación o hendiduración. El primero ya se ha tenido ocasión de presentar en el apartado anterior. En cuanto al segundo, sus consideraciones se pueden resumir como sigue a continuación: "La cavidad de la articulación comienza en la zona central de la misma después de que la capa intermedia de la interzona de este lugar haya quedado asumida en las dos capas condrogénicas que, a su vez, quedando incorporadas en las dos superficies articulares dejan de existir como tales, aunque persisten durante algún tiempo en las zonas marginales de lassuperficies de la articulación, asegurando así el crecimiento aposicional de estas estructuras; mientras que las centrales muestran un crecimiento intersticial. Desde la zona articular central, la cavidad 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 sólo como un estrato de células. En el curso de la formación de la articulación se producen cantidades bastantes grandes de condroitín sulfato A y C en las tres capas de la interzona. La formación de la cavidad no fue precedida por ningún indicio de licuefación ni de degeneración de la interzona".

Para **AREY (1962)** "la cavidad articular aparece en el tercer mes de vida intrauterina".

ANDERSEN (1963) realiza un estudio algo más profundo a modo de reseñas cronológicas sucesivas sobre el particular. Considera que "la cavidad articular aparece a los 28 mm. fruto de la incorporación de la capa intermedia de la interzona en las dos capas condrógenas y en el labio. A los 36 mm. hay una incipiente extensión periférica de la cavidad articular, ya que comienza centroproximalmente para extenderse después hacia la periferia de la articulación y alrededor del tendón de la cabeza larga del bíceps. Superiormente, lo hace hacia el tejido laxo entre el labio y la cápsula bajo el tendón del supraespinoso. Hacia abajo hay un receso que se extiende desde la punta del labio hasta el cuello quirúrgico. Igualmente hay una cavidad entre el tendón de la cabeza larga del bíceps y la cabeza humeral, pero no se prolonga alrededor del tendón, quedando así éste suspendido de la cápsula fibrosa por una reflexión de tejido laxo. En la vertiente posterior, bajo el tendón del infraespinoso, la cavidad se extiende hacia la interzona; y en la anterior, bajo el tendón del subescapular hay un receso desde la cavidad a la inserción del tendón, el cual posee un material metacromático que se tiñe por el Azul Alcián. La extensión periférica de la cavidad no ha sido precedida, en ninguna parte, por signos de degeneración celular, aunque el tejido se hace laxo por lo que la cavidad se expande

hacia éste". (Estos hallazgos son corroborados dos años más tarde por este mismo autor; **ANDERSEN, (1962)** al estudiar la articulación del codo). "A los 38 mm. el receso alcanza el extremo del cuello quirúrgico. A los 42-45 mm. la cavidad articular es similar a la del adulto excepto en el hecho de que aún no hay cavidad entre el tendón del bíceps y la cápsula fibrosa. Esto no es evidente hasta los 84 mm. A los 42,5 mm. se observa que la cavidad bajo el tendón del bíceps alcanza hacia abajo el surco bicipital. En este estadío se ha podido apreciar una comunicación entre la cavidad y la bolsa subescapular".

Dentro de las teorías que tratan de explicar el proceso de cavitación, **GARDNER (1963)** ofrece una nueva orientación al suponer que se deba probablemente a un proceso enzimático.

En una línea muy similar se pronuncia **GENIS (1970)**,hablando de la posibilidad de que "la cavitación se debe, efectivamente, a un proceso enzimático, pero en el que además se suma una muerte celular activa".

En relación a ello, **WASSILEV (1972)**, utilizando ratas en su estudio, considera que este proceso se debe a un fenómeno degenerativo.

HAMILTON y **MOSSMAN (1975)** manifiestan que "las células del centro de la interzona desaparecen rápidamente, de manera que los elementos cartilaginosos contactan entre sí y se forma una cavidad articular evidente en la parte circunferencial".

MITROVIC (1978) realizó el estudio de diversas articulaciones diartrodiales en embriones de rata, del que se podría destacar: "Las hendiduras se pueden observar simultáneamente en la periferia o en el centro de la articulación en la forma de dos o incluso tres hendiduras separadas". Insiste

en lo que ya había descrito en **1971** y **1977** en relación a que "la necrosis celular temprana en los embriones de pollo y ahora en el embrión de rata parece significar un importante evento en la artrogénesis. El papel en el desarrollo de las articulaciones no es tan claro". Surgirió que "las células con expresión condrogénica quedan eliminadas de este modo de la interzona y, por tanto, este tejido evita ser condrificado. Después del estadío de necrosis celular ocurre una reorganización peculiar de las células de la interzona con un aflojamiento en su porción medial".

En este mismo año **LINCK y PORTE (1978)**, trabajando en ratones, son contrarios a la opinión de **MITROVIC (1971 b, 77)**, ya que "no observan nunca ningún indicio de necrosis celular".

Una nueva aportación se suma para conocer la fecha de aparición de las cavidades articulares, en este caso dada por **O'RAHILLY** y **Cols. (1981)**, viniendo a coincidir con la tónica general alrededor del estadío 23 (27 a 31 mm.).

ORTS (1985) habla de la reunión de vacuolas y así formar la hendidura articular.

STOFFT y **EFFENDY (1985)** realizan un estudio sobre 73 ratas centrado sobre todo en la membrana sinovial, pero ofrecen asimismo alguna consideración respecto a la formación de la cavidad, compartiendo la idea de otros autores en el sentido de no observar ninguna señal de necrosis celular en este proceso.

Llegado este punto en la exposición, y antes de seguir con ella, es obligado comentar y resaltar una cuestión ampliamente debatida, cual es el origen y formación de los elementos intraarticulares. El problema que en principio se plantea es si estas estructuras intraarticulares son de origen blastemático o

si, por el contrario, tienen un origen extrablastemático.

BERNAYS (1878), SCHULIN (1879), BARDEEN (1905) y posteriormente **EBERL-ROTHE** y **SONNESCHEIN (1950)** consideran que "las estructuras intraarticulares, tales como el tejido sinovial, meniscos, etc. son de origen blastemático". **SCHUSTER (1878)** y **KEITH (1933)** llegaron a sugerir que "tales estructuras son derivados capsulares".

TAURE (1930) expuso que "si bien el disco intercondral blastemático o zona intermedia se continúa, 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 capsulares. 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".

Pero en **1947 HAINES** se opone a todas las concepciones anteriores, apoyando los trabajos de **HAGEN-TORN (1882)**, y afirma 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". Está de acuerdo con **HAGEN-TORN (1882)** en que las superficies articulares cartilaginosas y la cavidad se forman, parcialmente, del disco blastemático 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 quedará encerrado en la articulación dando lugar a las estructuras intraarticulares. Este proceso también resultaría de la división del pericondrio en porciones extra e intracapsulares, siendo éstas últimas continuas con las capas condrogénicas de la interzona, siempre que estén presentes". Sigue 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".

b.3.- MEMBRANA SINOVIAL.

Teniendo presente la vigencia en la actualidad del debate sobre el origen y derivados de los componentes blastemáticos y extrablastemáticos que afectan a la membrana sinovial, analizaremos a continuación las opiniones y consideraciones de los diferentes autores.

La naturaleza conectiva del revestimiento sinovial, membrana sinovial, fue demostrada por primera vez por **HUETER (1866)** y secundada posteriormente por los estudios de **HAGEN-TORN (1882)** y **HAMMAR (1894)**.

LUSCHKA (1858) comenta que "entre la cápsula y el pericondrio extracapsular se encuentra una zona de tejido menos condensado, aún poco desarrollado que es el mesénquima sinovial", o el "mesochondrium" vascular de **HAGEN-TORN (1882)**.

RETTERER (1902) 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 constituídas por tejido conjuntivo reticulado de mallas llenas de hialoplasma y de una gran riqueza vascular. Un poco más tarde se presentan las arrugas o bandas, cuyas bases están 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 en parte de hialoplasma. Su persistencia en las articulaciones embrionarias o fetales, así como en el adulto, se consideran como producciones patológicas. No son más que regueros de estos discos intercartilaginosos que persisten en ciertos puntos y desaparecen en otros por fundición celular".

SIMON (1923) considera que "la membrana sinovial se diferencia de la capa interna de la cápsula a los 50 mm.".

CLARK y **LE GROSS (1928)** en un estudio experimental sobre la membrana sinovial afirmaron que "las cavidades tienen un revestimiento auténticamente mesotelial".

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

DAVIES (1945) y **DAVIES** y **EDWARDS (1948)** creen que "la red vascular subyacente a las células de la superficie deberían ser incluídas en la definición de membrana sinovial".

Ya se ha apuntado la opinión de **HAINES (1947)** respecto a algún aspecto de esta cuestión, que convendría ampliar o precisar

algo más. Considera que "es difícil creer que el mesénquima sinovial pudiera ser de origen blastemático. Aunque en el caso de la articulación del hombro, en donde el mesénquima sinovial es menos abundante, no se puede determinar con seguridad su origen. De él derivan las porciones más centrales de la cavidad sinovial, la sinovial y los tejidos subsinoviales, así como las estructuras intracapsulares incluyendo los ligamentos, tendones y fibrocartílagos". Refiriéndose a los pliegues sinoviales opina que "son parte del mesénquima sinovial que ha quedado disecado por las extensiones secundarias de las cavidades sobre los cartílagos. Las vellosidades se forman como crecimiento secundario de los tejidos sinoviales".

Para **DAVIES (1950)** "la membrana sinovial es el último de los tejidos articulares que completa su diferenciación y, al compararse con las estructuras capsulares y los elementos esqueléticos, es la menos especializada. En resumen, las características significativas en el desarrollo de la membrana sinovial son su lentitud en conseguir su diferenciación total, su temprana y pronunciada vascularización, y la continuidad de su tejido con el condrógeno y más tarde con la capa osteogénica del periostio".

En el trabajo que sobre la articulación del hombro realizan **GARDNER** y **GRAY (1953)** ofrecen un estudio amplio y detallado cronológicamente de este tema. "A los 22 mm. los capilares penetran en la condensación capsular convirtiéndose el tejido adyacente a la interzona en el mesénquima sinovial. A los 27 mm. el tejido de revestimiento no está aún muy vascularizado. A los 30 mm. está ya suelto y [illegible]cularizado, pareciéndose al tejido sinovial de estadíos posteriores. Se observa la refiexión de este tejido a una corta distancia del cuello del húmero. A los 49-50 mm. el tejido sinovial está más vascularizado que en etapas anteriores y sobre todo cerca del margen libre del labio

glenoideo. A los 57 mm. aparecen por primera vez pequeños pliegues y vellosidades localizados en la parte inferior de la articulación cerca de la reflexión de la sinovial en el húmero. A los 60 mm. aparecen otros pliegues cerca de los ángulos de reflexión en la escápula junto a la tuberosidad supraglenoidea. La sinovial se extiende sobre el labio glenoideo en la porción superior, pues en la inferior se fija al propio labio y no hay receso. A los 75 mm. la sinovial rodea completamente al tendón del bíceps proyectándose hacia la cavidad. A los 110 mm. los vasos sanguíneos casi ausentes son numerosos en las zonas de reflexión. Cuando el tendón del bíceps se sitúa en el canal bicipital su sinovial de cubierta se refleja en sentido anterior a modo de un mesotendón con el tejido de cubierta del canal. A los 160 mm. la vascularización de los pliegues ha aumentado y algunos llegan a la porción inferior del canal bicipital. A los 253 mm. la reflexión de la sinovial llega medialmente en el húmero tan lejos como el nivel de osificación de éste y casi igual lateralmente. A los 270 mm. se observan fibras elásticas en la mayoría de los pliegues y vellosidades sinoviales. A los 302 mm. hay células grasas aisladas en el tejido sinovial laxo revistiendo la cavidad articular, siendo especialmente numerosas en la región adyacente a la apertura de la bolsa subescapular. A los 308 mm. el mesotendón bicipital contiene fibras de colágena. En el estadío final, a término, la sinovial está claramente definida y se distingue fácilmente de la cápsula fibrosa. Se refleja desde el ligamento humeral transverso como un mesotendón para rodear al tendón de la cabeza larga del bíceps, sobre todo cuando está en la cavidad. El mesotendón tiene arteriolas, vénulas y capilares. Por último, las células que revisten la cavidad del hombro presentan una variabilidad en la forma (ovoideas, redondeadas, planas) y en la disposición (zonas sin células o en una o varias capas) igual a lo que ocurre en cadera, codo y rodilla".

ANDERSEN y **BRO-RASMUSSEN (1961)** consideran "al mesénquima sinovial extendiéndose en forma de cuña entre las capas condrógenas en las porciones periféricas de la articulación, mostrando gradualmente un incremento vascular. Participa en la formación del aparato sinovial, tanto en la del tejido sinovial y subsinovial, como en la de estructuras intracapsulares, tales como los ligamentos". También supone que "en el aumento en la vascularización que se produce en este tejido después del estadío de 30 mm. tiene importancia con respecto al suministro de las capas condrógenas en la interzona avascular, siempre que no se haya producido la cavitación. Cuando eso ocurre se puede formar el líquido sinovial por trasudación de estos vasos".

AREY (1962) se refiere a la membrana sinovial como "aquellas células de la superficie interior de la cápsula que se aplanan formando un falso epitelio".

ANDERSEN (1963), en su estudio sobre la articulación del hombro, dedica unas amplias y sistemáticas consideraciones a su membrana sinovial. "Antes de los 23 mm. el tejido sinovial no difiere mucho de la parte restante de la interzona. A los 23 mm. los vasos del mesénquima general vascular que lo rodea invaden las zonas periféricas de la interzona y entonces ocurren cambios llamativos: las zonas periféricas de un tejido metacromático, denso y celular pasan a ser un tejido más laxo y menos metacromático, el denominado mesénquima sinovial blastemal, que representa el primordio del tejido sinovial. A la vez, se va perdiendo o diluyendo la capa intermedia de la interzona, cuya porción periférica se une al mesénquima sinovial. A los 36 mm. éste se distingue más, diferenciándose por ello sus expansiones periféricas cuando va teniendo lugar también el mismo proceso en la cavidad articular. A los 38,5 mm. se suman células sinoviales en forma de estrella, huso, con vacuolas, etc. A los 45 mm. comienzan a manifestarse pequeños pliegues en el tejido sinovial.

Esto se observa muy bien en el receso axilar donde los pliegues son bastante grandes a los 84 mm. En los recesos periféricos de la articulación, especialmente alrededor del húmero, el tejido sinovial se refleja desde la cápsula fibrosa al húmero donde se une a su pericondrio sin límite definido".

HAMILTON y **MOSSMAN (1975)** hablan de la membrana sinovial como "aquellas células que bordean las superficies articulares y la cápsula formando un mesotelio aplanado". Igualmente exponen una consideración muy interesante en relación a las bolsas sinoviales: "Estas, como las subcutáneas, submusculares, subtendinosas y vainas tendinosas no están directamente relacionadas con el esqueleto y puede decirse aquí que se desarrollan a modo de articulaciones sinoviales por un edema progresivo y participación del tejido fibroso embrionario de la región".

Con el ánimo de clarificar y precisar los conceptos sobre estas estructuras se han estudiado peculiaridades y detalles de las mismas; sirva de ejemplo el que realiza **STOFFT y EFFENDY (1985)** en ratas que manifiesta no encontrar en ningún estadío del desarrollo una lámina basal que limite la capa sinovial de los tejidos subsinoviales. Coincide y confirma así los trabajos de **BARLAND** y **Cols. (1962)** en humanos, **GHADIALLY y ROY (1966)** en conejos y **WASSILEV (1972)** en ratas, que se pronuncian del mismo modo.

b.4.- CAPSULA ARTICULAR.

La cubierta fibrosa que constituye la cápsula de la articulación, en este caso particularizada en la del hombro, es otro tema importante tratado mayoritaria o unánimemente por los investigadores; sobre todo, intentando aclarar aspectos relacionados con su origen y constitución.

En este sentido se recogen los trabajos de autores como **BAER (1837)**, quien utilizando embriones de pollo afirma que "la cápsula articular es una formación blastemática, una continuación del pericondrio por encima de la región de la articulación".

BRUCH (1852), que publicó la primera descripción detallada del desarrollo de las articulaciones, sugirió que "la cápsula fibrosa era una continuación del pericondrio a través de la región articular".

Autores como **SCHULIN (1879)**, **LEWIS (1901)** y **BARDEEN (1905)** admiten y comparten las sugerencias de los autores anteriores.

Sin embargo, **HAGEN-TORN (1882)**, apoyado en su hallazgo de que el mesénquima sinovial es de naturaleza vascular, afirmó que "formaba parte de un mesénquima general, separado por el desarrollo de la cápsula articular, y que no formaba una parte del blastema avascular", de modo que este autor considera que la cápsula fibrosa es una formación completamente extrablastemática.

SIMON (1923) se refiere a la cápsula articular como "una estructura producida por la interzona, cuyas células provienen de su capa celular externa. El anlage ocurre a los 18 mm.".

TAURE (1930) propone 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)** para quien "el pericondrio da lugar a la cápsula de la articulación".

NEALE (1937) expone que "a los 28 mm. la cápsula está formada por un grupo de fibras no bien delimitadas del mesénquima

adyacente, estando mejor definido a los 41 mm.".

PUJIULA (1943) afirma que "la cavidad de la articulación queda lateralmente limitada por tejido conjuntivo transformado en la pared de la cápsula articular, la cual diferencia su capa interna alrededor de la cavidad articular para constituir la cápsula sinovial. Sobre ésta se modifica periféricamente el tejido conjuntivo tomando un carácter muy fibroso y compacto para formar los ligamentos periarticulares".

DAVIES (1945) reitera la opinión de que "el pericondrio está en continuidad por encima de la cavidad articular en la forma de cápsula, mientras que el revestimiento de la cavidad presenta, por un lado, cartílago articular y, por otro, membrana sinovial. La cápsula está compuesta de un tejido conectivo, relativamente avascular, resistente y poco elástico".

HAINES (1947) realiza una interesante exposición de su teoría, en la línea de la defendida y ya citada de **HAGEN-TORN (1882)** en el sentido de que la cápsula articular no deriva de los pericondrios articulares, afirmando que "si la cápsula fibrosa realmente representa el pericondrio, sería sorprendente encontrar otra capa, el pericondrio intracapsular encerrado en aquella. El pericondrio es perfectamente evidente a los 12 mm. cerca de las articulaciones más grandes, mientras que la cápsula fibrosa sigue estando ausente a los 14 mm.; y cuando aparece a los 16 mm., sus células están dispuestas en sentido longitudinal, mientras que las células del pericondrio son redondeadas. El desarrollo de la cápsula fibrosa en forma de condensaciones en el tejido blastemático sobrante, cerca de la articulación, aisla una porción general que va a formar el mesénquima sinovial, y otra porción del pericondrio para formar el pericondrio intracapsular. Este quedará parcialmente transformado en las porciones más periféricas del cartílago articular, mientras que el resto

persiste toda la vida".

GARDNER y **GRAY (1953)** abordan este particular en el hombro con la misma normativa que tratan otros aspectos expuestos anteriormente: "A los 13 mm. la escápula articular está presente, e incluso en estadíos anteriores, como continuación del pericondrio entre la cápsula y el húmero. Esta continuidad se rompe en la parte anterior y posterior de la articulación, y aquí la interzona se comunica con el tejido extraarticular. A los 22 mm. está más definida. Los capilares se localizan por fuera de la condensación y comienzan a invadir la articulación allí donde es más deficiente, como por ejemplo profundo al proceso coracoides. A los 23 mm. se observan algunas fibras de colágena en la condensación. A los 27 mm. se incrementa el número de fibras de colágena en la cápsula, y en base a su disposición se pueden diferenciar de los tendones y ligamentos. A los 30 mm. sigue siendo más celular que fibrosa y contiene vasos, la mayoría capilares. A los 57 mm. la porción inferior es gruesa, irregular y rica en células y vasos. La posterior es con frecuencia delgada y cerca del húmero deficiente. En la anterior su tejido se diferencia bien del tendón del subescapular. En la región del ligamento glenohumeral medio, profundo al proceso coracoides, la cápsula está indefinida y reemplazada por tejido laxo con muchos vasos sanguíneos. En la parte superior se diferencia menos del tendón del subescapular y hacia el húmero se une con éste. A los 160 mm. se observan lóbulos de grasa adyacentes a la cápsula en la región profunda al proceso coracoides".

AREY (1962) se suma a la teoría que considera a "la cápsula derivada del tejido externo, más denso como continuación del pericondrio".

ANDERSEN (1963) observa claramente, "no antes de los 23 mm. y cuando la interzona se hace más laxa, la cápsula a modo de una

hilera celular que forma el límite periférico de la interzona y una continuación entre el pericondrio y los dos cartílagos adyacentes. Se hace más diferenciable cuando en los estadíos siguientes la interzona se hace trilaminar. Sin embargo, está ausente bajo el proceso coracoides donde tan sólo se observan algunos vasos discurriendo hacia la porción periférica de la interzona. A los 23 mm. presenta algunas fibras finas de colágena donde se refuerza por los ligamentos extracapsulares. A los 30-32 mm. se aprecian capilares finos en la cápsula a la vez que se incrementa el número de fibras de colágena. En las inserciones del infraespinoso, supraespinoso y subescapular la cápsula no se puede distinguir definitivamente de los tendones de estos músculos".

HAMILTON y **MOSSMAN (1975)** consideran que "el tejido mesenquimatoso que rodea la articulación en desarrollo y que se continúa con el pericondrio se diferencia para formar una membrana delgada que se transforma eventualmente en el ligamento capsular de la articulación. Luego de modificaciones tales como engrosamientos locales y cambios en la posición relativa da también origen a los ligamentos especiales".

WILLIAMS y **WARWICK (1985)** expone 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".

Otra cuestión recogida y debatida en la literatura en relación a la cápsula articular es, concretamente, el lugar de inserción de la misma. Así, **UHTHOFF** y **PISCOPO (1985)** establecen que "en el 77% de los casos (tipo I), la cápsula anterior, o mejor, la porción anterior de ella se inserta en el labio o cerca

de él. En el restante 23% (tipo II) se inserta en el cuello de la escápula, de tal modo que forma una bolsa o un receso diferente a la bolsa subescapular. En todos los ejemplares la porción posterior se inserta directamente en el labio". Piensa que "el receso visto en el 23% (tipo II) puede corresponder al observado durante la cirugía realizada en la luxación recidivante de hombro. Parece ser que no es necesariamente de origen traumático, y que se debe considerar como una anomalía del desarrollo".

Las referencias sobre este detalle anatómico se declinan, en la mayoría de las descripciones, por el acuerdo en que lo normal es que la cápsula se inserte en la margen anterior de la cavidad glenoidea; sirva de ejemplo los estudios de **EYRE-BROOK (1942)**; **GARDNER** y **Cols. (1969)** y, recientemente **ROMANES (1981)**. E incluso algunos precisan que nunca se inserta en el cuello de la escápula, como el propio **EYRE-BROOK (1942)**.

Igualmente, **GARDNER** y **GRAY (1953)** ofrece su colaboración encontrando que "la parte inferior de la cápsula está siempre insertada en el labio, pero superiormente se extiende pasando la glenoides hasta el cuello de la escápula".

3.- FORMACIONES LIGAMENTARIAS DE LA ARTICULACION DEL HOMBRO.

Si los apartados que venimos desarrollando hasta ahora son interesantes desde el punto de vista descriptivo y clínico, y hemos tenido ocasión de adelantar alguna referencia al respecto, el que vamos a analizar a continuación lo iguala y además, en el caso concreto de la articulación del hombro, plantea una mayor expectación, y si acaso sorpresa, pues los ligamentos del hombro (particularmente los llamados intrínsecos) no sólo son debate de actualidad, sino que su origen, composición y, lo que es más, su existencia se pone en duda. Si bien es cierto que la descripción de su localización, función, etc. se encuentra en los textos y

publicaciones desde los clásicos hasta los actuales. no lo es menos que hoy en día se cuestionan tras los avances en técnicas quirúrgicas y exploratorias, como por ej. es el caso de la artroscopia. Además, a todo ésto se suma que la dificultad de contar con escasos estudios de la articulación del hombro en concreto se evidencia mucho más en estos temas tan particulares y propios de dicha articulación, como los que abordamos de aquí en adelante. Por ello, es conveniente que su estudio depare un análisis individual. Así pues, en esta sección presentaremos los hallazgos bibliográficos dignos de mención en relación a las estructuras ligamentarias.

Ya en los textos usuales (**PATURET, 1951; TESTUT y LATARJET, 1978; ORTS, 1985; WILLIAMS** y **WARWICK, 1985; BOUCHET** y **CUILLERET, 1986; ROUVIERE y DELMAS, 1987,** entre tantos) se describen con municiosidad y detalle cada uno de los ligamentos que de una u otra manera tienen relación con la articulación del hombro, descripción que no viene al caso plasmar en esta obra pero que, evidentemente, sí hay que conocer y tener presente.

Tal y como se viene haciendo, expondremos sistemáticamente cada uno de los ligamentos, tanto los que pertenecen propiamente a la articulación como aquellos que guardan algún tipo de conexión, relación o punto de referencia topográfica comenzando inmediatamente por unos comentarios generales.

En **1852, BRUCH** opina que "el pericondrio que rodea la cavidad pasa de un segmento cartilaginoso a otro para formar la cápsula (como ya se ha apuntado) y los ligamentos".

HAINES (1947) observa "zonas densas donde se formarán los ligamentos, pero no se pueden diferenciar de la cápsula ya que se forman como condensaciones mesenquimatosas".

GARDNER y **GRAY (1953)** en su exposición cronológica detallan que "a los 27 mm. hay fibras de colágena en los diferentes ligamentos. A los 57 mm. todos están definidos pero incluyen células en buena parte. Se observan fibras elásticas dispersas en su espesor a los 235 mm.".

AREY (1962) considera que "los ligamentos se desarrollan como engrosamientos localizados de la cápsula".

ANDERSEN (1963) "observa los ligamentos extracapsulares en un estadío anterior a los 30-32 mm. como condensaciones de hileras celulares en la cápsula, sobre todo el ligamento coraco-humeral en la parte superior. Estadíos posteriores muestran una típica estructura fascicular".

GARDNER (1963) postula que "las estructuras articulares tales como los ligamentos surgen in situ y no experimentan ninguna migración de importancia filogenética".

Para **O'RAHILLY** y **GARDNER (1975)** "los ligamentos están comenzando a condensarse en el estadío 19 (16-18 mm.)".

- Ligamento Glenohumeral Superior:

DE LA VILLA (1952) realiza unas reflexiones muy destacables. Dice que "es muy discutible y se le ha considerado como representante o análogo al ligamento redondo de la cadera". Considera que "no es un ligamento en el sentido que no sujeta la cabeza humeral".

GARDNER y **GRAY (1953)** precisa que "a los 21 mm. se presenta la primera señal a modo de condensación desde el labio glenoideo al troquín uniéndose al ligamento coracohumeral. Este engrosamiento se observa profundo al tendón del supraespinoso y a lo largo

de la cabeza larga del bíceps. A los 30 mm. está bien diferenciado. A término no aparece como una banda libre sino como una zona más o menos gruesa de la cápsula".

- Ligamento Glenohumeral Medio.

ROSENFELD (1898) "lo observa constante durante el desarrollo prenatal y su espesor es mayor en la mitad de este periodo".

GARDNER y **GRAY (1953)** contemplan "a los 27 mm. que no está definido, aunque hay un ligero engrosamiento de la cápsula allí donde aparecerá. A los 30 mm. está representado por dos condensaciones: la más interna como pliegue de la cápsula, y la externa separada del músculo subescapular. Se une al ligamento glenohumeral superior cerca del labio glenoideo y divergen hacia el húmero habiendo un tejido laxo y vascularizado entre ambos. A los 57 mm. se proyecta hacia la articulación como un pliegue, pero no está separado del tejido colindante. A los 60 mm. es claramente manifiesto. A término aparece como una discreta banda libre dependiendo del lugar donde se abre la bolsa del subescapular. Así ocurre cuando ésta se abre entre el superior y el medio. Si no se abre aquí el ligamento medio aparece como un engrosamiento generalizado e inseparable del ligamento superior".

- Ligamento Glenohumeral Inferior:

Destacaremos los hallazgos dados por **GARDNER** y **GRAY (1953)**: "A los 27 mm. no está definido aunque hay un ligero engrosamiento de la cápsula allí donde aparecerá. A los 30-35 mm. parecer ser un engrosamiento de la cápsula continuándose con el medio. A los 37 mm. se separa del medio a través de un tejido denso. A término está representado por un engrosamiento generalizado que se continúa con el ligamento medio, pareciendo ser una parte del mismo. Ocasionalmente se proyecta como un pliegue hacia la

cavidad articular. En un solo caso en el que la bolsa se abre entre el ligamento medio y el inferior, éste se encuentra bien definido y separado del medio".

- Ligamento Humeral Transveso:

BRODIE en **(1890)** "lo observa más marcado en el húmero fetal y su porción superior es fibrocartilaginosa en las etapas fetales".

Para **GARDNER** y **GRAY (1953)** "está comenzando a condensarse en el estadío 19 (16-18 mm.), y a los 35 mm. se aprecia como una condensación celular que salta las márgenes de la parte superior del surco bicipital".

- Ligamento Coracohumeral:

SUTTON (1885) en una teoría muy original aún no demostrada sobre los ligamentos supone que "éste deriva o es parte que ha sufrido una metamorfosis del músculo pectoral menor".

LEWIS (1901) lo observa por primera vez a los 20 mm., mientras que **SIMON (1923)** lo hace a los 25 mm.

DE LA VILLA (1952) considera que "es discutible que el ligamento coracohumeral sea una parte del pectoral menor. La inserción primitiva del músculo pectoral menor está en el troquíter, pero al pasar sobre el proceso coracoides tomaría aquí también inserción, quedando ésta fibrosa y como ligamento. Es discutible pues el pectoral menor embriológicamente es de origen apendicular como lo demuestra su inervación. Pero de la disposición general de la masa pectoral se llega a la conclusión de que fundamentalmente no se puede afirmar la inserción humeral del pectoral menor, y por tanto, considerar el ligamento coraco-

humeral como un tendón del citado músculo. Podría ser en algún caso una anomalía. De cualquier modo, también se podría pensar que es derivado del músculo supraespinoso, tan fijo en la escala zoológica, y no del tan variable pectoral menor. En definitiva, no se debe considerar como un tendón convertido en ligamento".

GARDNER y **GRAY (1953)** destacan que "aparece a los 17 mm. como una condensación celular. A los 35 mm. está unido al ligamento coracoacromial en sus orígenes".

- Ligamento coraco-clavicular:

SUTTON (1885) dentro de su particular teoría piensa que "son fibras degeneradas del músculo subclavio".

LEWIS (1901) "lo observa a los 10,5 mm. como una masa de tejido no bien definido que se extiende desde la masa de tejido condensado que representa la clavícula hacia el proceso coracoides".

GARDNER y **GRAY (1953)** aprecian "a los 12 mm. un pequeño incremento de la densidad en la localización de este ligamento. A los 13 mm. la condensación está más definida, superando como una ancha lámina a la clavícula. A los 17 mm. es densamente celular, más ancho y más extenso. A los 20 mm. se diferencia en los ligamentos trapezoides y conoides. A los 125 mm. hay células grasas en el tejido laxo anterior al ligamento coracoclavicular".

- Ligamento Acromio-Clavicular:

Tan sólo destacar que **LEWIS (1901)** "lo describe a los 16 mm. como muy desarrollado". **ANDERSEN (1963)** "resalta su constitución fibrosa a los 38,5 mm.".

- Ligamento Acromio-Coracoideo:

LEWIS (1901) "llega a distinguirlo a los 20 mm."

GARDNER y **GRAY (1953)** "lo observan a los 13 mm. como una condensación, y a los 35 mm. se encuentra unido en su origen al ligamento coracohumeral".

- Ligamento Transverso Escapular:

De éste destacar sólo la precisión que hacen **GARDNER** y **GRAY (1953)** "al observarlo a los 13 mm. como una condensación fina".

4.- REFUERZOS MUSCULO-TENDINOSOS DE LA ARTICULACION DEL HOMBRO.

Si el papel que desempeñan los músculos y sus tendones en las diferentes articulaciones es importante tanto en la estabilidad como en la mecánica de las mismas, en la articulación del hombro adquiere un protagonismo indispensable. Es bien conocido que esta articulación posee unas superficies articulares más que insuficientes para mantener el equilibrio y la posición a pesar de contar con la ayuda del rodete o labio glenoideo. Esta deficiencia viene a ser suplida por el componente músculo-tendinoso de la articulación, que adquiere con ello una función básica y fundamental en la kinemática articular. De su estado y disposición parece depender en gran medida la presentación frecuente o no de la luxación de hombro.

Abordaremos la exposición de esta sección dividiéndola en dos apartados: El primero tratará los aspectos generales de la evolución muscular de los miembros en cuanto a su origen y en cuanto a algunas reseñas bibliográficas puntuales de la aparición y desarrollo de los músculos. El segundo recogerá los aspectos

particulares de los diferentes músculos y tendones que están relacionados en mayor o menor grado con la articulación del hombro, y así recoger aquellos que puedan servir como referencia a la hora de describir o interpretar las peculiaridades de esta articulación en su propio entorno de la región del hombro. De éstos desgajaremos el que versa sobre el tendón de la cabeza larga del bíceps, que por sus peculiares cualidades y su íntima relación con la articulación merecerá una sección aparte.

a) ASPECTOS GENERALES DEL DESARROLLO DE LOS MUSCULOS Y TENDONES.

Este apartado comprende a su vez dos aspectos: por un lado el análisis de las teorías sobre el origen y factores necesarios para el desarrollo de los músculos; y por otro, el estudio de los datos existentes en diversos estadíos en los que se distingue o resalta algún hallazgo particular del desarrollo de estos músculos.

a.1.) Los investigadores han tratado de conocer el interrogante del origen de los músculos de las extremidades dando diferentes interpretaciones a lo largo de los tiempos; lo que trataremos de plasmar a continuación, al menos con los más relevantes.

LEWIS (1901) comenta que "es difícil precisar, pues faltan datos definitivos, de dónde provienen los músculos: si de las células miotómicas que entran en el miembro o de las que ya están en la porción lateral de la yema o de ambas. Así por ejemplo, el pectoral y el dorsal ancho crecen por migración y el resto lo hace in situ".

TAURE (1930) cree que "son expansiones, al igual que el aporte nervioso, que en la 6ª semana envían varios segmentos a la

raíz del miembro correspondiente y no in situ como opinan otros autores".

Para **PATTEN (1958)** "existe una gran dificultad en determinar el origen exacto del mesodermo que forma los músculos de los brotes apendiculares. La inervación de estos músculos, sin embargo, es tan semejante a la de otras masas musculares de origen somítico que se pueden considerar las masas musculares primitivas de los brotes apendiculares como formaciones derivadas de los grupos de miotomos que se encuentran en los niveles segmentarios en los que tienen su origen los miembros".

AREY (1962) manifiesta que "los esbozos de los miembros son al principio sacos ectodérmicos rellenos de mesénquima. Aproximadamente en el estadío de 9 mm. este mesénquima se condensa en masas premusculares. A partir de ellas se diferencian los músculos del miembro y de la cintura; los proximales son los primeros en aparecer y en todos los niveles surgen primero los extensores y luego los flexores".

MILAIRE (1963) al estudiar el desarrollo de los miembros en el ratón y en el topo, considera que "ante toda modificación estructural, el mesoblasto basófilo subepiblástico crece uniformemente aunque se mantiene su predominancia ventral. Durante esta fase de crecimiento, el epiblasto que reviste estas capas superficiales está desigualmente diferenciado bajo las capas dorsal y ventral de la joven yema. En los estadíos posteriores, cuando el mesoblasto miógeno se individualiza en la periferia, el epiblasto ventral ha quedado más espeso que el dorsal y conserva un contenido más importante de ARN y fosfatasas. Estas observaciones llevan a pensar que la individualización y el crecimiento de las capas del mesoblasto periférico podrían ser tributarias de una influencia epiblástica subyacente; es al menos lo que parece evocar el paralelismo de

las desigualdades dorsoventrales manifestándose en estos dos constituyentes. Los agrupamientos celulares más o menos voluminosos anuncian pronto, en cada capa primitiva homogénea, la individualización de los blastemas premusculares y pretendinosos. Este proceso resulta de un laminado que sobreviene independientemente del sistema nervioso en el seno de las capas del mesoblasto originario de las regiones superficiales de las yemas. Progresa igualmente en sentido próximo-distal. En cada segmento del apéndice, el desplazamiento del material miógeno sigue poco tiempo después de la fase de condensación de los cartílagos subyacentes. El paralelismo que se establece así entre la formación del esqueleto cartilaginoso y el del dispositivo músculo-esquelético permite sorprender las diversas fases de individualización de los músculos escalonados a diferentes niveles del eje próximo-distal de la yema. Es así como ciertos músculos se han individualizado ya en las regiones proximales mientras que su porción tendinosa distal está todavía a punto de constituirse en el mismo sentido".

GARDNER (1963) observa que "aproximadamente a las cinco semanas postfecundación, los músculos individuales se han diferenciado a partir de la porción exterior del blastema. La porción central y avascular es el blastema esqueletal".

BRADLEY (1970), trabajando en embriones de pollo opina que "los músculos de las extremidades, aunque capaces de una diferenciación inicial independiente, requieren un suministro nervioso para continuar su desarrollo normal".

O'RAHILLY y **GARDNER (1975)** establecen que "los componentes músculo-esqueléticos de las extremidades se desarrollan directamente a partir del mesénquima indiferenciado. Se desarrollan in situ".

HAMILTON y **MOSSMAN (1975)** exponen que "los músculos de los miembros superiores (incluyendo la cintura escapular) son inervados segmentariamente por los nervios espinales,pero no ha sido posible investigar en los mamíferos si su origen es miotómico. Muchos de los músculos de la cintura escapular, sin embargo, son de origen miotómico, y parece que la región de transición en el extremo proximal de un miembro debería considerarse como una zona en la que hay una transición indefinida entre la musculatura miotómica y la musculatura in situ. Probablemente, en estadíos más avanzados del desarrollo, el músculo del miembro se extiende hacia el tronco y viceversa. Tales excepciones, sin embargo, no deben ser tomadas para transgredir la conclusión general de que los músculos de los miembros de pájaros y anfibios, y probablemente la de todos los tetrapodos, no son de origen miotómico. La musculatura estriada de las extremidades pares de los vertebrados es realmente de origen mesodérmico. El mesénquima tiene un origen en la placa lateral (somatopléurica). Las células mesenquimáticas prospectivas de los esbozos de los miembros son visibles primero como agregados locales de células somatopléuricas mesodérmicas y junto a su cubierta epidérmica constituyen el esbozo de los miembros. La evidencia sugiere que el crecimiento posterior se debe sólo a la multiplicación de las células que forman el esbozo. No hay evidencias de que exista un aporte posterior de material mesodérmico de alguna otra fuente, incluyendo los miotomos. Excepto las células de Schwann de las fibras nerviosas, los melanoblastos y posiblemente el endotelio de los sistemas vascular y linfático, todos los elementos celulares subepidérmicos de los miembros, incluyendo los de sus músculos, son ahora generalmente considerados como de origen in situ en el mesénquima de los esbozos embrionarios. Puede haber, por tanto, pocas dudas sobre la diferenciación in situ de los músculos intrínsecos de los miembros. Las observaciones de la Anatomía Comparada y la inervación adulta, sin embargo, se siguen citando

como justificativos para dar la hipótesis de que los músculos de los miembros son de origen segmentario y derivados de los somitos".

Aproximadamente entre 1975 y 1981 se suceden diversas tendencias con un punto de referencia similar. Por un lado **CHEVALLIER** y **Cols. (1976** y **77)**; **KIENY** y **Cols. (1979)**; **KIENY** y **CHEVALLIER (1980)**; **MAUGER** y **KIENY (1980 a,b)** exponen en sus estudios realizados en aves que "las células derivadas de los somitos que invaden el mesodermo somatopleural de la extremidad constituyen un linaje celular miógeno distinto". **CHRIST** y **Cols. (1979)**, desarrollando su trabajo igualmente en aves, se manifiestan en el sentido de que "las células musculares de la extremidad tienen su origen exclusivamente en las células derivadas de los somitos, es decir, que las células somatopleurales no son capaces de contribuir a la musculatura propia". En relación a estos hallazgos **Mc LACHLAN** y **HORNBRUCH (1979)** y **MAUGER** y **KIENY (1980 a,b)** basados en sus experimentos en aves, demuestran que "las células somatopleurales pueden también, en relaciones topográficas anormales, dar lugar a miocitos. Esta capacidad se debe a una cierta inestabilidad fenotípica de las células mesenquimales somatopleurales". **CHRIST** y **Cols. (1974, 77)**; **CHEVALLIER** y **Cols. (1976, 77)**; **CHEVALLIER (1978)**, trabajando en aves; y **JACOB** y **Cols. (1978)** haciéndolo en pollos, dicen que "las células que abandonan los somitos entran en el mesodermo somatopleural de la extremidad y forman células musculares estriadas de la yema del miembro específico". Por otro lado, **ZWILLING (1966)**; **SEARLS** y **JANNERS (1969)** y **CAPLAN** y **KOUTROUPAS (1973)** utilizando embriones de pollo concluyen que "hay un gran cuerpo de evidencias en la literatura que sugiere que existe una multipotencialidad de las células mesenquimatosas de la extremidad". Dicen que "dichas células inicialmente son inestables en cuanto a sus rasgos fenotípicos y que se estabilizan después cuando su área miogénica y condrogénica ya

están formadas". Incluso, opinan autores como **NOGAMI** y **URIST (1970, 74)**; **NATHANSON** y **Cols. (1978)** y **NATHANSON y HAY (1980)** que "en etapas más avanzadas cuando la diferenciación se supone que ha terminado, los músculos esqueléticos embrionarios todavía mantienen la capacidad de formar cartílago al ser cultivadas in vitro sobre una matriz de hueso desmineralizado". Para **KIENY** y **Cols. (1981)**, en sus experiencias en embriones de pollo," durante el desarrollo normal, las líneas celulares condrogénicas y miogénicas tienen diferentes orígenes y destinos especiales, pero mantienen durante un periodo considerable del desarrollo la capacidad de diferenciarse o desviarse de sus vías normales y de adaptarse de forma armoniosa con sus condiciones ambientales anormales".

WILLIAMS y **WARWICK (1985)** opinan que "la musculatura de los miembros se desarrolla in situ a partir del mesénquima que rodea los elementos esqueléticos".

MOORE (1985) se pronuncia de igual modo pensando que "los músculos de las extremidades se desarrollan in situ a partir del mesénquima que rodea a los huesos en desarrollo. En general, se cree ahora que no hay migración del mesénquima desde las zonas miotómicas de los somitos para formar los músculos de las extremidades. El mesénquima de éstas que da origen a los músculos deriva de la capa somática del mesodermo lateral".

SADLER (1986) considera que "los primeros indicios de la formación de los músculos de las extremidades aparecen en la séptima semana en forma de condensación del mesénquima que se encuentra próximo a la base de los esbozos. En el embrión humano este mesénquima deriva del mesodermo somático; desde allí emigra hacia los esbozos de las extremidades".

a.2.) A continuación, tal como hemos indicado ya, presentaremos algunos datos referentes a hallazgos más puntuales del desarrollo muscular de las extremidades que pueden ser resaltados de la bibliografía existente.

LEWIS (1901) precisa que "a los 9 mm. se observan las masas premusculares, diferenciándose del tejido adyacente por su aspecto fibrilar. A los 20 mm. se aprecian todos los músculos que están presentes en el adulto, y los tendones se delimitan con mayor facilidad".

HAINES (1947) "observa las masas premusculares a los 10 mm., y algunas siguen continuándose con el blastema esquelético. A los 10,5 mm. las masas musculares se hacen más densas. A los 13 mm. los músculos pueden ser reconocidos individualmente, ocurriendo lo mismo con los tendones cercanos a la cápsula a los 21 mm.".

GARDNER y **GRAY (1953)** establecen que "a los 23 mm. todos los tendones y músculos de la vecindad de la articulación del hombro están bien diferenciados. A los 235 mm. los tendones que se insertan en los tubérculos humerales se unen gradualmente con el cartílago hialino de tal modo que se encuentra aquí una zona transicional".

Para **GASSER (1975)** "la frontera de la octava semana (21-30 mm.) es donde se pueden distinguir todos los músculos esqueléticos y su inervación".

En este mismo sentido **O'RAHILLY** y **Cols. (1981)** "establecen la fecha del estadío 21 (22-24 mm.) para identificar todos los músculos del miembro superior".

b) ASPECTOS PARTICULARES DEL DESARROLLO DE LOS MUSCULOS Y TENDONES DE LA ARTICULACION DEL HOMBRO.

Se irán presentando a continuación, tal y como ya se ha precisado, los hallazgos más válidos de los músculos y tendones que de una u otra forma guardan relación o deparan especial interés referencial, topográfico y/o descriptivo con la articulación del hombro, con la misma sistemática que se viene empleando hasta el momento.

- Supraespinoso:

LEWIS (1901) distingue que "a los 10,5 mm. la porción que está en la cara medial del cuarto inferior de la escápula es diferenciable, pero después de pasar el acromion es inseparable por su conexión con el infraespinoso, deltoides y pectoral. A los 16 mm. surge del borde anterior de la escápula hacia el troquíter".

GARDNER y **GRAY (1953)** lo observan "a los 17 mm. como una densificación poco diferenciable. A los 20 mm. lo aprecian más definido e insertándose en el húmero. A los 60 mm. está más vascularizado, especialmente cerca de sus inserciones. A término la unión con la cápsula al insertarse hace imposible diferenciar ambas estructuras".

- Infraespinoso:

LEWIS (1901) puntualiza que "a los 16 mm. no se puede separar del redondo menor, surgiendo de la porción anterior de la cara lateral de la escápula e insertándose en el troquíter. A los 20 mm. ocupa la línea media de la cara lateral de la escápula y pasa bajo el deltoides hacia el troquíter".

GARDNER y **GRAY (1953)** aprecian las mismas circunstancias que las comentadas para el supraespinoso, es decir: "lo observan como una densificación a los 17 mm., más definido e insertándose en el húmero a los 20 mm., más vascularizado a los 60 mm., y a término imposible de diferenciar de la cápsula en el lugar de inserción".

- Redondo mayor:

Se recogen para ilustrar esta estructura los hallazgos de **LEWIS (1901)** que "observa a los 10,5 mm. al redondo mayor y al dorsal ancho unidos en su extremo humeral. A los 20 mm. es interesante observar el tendón del dorsal ancho retorciéndose alrededor del borde inferior del redondo mayor para insertarse junto a él en el húmero.

- Redondo menor:

LEWIS (1901) lo distingue "a los 10,5 mm. no por la línea de separación con el infraespinoso o el deltoides. sino por su diferente inervación. A los 16 mm. está unido al infraespinoso".

GARDNER y **GRAY (1953)** lo observan "como una condensación celular poco diferenciable a los 17 mm., estando más definido a los 20 mm.".

- Subescapular:

LEWIS (1901) lo presenta "a los 10,5 mm. surgiendo de la cara medial de la escápula y pasando entre el proceso coracoides y el húmero. El nervio circunflejo separa una porción del subescapular del redondo mayor, pero las porciones escapulares de ambos están prácticamente unidas, así como la cabeza larga del tríceps. A los 16 mm. ocupa la porción central de la cara medial de la escápula y separado del redondo mayor pasa bajo el proceso

coracoides hacia el troquín del húmero. A los 20 mm. surge de la mayor parte de la cara medial de la escápula. Su tendón de inserción es ancho y delgado, uniéndose a la cápsula".

GARDNER y **GRAY (1953)** lo precisan "a los 17 mm. poco diferenciable como una densificación celular. A los 20 mm. está más definido insertándose en el húmero".

- Pectoral mayor y menor:

LEWIS (1901) distingue "a los 10,5 mm. tanto al pectoral mayor y menor unidos en una masa muscular común, la cual está bien diferenciada del tejido que la rodea. Forma una masa ovalada que se extiende desde el nivel de la segunda costilla a la porción proximal del húmero. El lado medial de la masa se curva hacia el proceso coracoides y representa al pectoral menor. A los 16 mm. la masa pectoral se extiende ahora a modo de una lámina amplia y delgada que se separa en el mayor y en el menor. Las porciones clavicular y esterno-costal del pectoral mayor están separadas por un espacio considerable. El pectoral menor se distingue surgiendo de la segunda, tercera y cuarta costillas hacia el proceso coracoides. A los 20 mm. están más desarrollados y separados uno del otro mediante una capa considerable de tejido mesenquimal laxo que se sitúa entre ambos".

DICKSON y **O'DELL (1952)** comentan que "en embriones de 9 y 11 mm. el pectoral mayor y menor están fundidos en una masa común. En embriones mayores, el pectoral menor ha comenzado a definirse como un músculo independiente a la vez que se desplaza hacia la coracoides".

- Coracobraquial:

Una vez más, **LEWIS (1901)** da cuenta "a los 10,5 mm. de su

situación medial al húmero, extendiéndose desde el proceso coracoides hacia el húmero, caminando junto al bíceps. A los 20 mm. está íntimamente conectado a la cabeza corta del bíceps en la mayor parte de la longitud del coracobraquial".

- Deltoides:

Para **LEWIS (1901)** "a los 10,5 mm. se extiende desde el acromion, clavícula y fascia del infraespinoso hacia el húmero. Está muy próximo o casi unido al infraespinoso, sólo distinguibles por su diferente inervación. A los 16 mm. se parece en la forma y en las inserciones a las del adulto. A los 20 mm. está más desarrollado".

- Trapecio:

Igualmente, **LEWIS (1901)** observa que "a los 10,5 mm. el borde anterior del trapecio se inserta en la escápula y en la clavícula. A los 20 mm. hay una inserción tendinosa hacia la clavícula y hacia la fascia o tejido condensado en la superficie del infraespinoso entre el trapecio y el deltoides".

5.- TENDON DE LA CABEZA LARGA DEL BICEPS.

Si bien el análisis de este elemento debería haberse realizado en la sección anterior por ser un componente muscular y tendinoso de la articulación del hombro, creemos conveniente dedicarle una sección monográfica, pues la relación que guarda con dicha articulación es más que estrecha, incluso se podría decir que forma parte de la misma; y además, su desarrollo, disposición y participación en ella constituye, por sí solo, un tema ampliamente estudiado, debatido y no del todo conocido en la actualidad, lo que le otorga un mayor interés.

Y así, la primera cuestión que se plantea está en base a dilucidar si el tendón se desarrolla in situ o migra hasta alcanzar su posición habitual. Sin menoscabo de ofrecer la opinión de cada uno de los autores por separado, adelantemos la situación en relación a este planteamiento.

Los primeros que tratan este análisis son **LUSCHKA (1858)** y veinte años más tarde **WELCKER (1878)** (aunque este último no hace referencia ni cita bibliográfica de aquél), estando de acuerdo en considerar que el tendón migra. Los estudios posteriores, **SIMON (1923), NEALE (1937), HAINES (1947)** y más recientemente **GARDNER** y **GRAY (1953)** y **ANDERSEN (1963)**, coinciden en manifestar que el desarrollo del tendón se produce in situ.

Se exponen a continuación las observaciones, de manera individual, de éstos y otros autores sobre los datos y hallazgos más significativos en relación al tendón de la cabeza larga del bíceps.

Ya se ha precisado como **LUSCHKA (1858)** y **WELCKER (1878)** opinaban al respecto, postulando que "este tendón migra a través de la cápsula y de la membrana sinovial".

LEWIS (1901) observa que "a los 16 mm. el bíceps está más alargado y muestra más separación entre sus cabezas que en estadíos anteriores. La cabeza larga todavía surge de la base del proceso coracoides (mientras que la corta lo hace en común con el músculo coracobraquial desde la punta del proceso coracoides). A los 20 mm. la cabeza larga surge ahora de la unión de la coracoides y la cabeza escapular, discurriendo a lo largo del surco bicipital. (La cabeza corta y el coracobraquial están íntimamente conectados en la mayor parte de la longitud del coracobraquial)".

Para **SIMON (1923)** "el tendón de la cabeza larga se puede distinguir a los 20 mm. en forma de una condensación dentro de una cápsula fibrosa". Piensa que "se desarrolla in situ, intracapsular, y por tanto, que no migra a través de la cápsula".

De modo similar se manifiesta **NEALE (1937)**, "distinguiéndolo a los 22 mm. y creyendo igualmente que se desarrolla in situ".

HAINES (1947) también considera que "el curso del desarrollo embriológico no da ningún indicio de migración del tendón a través de la cápsula, tal y como se creía a partir de las evidencias anatómicas en el curso de la filogenia".

En la línea de **GARDNER** y **GRAY (1953)**, es decir, de un modo preciso, cronológico y sistemático exponen: "A los 13 y 14 mm. el tendón de la cabeza larga del bíceps está representado por una condensación que se continúa con una densa zona celular situada en la porción antero-superior de la interzona. A los 17 mm. esta condensación se fusiona con la del labio glenoideo y lo sobrepasa a través de la interzona. A los 21 mm. se sitúa cerca de su origen en la porción periférica de la interzona, profundo a la condensación que representa la cápsula. El tejido sinovial laxo que contiene una cavidad primitiva le separa de la cabeza humeral. A los 22 mm. es densamente celular y a los 23 mm. se hallan algunos capilares en el tejido laxo que rodea el tendón. A los 25 mm. se aprecia una cavidad entre el tendón y la cabeza humeral, extendiéndose un poco hacia el surco bicipital profundo al tendón. Donde no está próximo a la cavidad se sitúa cerca del mesénquima sinovial. Entre 28-50 mm. la cavidad entre el tendón y la cabeza del húmero se extiende más pero sin llegar a circundarlo. Entre ambos hay una capa de tejido menos laxo. A los 60 mm. aumenta de tamaño por su mayor contenido en colágena aunque sigue siendo densamente celular y no contiene vasos sanguíneos. A los 95 mm. el tendón se sitúa libre por primera vez

en la cavidad articular. A los 110 mm. se observan capilares en toda su longitud, siendo más numerosos en la porción cercana al labio glenoideo. A los 198 mm. aparecen pequeños lóbulos grasos a lo largo del surco bicipital. A los 235 mm. la cubierta del tendón es algo más gruesa, sostenida por unas fibras perpendiculares al tendón. A los 253 mm. hay células grasas aisladas en el propio mesotendón, el cual contiene vasos sanguíneos y fibras elásticas agrupadas".

KISILEV (1956) afirma que "el tendón y la cápsula fibrosa forman una misma entidad en los primeros estadíos del desarrollo y que más tarde el tendón se separa o se libera de la cápsula".

ANDERSEN (1963) "distingue el tendón a los 18 mm. como una condensación incipiente de células sin límite definido del mesénquima, de la interzona y del labio. Proximalmente está rodeado por todos lados por el mesénquima de la interzona, quedando libre en la porción distal y posterior al surco bicipital". Resalta que "los siguientes estadíos muestran de manera clara que primariamente se desarrolla intracapsular en la interzona, siendo visibles las hileras celulares de la cápsula articular periféricas al tendón. A los 23 mm. es un cordón denso, celular, rodeado por un tejido laxo similar en el aspecto al de la interzona. A los 26 mm. existe un claro surco bicipital para el tendón. El tejido que rodea a éste sufre una alteración, haciéndose, como la capa intermedia de la interzona, mucho más laxo. Este hecho es más marcado entre el tendón y el surco bicipital y entre él y la cabeza humeral. Hay un tejido similar pero algo más denso entre el tendón y la cápsula. Proximalmente se une con el exterior del labio y hacia el pericondrio en el lugar de la tuberosidad supraglenoidea. A los 30 y 32 mm. alrededor de la cabeza larga del bíceps aún no hay cavidad articular aunque el tejido que lo rodea es muy laxo. A los 36 mm. el proceso de desaparición de la interzona es particularmente

rápido entre el tendón y la cabeza humeral, de tal modo que la cavidad articular ya ha aparecido en este estadío. La cavidad no se extiende alrededor del tendón, el cual queda así suspendido de la cápsula fibrosa por una reflexión de tejido laxo. A los 42-45 mm. la cavidad articular es similar a la del adulto excepto en el hecho de que aún no existe entre el tendón del bíceps y la cápsula fibrosa, circunstancia que se hace evidente a los 84 mm. En este estadío (84 mm.) se observan todavía transiciones entre el labio glenoideo y la inserción del tendón de la cabeza larga del bíceps".

II.- JUSTIFICACION

La elección de la articulación del hombro como materia y objetivo a estudiar en el presente trabajo de investigación con la importante particularidad de constituir cuerpo de una Tesis Doctoral, hemos de confesar, en honor a la verdad, que no nos presentó ningún obstáculo. Y no lo ha sido por varias razones:

En primer lugar porque el estado actual del conocimiento de su morfogénesis y desarrollo ofrece un campo aún muy abierto, es decir, sin determinar con claridad y con algunos puntos de gran interés confusos por el momento. Baste mencionar algunos de ellos, expuestos ya en el capítulo anterior cuando se presentaba la introducción y se planteaba el tema, desde las lagunas y falta de tratamiento bibliográfico con profundidad y, por ello, falta de datos y consideraciones suficientes, hasta los interrogantes más llamativos en relación con alguna de las estructuras de la articulación, como la aparición y formación de la cavidad articular, superficies articulares, cápsula articular, material de origen y desarrollo del labio articular, presencia y papel de los ligamentos capsulares, conformación y significación morfológica y funcional de los músculos periarticulares, o mejor, de sus respectivos tendones, y en especial del origen y disposición del tendón de la cabeza larga del bíceps por su íntima relación con el sistema articular, y así un amplio etcétera que a priori y sólo con este primer razonamiento hacen válida y sugestiva esta labor de investigación. Pero aún destacaremos algún otro elemento de juicio y no menos importante a tener en cuenta.

Y así en segundo lugar, no sólo es la vertiente morfológica o anatómica estricta la que está pidiendo su tratamiento, sino que también la vertiente clínica, si acaso con más intensidad, requiere la opinión del especialista en Embriología, es decir, en los momentos en que suceden los procesos de morfogénesis y

desarrollo de la articulación del hombro para aportar todo aquello que facilite la comprensión en el diagnóstico y tratamiento de diversos cuadros clínicos tan frecuentes como la luxación recidivante en sus diferentes grados, o la importancia en la realización y el éxito de técnicas diagnósticas y/o terapéuticas como es la artroscopia. De aquí se deduce o deriva el comentario que hemos realizado en el capítulo anterior en el sentido de la existencia de una demanda clara que reclaman especialidades médicas como la Traumatología o la tan en moda, hoy en día, Medicina Deportiva, requiriendo un estudio puntual y amplio del origen y desarrollo de los diferentes aspectos anatómicos que presenta la articulación del hombro.

Se hace claro y manifiesto al revisar la bibliografía relacionada con la articulación del hombro, tanto en su génesis y desarrollo como sobre las características y detalles de las diferentes estructuras que la componen, la falta de un tratamiento concreto y específico de la articulación. En general hay que ir entresacando datos que se refieran a la articulación escápulo-humeral de trabajos que bien consideran el desarrollo general de las articulaciones o del aparato locomotor, o bien hacen algún tipo de referencia clara o solapada al analizar otra articulación. De la primera posibilidad sirven de ejemplos por sí solos una gran parte de trabajos que se citan en el apartado de bibliografía, como los de **CELESTINO (1945), HAINES (1947), ZWILLING (1961), HAMILTON** y **MOSSMAN (1975)**, entre tantos; o sobre estructuras que constituyen las articulaciones, como por ejemplo las publicaciones de **DAVIES (1946,50)** y **BARLAND** y **Cols. (1962)** en relación a la membrana sinovial o **DRACHMAN** y **SOKOLOFF (1966)** y **RUANO** y **Cols. (1978,80,85)** que tratan aspectos funcionales en base a la repercusión del movimiento, y muchas más citas a las que podríamos aludir, pero que no lo hacemos pues ya son tratadas con suficiente extensión y finalidad concreta y adecuada en los correspondientes apartados. De la segunda, el caso más frecuente,

tal vez porque sea la articulación a la que se le ha prestado mayor atención, es el de la rodilla, y así tenemos ejemplos en la bibliografía de diversos autores como **GRAY** y **GARDNER (1950)**, **PALACIOS** y **RHODE (1980)**; o bien **GARDNER** y **Cols. (1957)** al analizar la mano; o **ANDERSEN (1962)** al hacer lo propio con la articulación del codo.

Pocos son los autores que dedican de un modo específico su estudio a la articulación del hombro, aunque por supuesto los hay. Y así por ejemplo se encuentran en las citas bibliográficas trabajos dedicados, en mayor o menor grado, al estudio de la citada articulación. Valgan como ejemplos las obras de **GARDNER** y **GRAY (1953)**, **ANDERSEN (1963)** y pocos más. De todos modos incluso las obras más especializadas aportan hallazgos, referencias que adolecen de tener una cadencia evolutiva y, si parece tenerla, los datos que presentan son insuficientes para poder llegar a conclusiones o contribuciones que puedan alcanzar repercusiones morfológicas o funcionales de considerable valor y aplicación.

Esto sí constituye una dificultad de partida, pues incluso hay una falta de unanimidad de criterios sobre el desarrollo de la articulación o de las estructuras que de algún modo tienen alguna relación significativa, y máxime aún cuando se intenta establecer el origen y evolución de los distintos elementos o formaciones que toman parte en la organización, en general, del sistema articular del hombro, acentuándose aún más al referirse a los estadíos correspondientes al periodo embrionario y fetal temprano.

Por lo tanto, y a la vista de la situación en la que se encuentra la investigación, no ya sólo del desarrollo general de las articulaciones más o menos aplicable a cada circunstancia en concreto, ni de las diferentes articulaciones en particular, por supuesto con clara predilecció por algunas de ellas como el de

la rodilla, sino específicamente en el caso de la articulación que se ha convertido en el objetivo fundamental de esta Tesis Doctoral, cual es la reiterada ya articulación del hombro o escápulo-humeral; y a la vista del papel importante que juega en el aspecto clínico en general y más decisivamente en especialidades donde la presencia de esta articulación, tanto desde el prisma diagnóstico, terapéutico, etc. es real y relativamente considerable, se plantea, en relación a la primera situación, la necesidad y, en nuestro caso, el objetivo y el reto de intentar establecer el correspondiente horario morfogénico de la articulación del hombro en especímenes humanos durante los periodos embrionario y fetal temprano. Asimismo, y derivado de ésto último y en relación con la segunda situación poder describir y precisar con la mayor profundidad posible aquellos detalles de la propia formación y desarrollo de la articulación, así como de las estructuras que con mayor o menor intimidad con la misma desempeñan un papel importante en su actividad mecánica y funcional.

La intención en estos primeros momentos, a nuestro juicio, de la elaboración de este trabajo de investigación sobre la articulación del hombro es importante, válida y por todo lo expuesto más que justificada.

El punto de partida y las líneas a seguir están bien definidas; ahora resta recorrerlas y alcanzar los objetivos previstos.

III.- MATERIAL Y METODOS

Para la elaboración de la presente Tesis Doctoral hemos revisado la colección de embriones y fetos humanos pertenecientes a las Embriotecas del Instituto Universitario "Federico Olóriz" y del Departamento de Ciencias Morfológicas de la Universidad de Granada. Igualmente, hemos recurrido a la Embrioteca del Departamento de Ciencias Morfológicas de la Facultad de Medicina de la Universidad Complutense de Madrid para poder completar el estudio de algún estadío específico, concretamente un embrión de 15 mm. de longitud, que nos ha facilitado poder obtener datos importantes y complementarios, para de esta forma no romper la cadencia cronológica de nuestras observaciones y resultados y, como es lógico, contar con un análisis y un seguimiento de la morfogénesis y desarrollo de la articulación del hombro lo más exacto y evolutivo posible.

Los ejemplares fueron examinados de forma seriada, analizando el origen y desarrollo embriológico y fetal de los elementos constitutivos del esbozo de miembro superior en general y de forma particular, una vez que hace su aparición, de la articulación del hombro humano.

Los embriones y fetos humanos estudiados tienen una edad que oscila entre los 28 días y las 14 semanas del desarrollo, con una longitud que abarca desde los 5 mm. a los 102 mm.

Para que el estudio pudiera ser desarrollado de una manera sistematizada, cronológica y en definitiva coherente, y de este modo evitar repeticiones tan innecesarias como improductivas y, a la vez, poder ofrecer una visión evolutiva del desarrollo de la articulación del hombro por etapas o períodos, tanto en la época embrionaria como fetal temprana, se decidió agrupar y presentar las observaciones y comentarios pertinentes, así como los resultados, de una forma no individualizada (ejemplar por ejemplar) sino más colectiva y secuencial. Así pues, todos los

datos que nos aportan los diferentes ejemplares pertenecientes a un mismo estadío del desarrollo se han centrado en unos protocolos que vienen a representar y a ofrecer una idea panorámica y completa de los sucesos más significativos y característicos de cada una de las fases del período embrionario y fetal temprano. Esta será, pues, la sistemática que seguiremos en la exposición de los capítulos siguientes, ilustrando el primero de ellos, referente a observaciones y comentarios, con las imágenes más representativas de cada uno de los períodos mencionados.

A continuación, en este mismo capítulo, se expone todo el material analizado perteneciente a las Embriotecas ya citadas y al que se le ha aplicado la metodología que más adelante comentaremos, reseñando asimismo la longitud y el estadío o período al cual pertenece.

La selección final del material embrionario y fetal queda reflejada en diecisiete protocolos, de los cuales once se refieren al período embrionario y seis al periodo fetal temprano. En ellos quedan incluídas un total de sesenta y cuatro láminas, treinta y ocho correspondientes al período embrionario y veintiséis al fetal temprano. A su vez, éstas recogen doscientas siete microfotografías, ciento diez y siete del primer período citado, y noventa del segundo, acompañadas de sus respectivas explicaciones de figuras, en este caso a modo de comentarios breves, constituyendo la iconografía inédita u original de la presente tesis.

MATERIAL

Se presentan y detallan a continuación los diferentes ejemplares humanos tanto en edad embrionaria como fetal que se han analizado en este estudio, siguiendo un orden cronológico de menor a mayor tamaño y edad.

PERIODO EMBRIONARIO

- **Estadío 13 de O'Rahilly:**
  - Embrión humano: P.T.-8, de 5 mm.

- **Estadío 14 de O'Rahilly:**
  - Embrión humano: M.A.-4, de 5,5 mm.
  - Embrión humano: J.D.-8, de 6 mm.

- **Estadío 15 de O'Rahilly:**
  - Embrión humano: J.D.-1, de 8 mm.
  - Embrión humano: J.D.-4, de 8 mm.

- **Estadío 16 de O'Rahilly:**
  - Embrión humano: J.D.-3, de 10 mm.

- **Estadío 17 de O'Rahilly:**
  - Embrión humano: J.D.-6, de 12 mm.
  - Embrión humano: J.D.-5, de 13 mm.

- **Estadío 18 de O'Rahilly:**
  - Embrión humano: N.O. de 15 mm.
  - Embrión humano: S.G.-1, de 15 mm.

- **Estadío 19 de O'Rahilly:**
  - Embrión humano: G.G.-1, de 17 mm.
  - Embrión humano: B.E.-1, de 17 mm.
  - Embrión humano: X.-12, de 18 mm.

- **Estadío 20 de O'Rahilly:**
  - Embrión humano: E.H.-19, de 19 mm.
  - Embrión humano: J.D.-19, de 19 mm.
  - Embrión humano: B.B.-5, de 20 mm.
  - Embrión humano: J.D.-2, de 20 mm.
  - Embrión humano: J.D.-7, de 20 mm.
  - Embrión humano: P.T.-9, de 20 mm.

- **Estadio 21 de O'Rahilly:**
  - Embrión humano: M.A.-7, de 22 mm.
  - Embrión humano: X.-6, de 22,5 mm.
  - Embrión humano: P.E.-8, de 23 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.-4, de 31 mm.

PERIODO FETAL

- **9ª semana del desarrollo:**
  - Feto humano: H.-23, de 33 mm.
  - Feto humano: M.A.-4, de 35 mm.
  - Feto humano: X.-12, de 35 mm.
  - Feto humano: C.A.-1 (Serie B), de 35 mm.
  - Feto humano: R.I.-1, de 36 mm.
  - Feto humano: B.B.-1, de 39 mm.
  - Feto humano: H.-19, de 39 mm.

- **10ª semana del desarrollo:**
  - 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 (Serie B), de 44 mm.
  - Feto humano: G.V.-1, de 45 mm.
  - Feto humano: M.A.-3, de 46 mm.
  - Feto humano: S.A.-3, de 48 mm.

- **11ª semana del desarrollo:**
  - Feto humano: M.A.-2, de 50 mm.
  - Feto humano: X.-8, de 50 mm.
  - Feto humano: M.A.-1, de 52 mm.
  - Feto humano: B.B.-3, de 53 mm.
  - Feto humano: X.-11, de 53 mm.

- **12ª semana del desarrollo:**
  - Feto humano: H.-4 (Serie A), de 62 mm.
  - Feto humano: S.A.-4, de 65 mm.
  - Feto humano: P.E.-3, de 70,5 mm.

- **13ª semana del desarrollo:**
  - Feto humano: J.M.-1, de 80 mm.
  - Feto humano: O.L.-1, de 83 mm.

- **14ª semana del desarrollo:**
  - Feto humano: Z.O.-2, de 102 mm.

METODOS

Los ejemplares que acabamos de citar y que constituyen el material a estudiar fueron preparados, en su día, por los respectivos servicios de las citadas Embriotecas, siguiendo las técnicas habituales de laboratoric. 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 P.F. a 58º-60º. Con posterioridad se cortaron los bloques en series transverso-horizontales, todos ellos excepto los designados como E.A.-3, A.M.-1, X.-8 y Z.O.-2, que lo fueron sagitalmente. El grosor de corte fue de 8 micras de espesor para los ejemplares comprendidos en el período embrionario, y de 10 micras de espesor para los del fetal. La tinción de los citados cortes se hizo en la mayor parte a base de la clásica técnica de tinción de Hematoxilina de Harris y Eosina, mientras que en algunos otros se siguió la técnica de Hematoxilina de Harris más V.O.F. de **GUTIERREZ** y **Cols. (1963)**, la cual, por ser menos conocida, describiremos someramente a continuación; cosa que no haremos con la primera debido a su uso tan extendido y habitual en las técnicas de laboratorio.

La técnica de Hematoxilina de Harris más V.O.F. sigue, expuesta de manera escueta y simplificada, los siguientes pasos sucesivos:

- Desparafinar.
- Agua destilada.
- Hematoxilina acetificada, de 3 a 5 minutos.
- Virar con agua corriente.
- Lavar con agua corriente y escurrir.

- Colorante V.O.F. 3 ó 4 minutos.
- Lavar ligeramente con agua destilada.
- Deshidratar cuidadosamente con papel filtro y ligera presión.
- Etanol absoluto, tres pases.
- Xilol, dos cambios.
- Montaje con bálsamo.

Para la preparación del colorante V.O.F. se deben seguir las consideraciones y maniobras siguientes:

- Disponer de un mortero químicamente limpio y seco y mezclar en él los siguientes productos:

- Verde luz S.F. amarillento ..... 0,2 grs.
- Orange G ..... 0,25 grs.
- Fucsina ácida ..... 0,30 grs.

Se obtiene un polvo castaño uniforme.

- Poner agua destilada a más de 90º....50 ml.
- Agitar hasta disolver el polvo.
- Enfriar la temperatura del agua.
- Añadir:
  Acido fosfotúngstico ..... 0,75 grs.
  Acido acético glaciar ..... 1,5-2 grs.
  Etanol absoluto ..... 100 ml.

El colorante obtenido se puede guardar por tiempo indefinido en frasco de topacio.

Por último, se ha realizado un estudio seriado morfodescriptivo, corte a corte, bajo un microscopio óptico convencional Orthoplan, con cámara fotográfica Vario-Orthomat 2, de una serie de planos de sección de los diferentes embriones y fetos.

Se eligieron de la seriación aquellos planos que consideramos de mayor utilidad para cumplir el objetivo de nuestro trabajo de investigación en relación con la morfogénesis y desarrollo de la articulación del hombro.

IV.- OBSERVACIONES Y COMENTARIOS

Tal y como se ha expuesto en el capítulo anterior, dedicado a relatar el material y los métodos utilizados en la realización de la presente Tesis Doctoral, el estudio se ha unificado protocolizando los ejemplares examinados y así obtener un espectro amplio y suficiente, pero a la vez, conciso, real e ilustrativo del desarrollo de la articulación del hombro en los diferentes estadíos, ya mencionados, de los periodos embrionario y fetal temprano.

Este es, pues, el capítulo y el momento de presentar las imágenes más claras y que mejor evidencien el desarrollo y la cronología evolutiva de esta articulación, y en concreto de algunos detalles tanto en su vertiente o proceso general como en aquellas parcelas del mismo que por su interés, relevancia morfológica y científica, o bien por su desconocimiento, alcancen la entidad suficiente para ello, y por supuesto, tengamos la oportunidad de observar y estudiar.

Asimismo, se señalan en las fotografías diversos signos y guarismos que vienen a ser reflejados en unas breves reseñas o comentarios aclaratorios o complementarios y previos, que las acompañan con el objeto de obtener ya una primera información y presentación lo más clara y orientativa posible, no dejándola relegada a la simple y austera exposición de láminas o figuras con alguna identificación, y a veces sin ella.

De este modo se pueden ir perfilando los hallazgos más definidos o característicos de cada uno de los ejemplares y, por ende, de cada una de las etapas del desarrollo de la articulación escápulo-humeral, y a la vez, centrar y comenzar a dirigir las líneas fundamentales a tratar o a tener en cuenta en la labor científica de este trabajo de investigación.

PERIODO EMBRIONARIO

P R O T O C O L O -1-

(Estadío 13 de O'Rahilly)

Estadío 13 de O'Rahilly.
Embrión Humano de 5 mm.

Explicación de Figuras:

1.1 a 1.2.a

Dos planos de sección y sus respectivos detalles a mayor aumento.

El esbozo del miembro superior derecho ofrece en los planos horizontales el típico aspecto de paleta que le caracteriza. Tal esbozo emerge de la pared lateral a una altura coincidente con la sección de la pars pilórica del intestino truncal anterior y con el punto donde el segmento proximal de la vena vitelina derecha se incurva ventralmente para buscar la porción más declive del seno venoso.

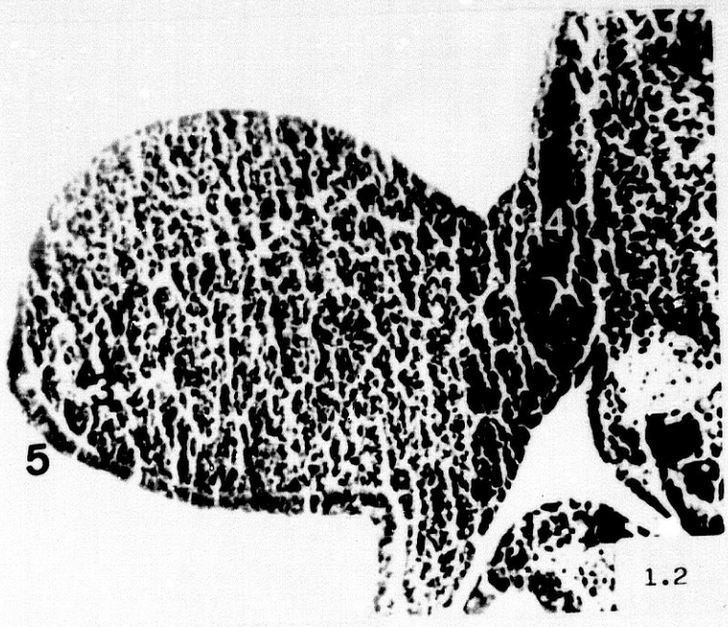
En la base de los rodetes urogenitales discurre la vena cardinal posterior **(1)**, a una altura donde las dos aortas dorsales se han unido previamente en dirección distal en una aorta única **(2)**.

Inmerso en el mesénquima indiferente del esbozo hay signos incipientes de organización de la vena marginal **(3)**, pero aún no existe una clara condensación proliferativa que denuncien formaciones futuras de blastemas musculares o de tejido condrógeno, salvo en la misma raíz de implantación del esbozo en su continuidad hacia el dorso, donde se pueden observar células somíticas **(4)**.En el vértice y margen ventral del epiblasto de cubierta del esbozo aparece una placa epiblástica **(5)** que denuncia la organización de la cresta apical.

De los dos planos de sección, el **1.2** es el más caudal, y corresponde a la altura donde se va a agotar el esbozo del miembro referido, por lo que su base de implantación es más angosta que el de la fig. **1.1**, que corresponde aproximadamente al plano medio del espesor del anlage.

1.1

1.1.a



1.2

1.2.a

P R O T O C O L O -2-

(Estadío 14 de O'Rahilly)

Estadío 14 de O'Rahilly.
Embrión Humano de 5,5 mm.

Explicación de figuras:

2.1 a 2.4

Cuatro planos a distintos niveles que interesan a los miembros superiores derecho e izquierdo.

En esta ocasión, aunque se tratan de planos transversos-horizontales, sin embargo, han interesado oblicuamente a los anlages de los miembros superiores, por lo que, en conjunto aparecen más afilados o puntiagudos en su orientación ventral que en la típica imagen en paleta, que ofrece el esbozo de miembro superior del embrión estudiado anteriormente.

El plano secciona el extremo superior del plexo sinusoidal hepático, correspondiente en el lado derecho al segmento proximal de la vena vitelina derecha **(6)** y, en el lado izquierdo, al cuerno superior izquierdo del plexo sinusoidal hepático **(7)**.

En el lado izquierdo, que debido a la oblicuidad de la sección es más caudal, se interesa en la pared posterior la parte más alta del mesonefros **(8)**, y medial a ellos la vena subcardinal del lado homónimo. En cambio, en el lado derecho, se contempla el ascenso de la vena umbilical **(9)** en plena pared somática, persistiendo por encima de la anastomosis que en planos más caudales realizó con su homónima del lado izquierdo.

La citoestructura es un tanto amorfa pero en la que domina una disposición más laxa en la base de implantación del miembro que colinda con el extremo ventral del respectivo dermatomo **(4)**, mientras que el extremo distal libre ofrece la condensación epiblástica placodial de la cresta apical, y a este nivel la presencia de un mesénquima indiferente hacia el cual, desde la raíz del esbozo del miembro, avanza con claridad la vena marginal **(3)** a manera de bisectriz, curso de orientación fruto de la propia sección oblícua que interesa a los anlages.

2.1

2.2

2.3

2.4

P R O T O C O L O -3-

(Estadío 15 de O'Rahilly)

Estadío 15 de O'Rahilly.
Embrión Humano de 8 mm.

Explicación de figuras:

3.1 y 3.1.a

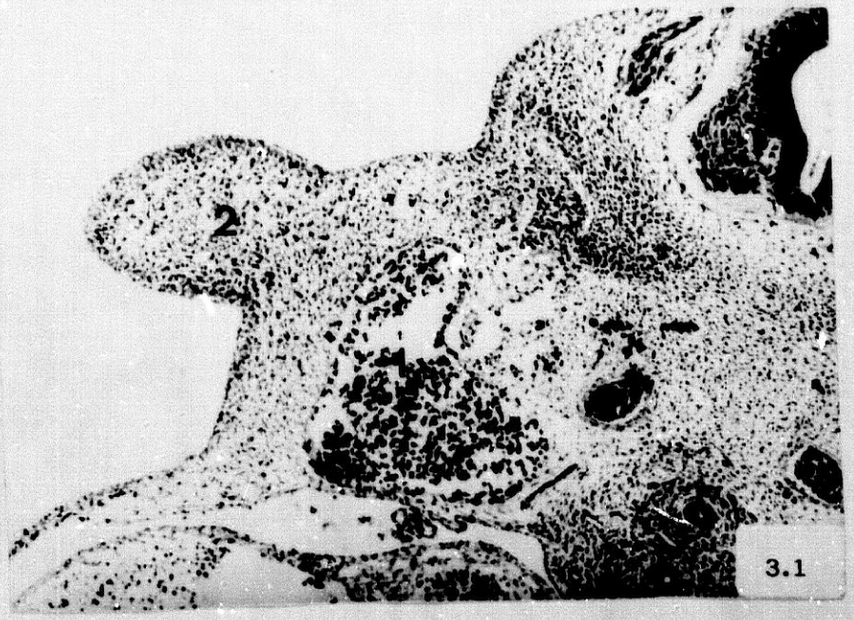
Sección transversa casi tangencial a la parte alta de la emergencia del esbozo del miembro superior, en un plano coincidente con el encuentro de las venas cardinales anterior y posterior para conformar la vena cardinal común **(1)**.

El mesénquima de la base y porción central del esbozo de miembro está uniformemente distribuido y bañado por la arteria axial **(2)**, mientras que en la periferia del anlage aparece claramente densificado. Aún no hay el menor atisbo de condensación celular precursora de los esbozos escápulo- humerales.

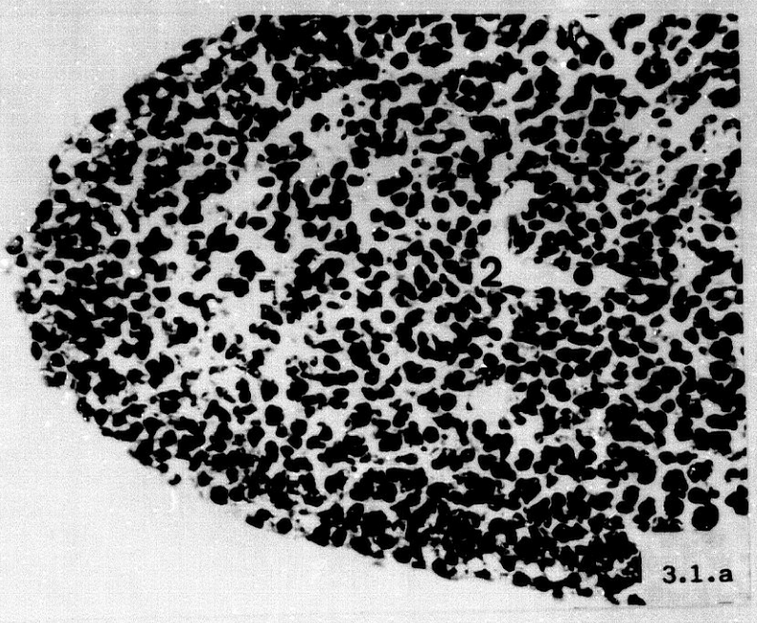
3.2

El plano de sección es sensiblemente más caudal que el anterior, y lo más significativo de todo en relación con el anlage del miembro superior es que en éste ya ha aparecido un pliegue circular que anticipa la futura región del codo, delimitando en el miembro embrionario dos segmentos claramente diferenciados: el proximal, que es el que vemos en esta figura y que da lugar al hombro y al brazo; y el distal, origen de antebrazo, muñeca y mano, lo cual no se aprecia en este corte por la propia orientación del esbozo del miembro superior.

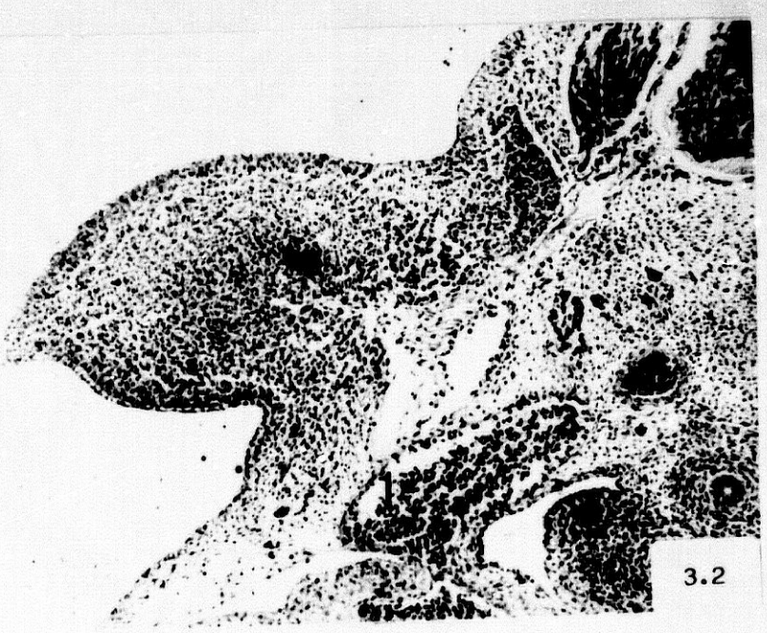
En el segmento proximal referido, que coincide en el plano con la parte más inferior del desagüe de la vena cardinal posterior **(3)** en la vena cardinal anterior para conformar la vena cardinal común **(1)**, el mesénquima embrionario sí ofrece ligeros signos de condensación, pero sin ofrecernos aún claros preblastemas musculares o precondrógenos. La parte ventral del epiblasto del esbozo aparece con una clara proliferación celular correspondiente a la placoda marginal.



3.1

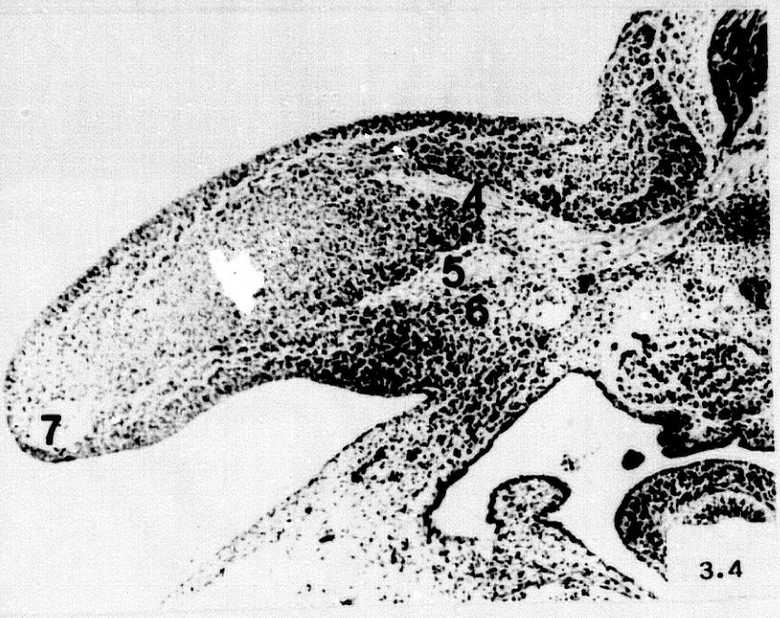


3.1.a

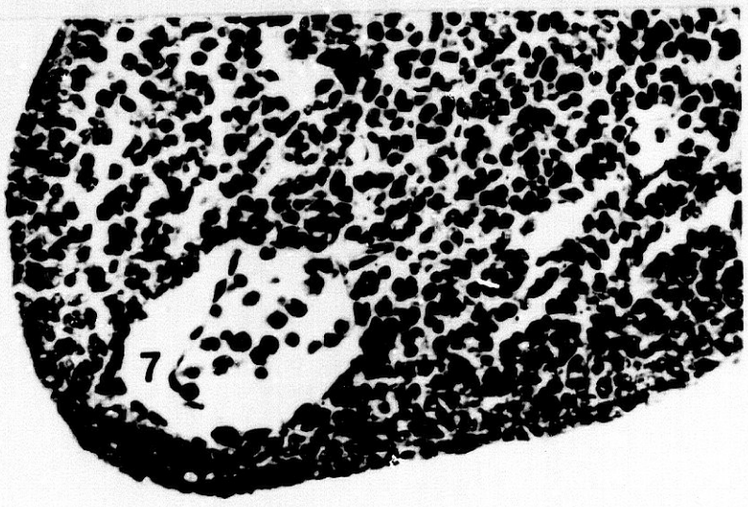


3.2

3.3



3.4



3.4.a

Estadío 15 de O'Rahilly.
Embrión Humano de 8 mm.

Explicación de figuras:

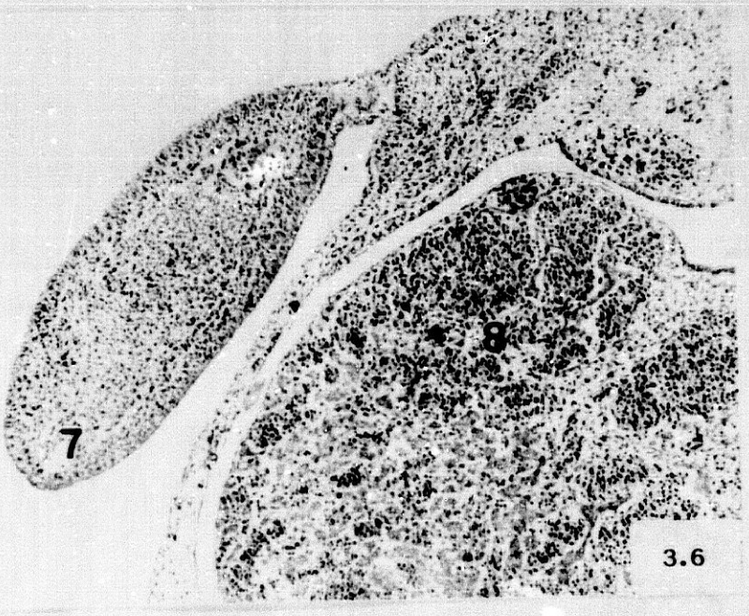
3.3 a 3.4.a

La sección interesa a los dos segmentos, el proximal y el distal, del esbozo del miembro superior separados parcialmente entre sí por una flexura circular, especialmente manifiesta en la porción ventral del anlage, que nos anticipa la región del codo. La raíz del esbozo, a esta altura, es invadida por formaciones fibrilares nerviosas raquídeas del futuro plexo braquial del que ya, en estos momentos tan precoces del desarrollo, son perfectamente distinguibles algunos troncos terminales, como los del nervio radial **(4)**, nervio mediano **(5)** e incluso del nervio cubital **(6)**, los cuales profundizan en un mesénquima indiferente inicial pero que ante la invasión de las fibras nerviosas se densifica en su entorno como elemento precursor de preblastemas musculares.

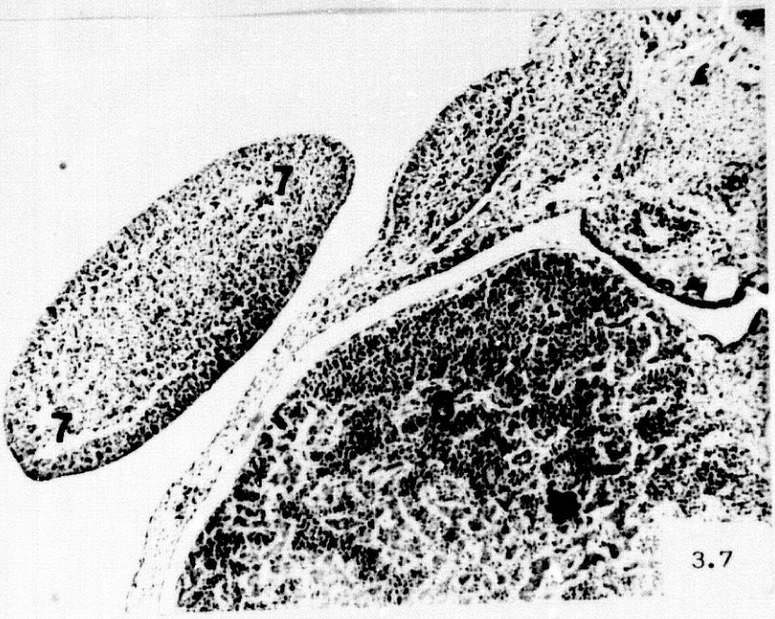
En la zona central o axial del esbozo hay una inquietud celular cual si se tratara de organizar tejido condrógeno para formar los futuros modelos esqueléticos a la altura del segmento proximal del esbozo, mientras que a nivel de todo el segmento distal del anlage el mesénquima es más laxo.

Lo más llamativo en la porción distal del esbozo es la presencia de una voluminosa vena marginal **(7)** y un epiblasto placodial densificado.

3.5



3.6



3.7

Estadío 15 de O'Rahilly.
Embrión Humano de 8 mm.

Explicación de figuras:

3.5 a 3.7.

Son secciones a distintos niveles del segmento distal del esbozo de miembro superior correspondientes a planos de los futuros antebrazo, muñeca y mano. El mesodermo embrionario está uniformemente repartido, denunciando con ello, en la cronología evolutiva normal del embrión, su retraso morfogénico con relación al segmento proximal del esbozo, al que ya le ha llegado la influencia de los cordones nerviosos. Aquí no se observan aún nervios pero, en cambio, es clara y manifiesta la vena marginal **(7)**.

En la topografía del conjunto embrionario la posición que ocupa el extremo distal del esbozo se sitúa con claridad a la altura del plano que secciona el esbozo hepático **(8)**.

P R O T O C O L O -4-

(Estadío 16 de O'Rahilly)

Estadío 16 de O'Rahilly.
Embrión Humano de 10 mm.

Explicación de figuras:

4.1 a 4.4

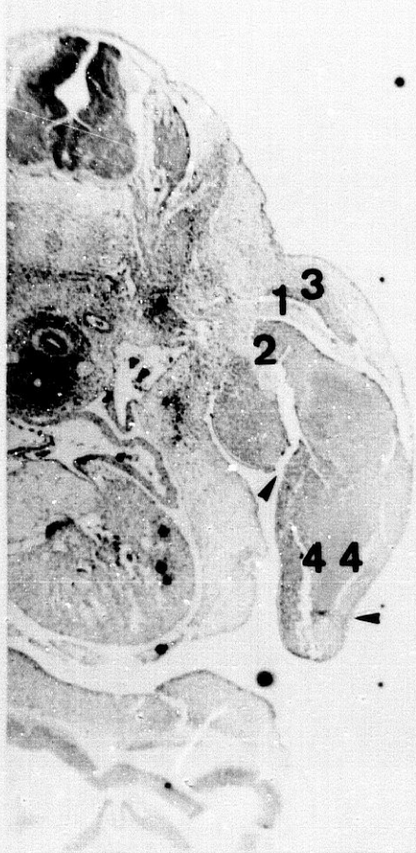
Cuatro planos de sección diferentes que afectan en dirección cráneo-caudal al miembro superior en desarrollo, los que dada la actitud posicional del miembro seccionan al mismo en toda su longitud. El miembro superior izquierdo, que es el que se aprecia en esta figura, presenta dos pliegues circulares que anticipan no sólo la división de un segmento proximal correspondiente al brazo y futuro hombro, sino también un segmento distal para antebrazo y mano; a su vez, este último segmento ofrece un surco menos marcado que trata de delimitar la región de la muñeca. Estos pliegues o surcos circulares se ponen de manifiesto, pese a artefacto de técnica de laboratorio, mediante respectivas **flechas**, siendo más marcados en la cara ventral.

La raíz del miembro es invadida ampliamente por las fibras nerviosas del plexo braquial, del que irradian distalmente futuros troncos terminales tales como: el nervio radial **(1)** y el nervio mediano **(2)**, que recorren en toda su longitud el segmento proximal del esbozo; precisamente el curso de estos troncos terminales determinan artefactos de espacio. En su entorno hay una clara y manifiesta densificación celular precursora de preblastemas musculares, especialmente para musculatura topográficamente dorsal **(3)**, que por su situación corresponde a la masa blastemática del tríceps braquial.

En el segmento distal se aprecian regueros vasculares correspondientes a la vena marginal **(4)**.

El epiblasto del segmento distal aparece poliestratificado en general, pero de forma particular en toda la margen ventral del esbozo.

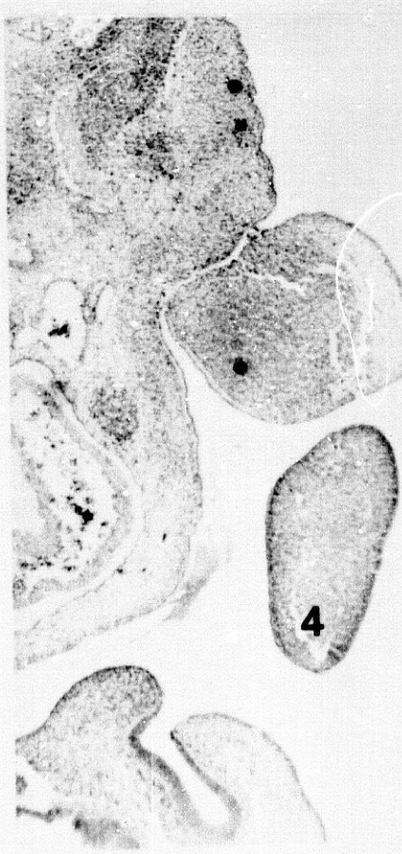
En los planos medios de sección la arteria axial aparece como elemento vascular central del esbozo, tratando de organizar la arteria braquial **(5)**.



4.1

4.2

4.3



4.4

P R O T O C O L O -5-

(Estadío 17 de O'Rahilly)

Estadío 17 de O'Rahilly
Embrión Humano de 12 mm.

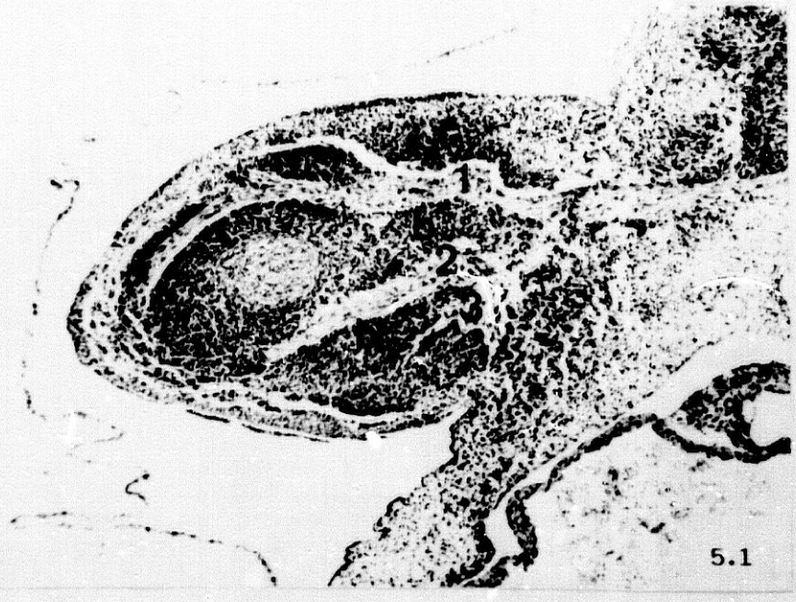
Explicación de figuras:

5.1 a 5.2.

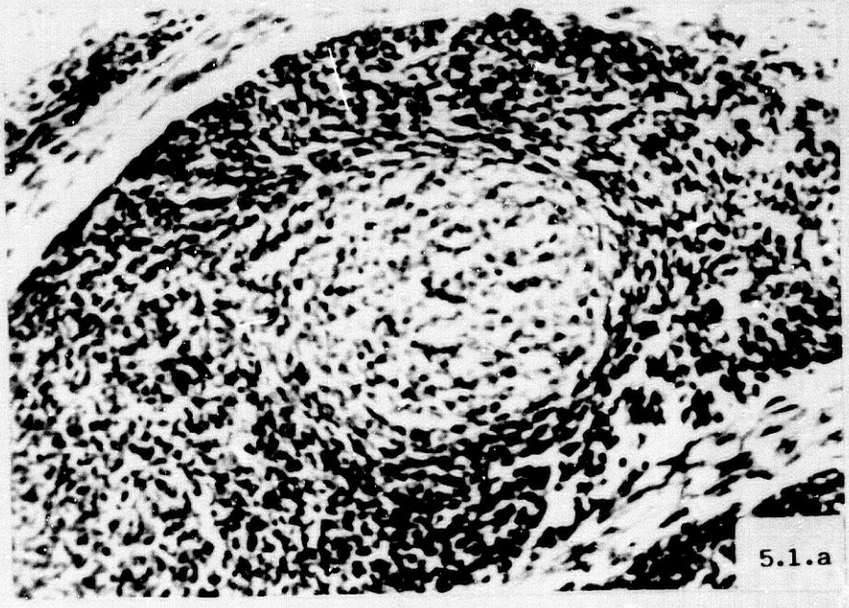
Son dos secciones de la raíz del miembro superior y del segmento proximal del mismo que está organizando el futuro brazo.

En la base de implantación de la raíz del miembro superior que colinda con el extremo más anterior del material somítico no existe aún manifestación alguna de blastema escapular. Por la raíz citada penetran las fibras nerviosas del plexo braquial originando sus troncos terminales radial **(1)**, mediano **(2)** y cubital **(3)** como estructuras nerviosas más manifiestas.

Como elemento central del esbozo del brazo se halla una masa circular condrogénica inmadura o precondrogénica en torno a la cual el mesénquima se alinea formando bandas circulares pericondrales, cuyo material aún es más inmmaduro que el del esbozo humeral propiamente dicho. A su vez el blastema del brazo se ha condensado ampliamente al unísono que ha progresado el curso de los troncos terminales del plexo branquial, formándose masas de blastemas premusculares dorsales y ventrales que en cierto modo se estratifican denunciando la musculatura dorsal y ventral, no sólo del brazo propiamente dicho sino incluso de músculos de la región axilar. Así por ejemplo, mientras superficial al nervio radial está el blastema premuscular del tríceps **(t)**, profundo al mismo aparece la masa blastemática para el braquial anterior **(b)**, o referido al nervio mediano, vemos que profundo a él queda el braquial anterior, en tanto que superficialmente hallamos la masa del bíceps **(bi)**, tal es el caso que aún no se ha diferenciado en estos momentos el curso del nervio músculo-cutáneo.

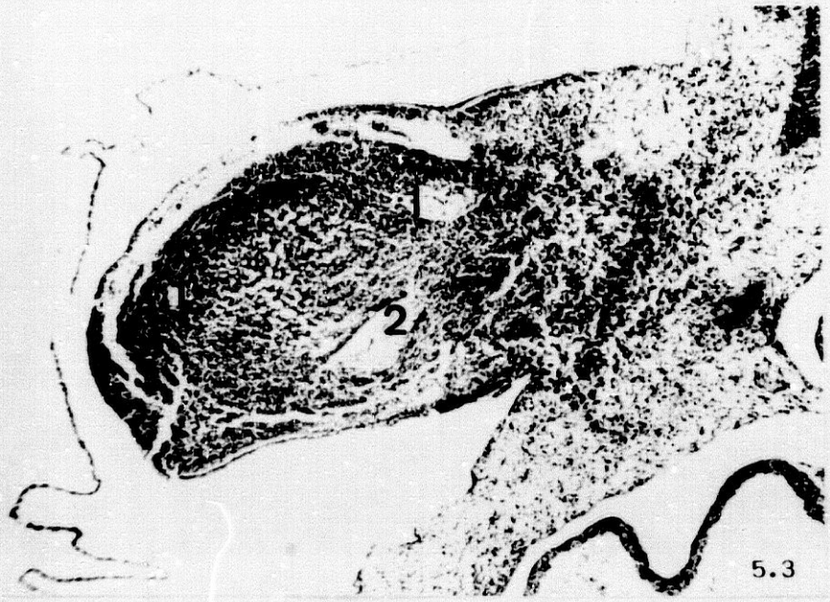


5.1



5.1.a

5.2



5.3

5.4

Estadío 17 de O'Rahilly.
Embrión Humano de 12 mm.

Explicación de figuras:

5.3 y 5.4.

Estos dos planos próximos entre sí interesan al pliegue circular **(flecha)** que está separando los segmentos proximal y distal del miembro superior en desarrollo. Aquí falta el esbozo condrogénico del húmero. Los troncos nerviosos radial **(1)** y mediano **(2)** son evidentes por su topografía, pero en cambio, como es lógico, las condensaciones mesenquimales son uniformes y ante la ausencia del esbozo del futuro esqueleto del brazo no es posible precisar masas blastemáticas premusculares.

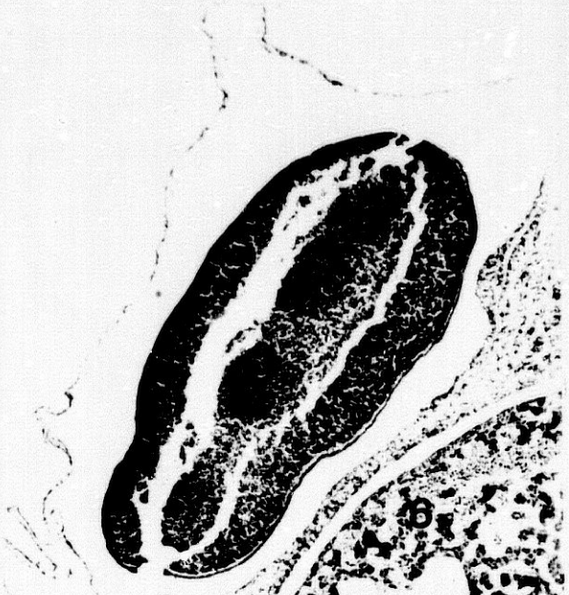
Estadío 17 de O'Rahilly.
Embrión Humano de 12 mm.

Explicación de figuras:

5.5 y 5.6.

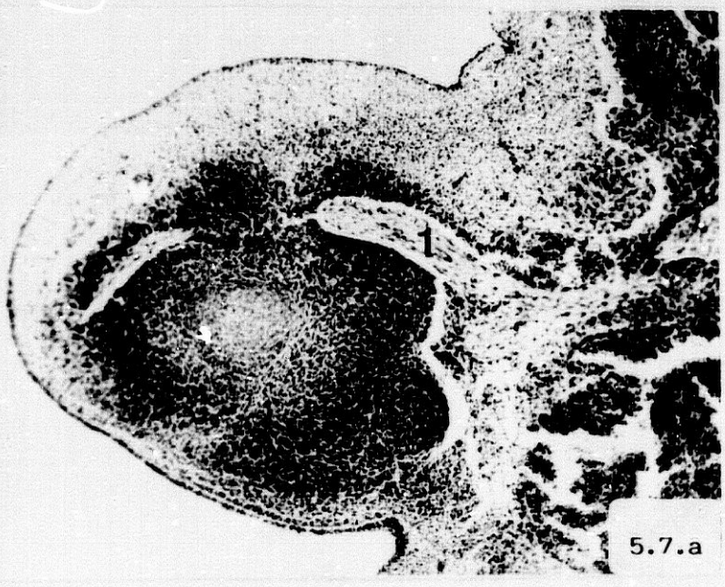
Son planos que corresponden al segmento distal, ya ampliamente esbozado, y un nuevo pliegue marcado fundamentalmente en la cara ventral del segmento distal del miembro viene a señalar la separación entre el futuro antebrazo y la mano. Mientras en la zona del antebrazo hay amplia densificación del blastema y están presentes los nervios mediano y radial en su tránsito del brazo al antebrazo, en la parte más distal del esbozo, la correspondiente a la mano, no se aprecian nervios como tales troncos nerviosos y sí amplios regueros vasculares venosos del sistema de la vena marginal **(4)**. También es evidente la futura región tenar **(5)** y, dada la orientación que ha adoptado el extremo más distal del esbozo del miembro, ya se alinean densificaciones blastemáticas uniformemente orientadas organizando los radios de la mano, que en relación con el cuerpo embrionario se hallan a la altura del esbozo hepático **(6)**.

5.5

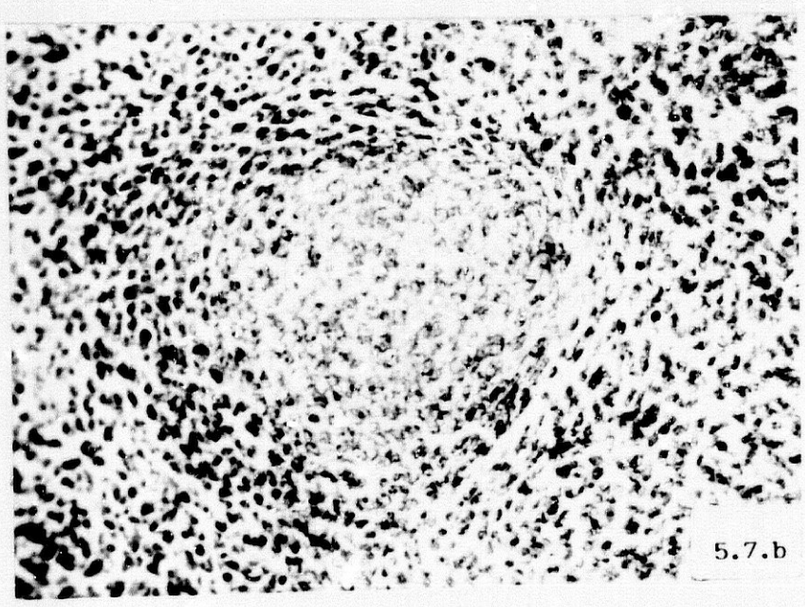


5.6

5.7



5.7.a



5.7.b

Estadío 17 de O'Rahilly.
Embrion Humano de 13 mm.

Explicación de figuras:

5.7 a 5.7.b

La imagen, que corresponde a un corte transverso-horizontal bastante simétrico, denuncia la raíz de implantación de sendos miembros superiores. En el lado derecho es evidente cómo dorsal a la vena cardinal común discurre el plexo braquial independizándose en la imagen del conjunto fibrilar el nervio radial **(1)** que atravesando un mesodermo densificado trata de circundar al blastema precartilaginoso o condrogénico del húmero. En éste, que forma el eje central del segmento proximal del miembro superior, se aprecia la inmadurez celular precartilaginosa cubierta periféricamente por bandas circulares celulares que han de organizar el pericondrio.

Es palpable, y así lo confirma este embrión, que al igual que en el anterior el esbozo precartilaginoso humeral antecede con mucho al esbozo escapular del cual aún no hay la menor evidencia.

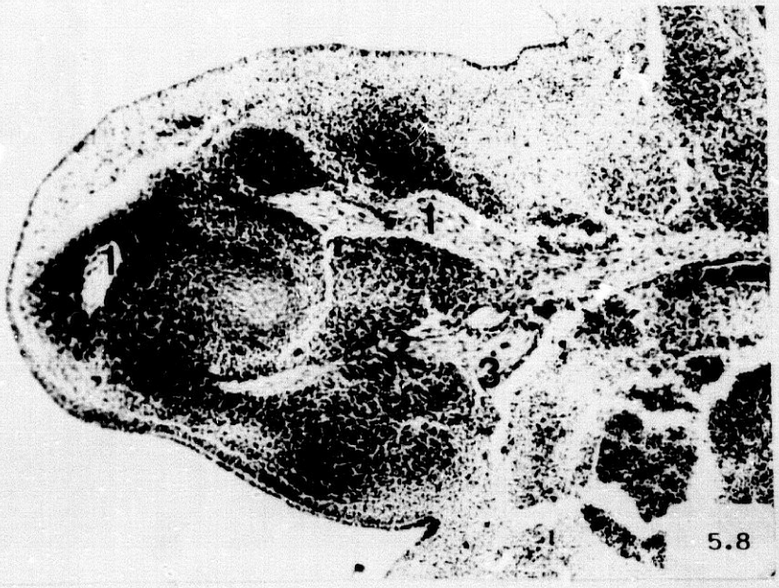
Estadío 17 de O'Rahilly.
Embrión Humano de 13 mm.

Explicación de figuras:

5.8 y 5.9.

Estos planos que interesan al segmento proximal del miembro superior a distintos niveles confirman el comportamiento de los troncos terminales del plexo braquial, especialmente el radial **(1)**, mediano **(2)** y cubital **(3)** que se venían dorso-ventralmente con relación al esbozo humeral. En el plano de la fig. 4.9. próximo a empezar a seccionar el segmento distal del esbozo del miembro superior a la altura de la flexura del codo se puede apreciar incluso el área donde el nervio radial cursa inmerso en el blastema premuscular que ha de dar lugar a los músculos braquial anterior **(b)**, que queda profundo al nervio, y al origen común de los músculos de la celda lateral del antebrazo **(8)** que le quedan superficiales.

En conjunto, las masas blastemáticas premusculares van definiendo su topografía denunciada en parte por el curso de los cordones nerviosos y en parte por la presencia del molde precartilaginoso del húmero.



5.8

5.9

P R O T O C O L O -6-

(Estadío 18 de O'Rahilly)

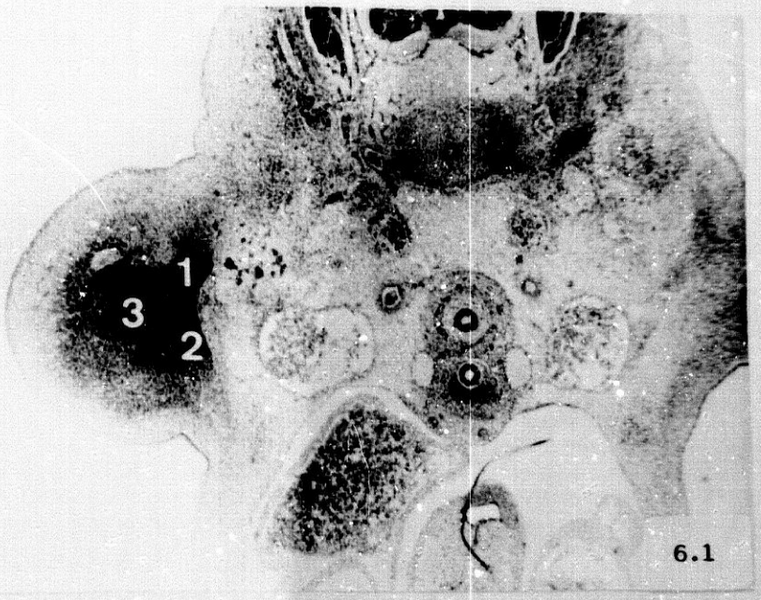
Estadío 18 de O'Rahilly.
Embrión Humano de 15 mm.

Explicación de figuras:

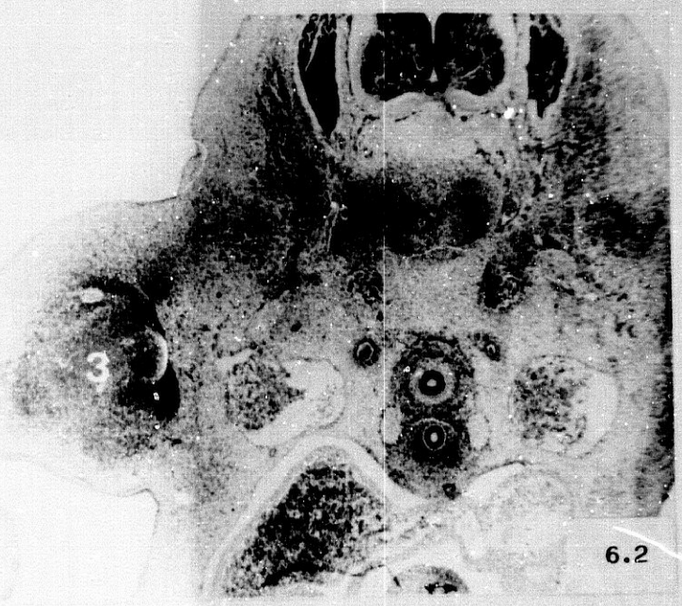
6.1 a 6.3.

Tres planos de sección que afectan a distintos niveles al esbozo del miembro superior derecho en el cual ya ha aparecido un pliegue **(flecha)** circular que lo delimita en dos segmentos: proximal y distal. En el segmento proximal, a nivel de la futura región del hombro, hay una clara condensación de mesénquima embrionario que representa el anlage de la futura escápula; este esbozo de disposición irregular presenta tres expansiones: una dorsomedial destinada al cuerpo escapular **(1)**; otra ventromedial para el futuro proceso coracoides **(2)**; y una tercera lateral, más globosa en conjunto, para el acromion-espina y la porción proximal condrogénica del húmero **(3)**. Excéntrico a la condensación mesenquimal citada, el mesénquima embrionario también aparece condensado, pero en menor cuantía, destinado a blastemas premusculares inmerso en los cuales aparece algún tronco nervioso del plexo braquial **(4)** y de manera específica fibras del nervio radial **(5)**.

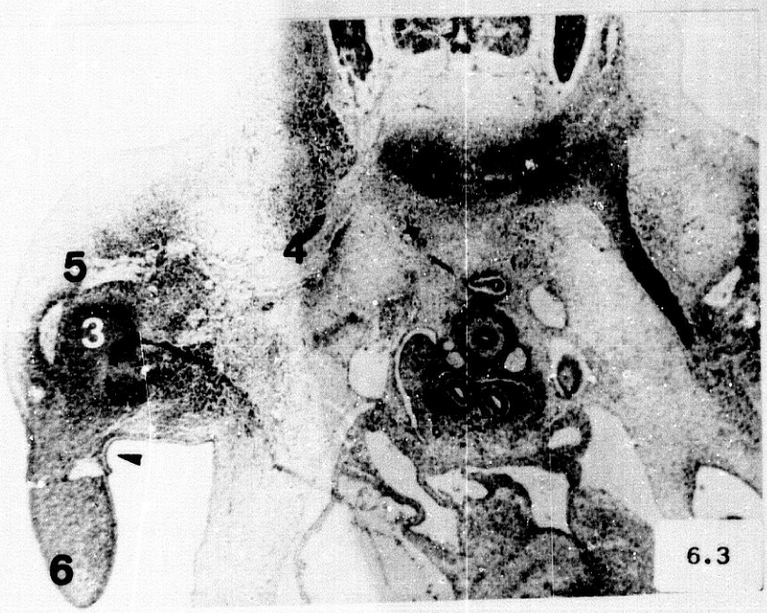
En planos más caudales, que afectan ya no sólo a la porción proximal sino también a la distal del esbozo del miembro superior, se puede distinguir que es evidente la condensación de mesénquima embrionario precartilaginoso destinado al húmero **(3)**, mientras que a nivel del segmento distal no hay la menor evidencia de tejido precondrogénico y sólo es manifiesto en él la uniformidad del mesénquima embrionario y la disposición placodial del epiblasto marginal, así como la presencia de la vena marginal **(6)**.



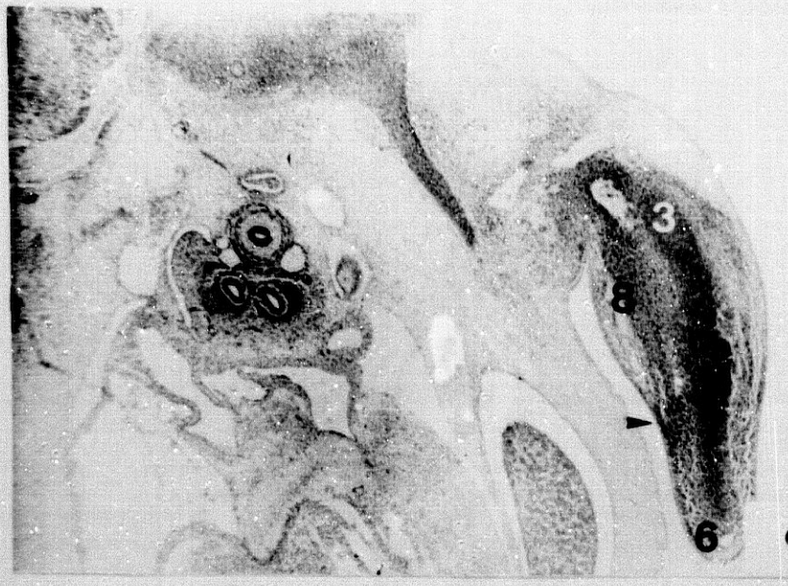
6.1



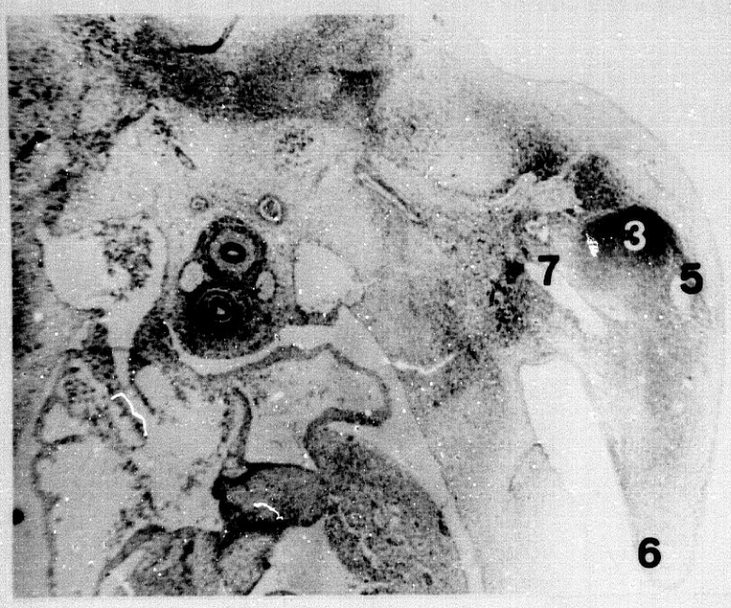
6.2



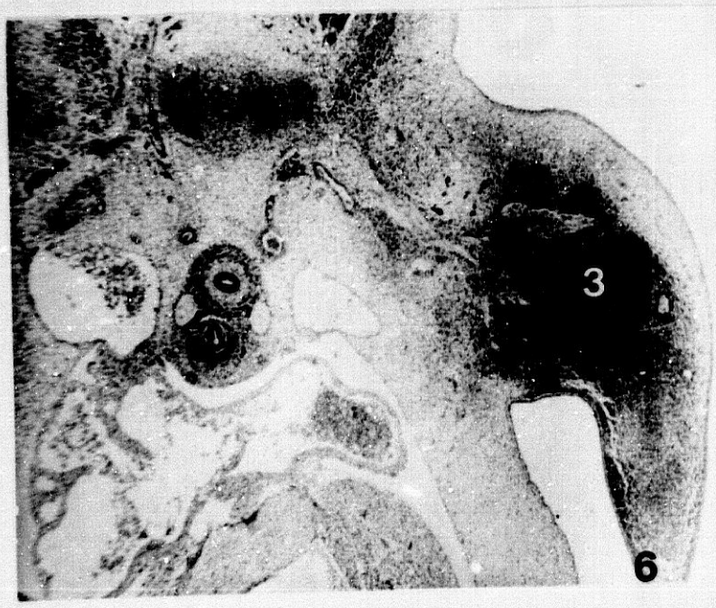
6.3



6.4



6.5



6.6

Estadío 18 de O'Rahilly.
Embrión Humano de 15 mm.

Explicación de figuras:

6.4 a 6.6.

Por la posición que adopta el conjunto del miembro superior del lado izquierdo, estos tres planos de sección lo cortan en su totalidad, haciéndose evidente el pliegue circular **(flecha)** que divide parcialmente al esbozo en los segmentos proximal y distal. En los tres planos es manifiesta la situación condrogénica adquirida por el esbozo del húmero **(3)**, así como los blastemas premusculares que le rodean y hacia los cuales llegan los troncos terminales del plexo braquial de entre los que se aciertan a distinguir: el nervio radial **(5)**, el nervio mediano **(7)** y el nervio cubital **(8)**.

En el segmento distal del esbozo aún no hay signo alguno de condrogénesis, siendo constante la vena marginal **(6)** en todos ellos.

P R O T O C O L O -7-

(Estadío 19 de O'Rahilly)

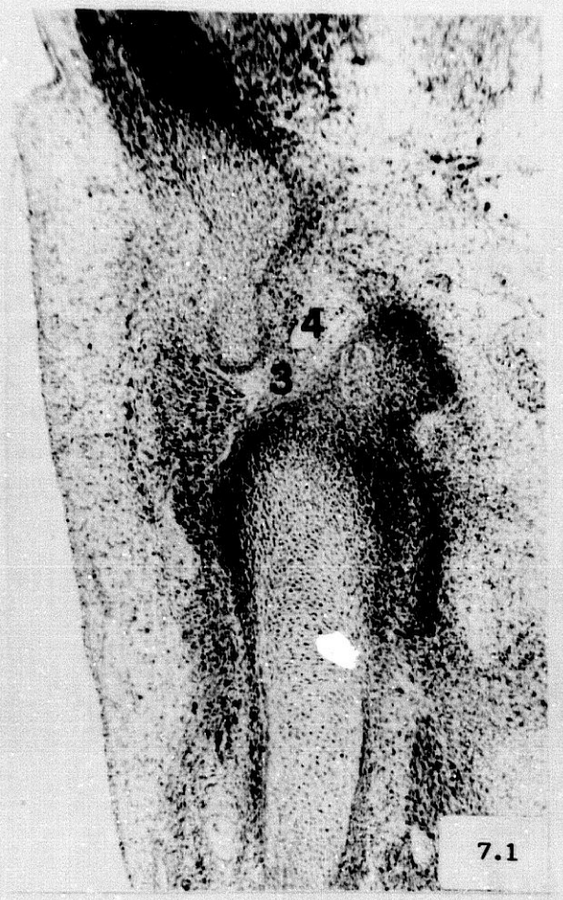
Estadío 19 de O'Rahilly.
Embrión Humano de 17 mm.

Explicación de figuras:

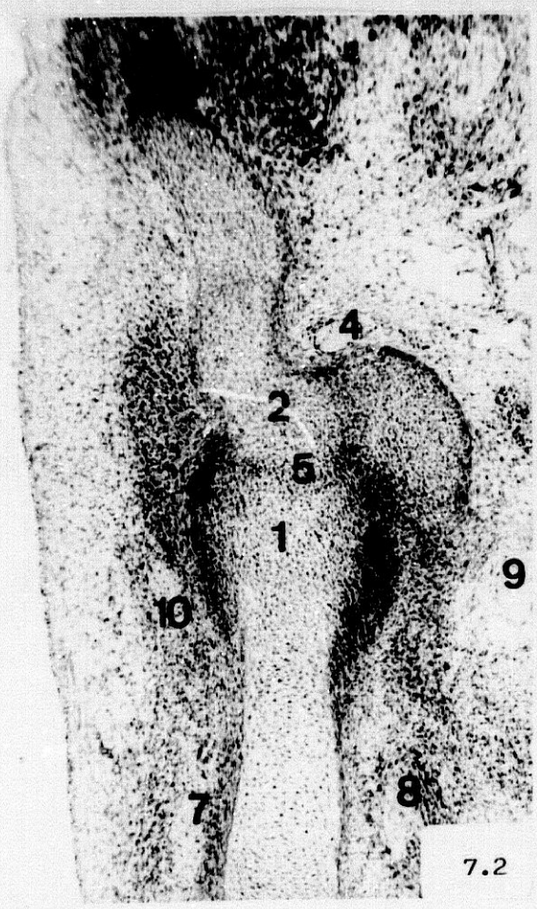
7.1 a 7.2.a

Al comenzar el estadío 19 de O'Rahilly, embriones de 17 mm., la masa condrogénica destinada a formar húmero **(1)** y escápula **(2)** constituye un todo sin solución de continuidad, pero en ella se hace evidente la región de la futura pieza intermedia o interzona destinada a elaborar la articulación escápulo- humeral.

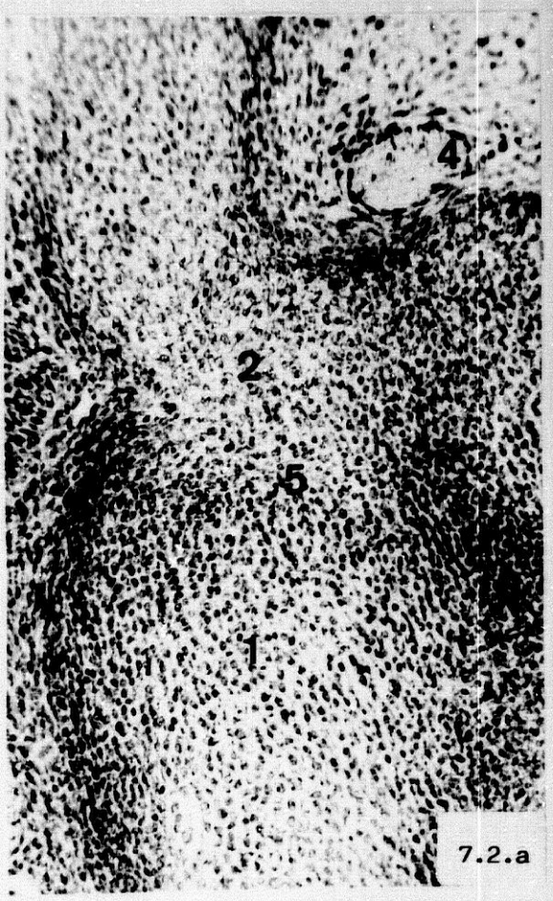
Las imágenes muestran dos planos realizados en sentido cráneo-caudal en los que es evidente la zona de la futura incisura coracoidea **(3)** denunciada por el curso del nervio supraescapular **(4)** por lo que la zona de la futura escápula aparece parcialmente separada de otra parcela escapular y del húmero, pero que, como puede apreciarse en el segundo plano, tal disposición es fruto de la sección, ya que, como se ve, el cuerpo escapular y el proceso coracoideo, en clara fase condrogénica, se continúan entre sí, y éstos a su vez con el molde precartilaginoso del húmero. No obstante, entre futura escápula y húmero hay una banda más densificada de tejido mesenquimal no diferenciada a tejido condrogénico correspondiente a la interzona **(5)** de la futura articulación del hombro. Por lo demás, a nivel de la futura articulación, el mesénquima se densifica intensamente formando un manguito pericondral con destino a parte de la futura cápsula **(6)** de la articulación. Excéntricamente a esta última densificación circular, los troncos terminales del plexo braquial: nervio radial **(7)**, nervio mediano **(8)**, nervio cubital **(9)**, así como ramas colaterales del mismo, tales como el nervio axilar **(10)**, y el nervio supraescapular **(4)**, inmersos en blastemas premusculares periarticulares.



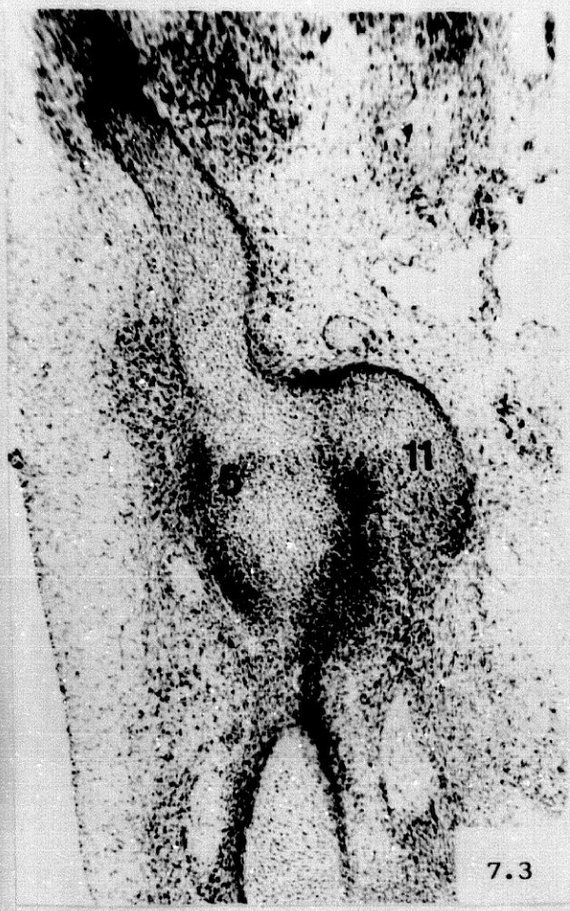
7.1



7.2

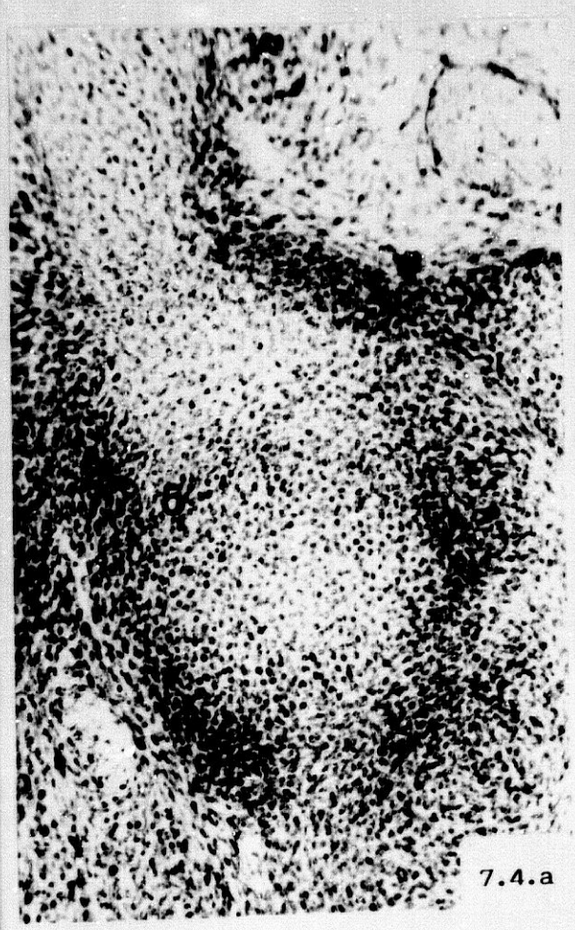


7.2.a



7.3

7.4



7.4.a

7.5

Estadío 19 de O'Rahilly.
Embrión Humano de 17 mm.

Explicación de figuras:

7.3 a 7.5

Estos planos, que interesan la futura región del hombro más caudalmente que los anteriores, confirman cuanto hemos dicho y se pone de manifiesto la disposición del proceso coracoides **(11)** que se secciona desde su base hasta el mismo vértice. El tejido condrogénico del húmero destinado a su extremidad cefálica aparece formando un bloque con la escápula; y si el distingo es posible entre una y otra estructura se debe fundamentalmente a la presencia del mesénquima de la interzona **(5)**, la cual contrasta con las zonas vecinas a escápula y húmero en fase condrogénica.

Estadío 19 de O'Rahilly.
Embrión Humano de 17 mm.

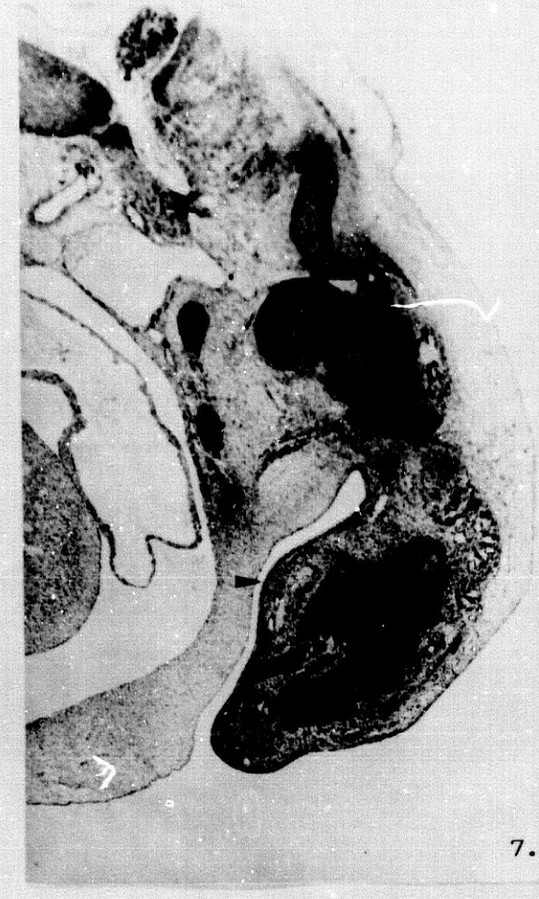
Explicación de figuras:

7.6 y 7.6.a

Junto a la sección de la práctica totalidad del miembro superior del lado izquierdo, en el que a este nivel el segmento distal se ha hecho ya prominente medialmente para organizar la región tenar **(flecha)** así como los radios digitales de la futura mano, se secciona también la región del hombro. En esta última se observa la sección del esbozo condrogénico de la escápula, concretamente a nivel de la incisura coracoidea por donde se desliza el nervio supraescapular **(4)**, de tal suerte que aparentemente el futuro omoplato aparece dividido en tres parcelas: cuerpo escapular **(2)**, espina-acromion **(12)** y proceso coracoides **(11)**; este último íntimamente unido a la porción proximal condrogénica del húmero pero, a pesar de ello, en la base del mismo hay una mayor condensación mesodermal que contrasta con la fase condrogénica de la apófisis coracoides y del húmero, denunciando la interzona o pieza intermedia.

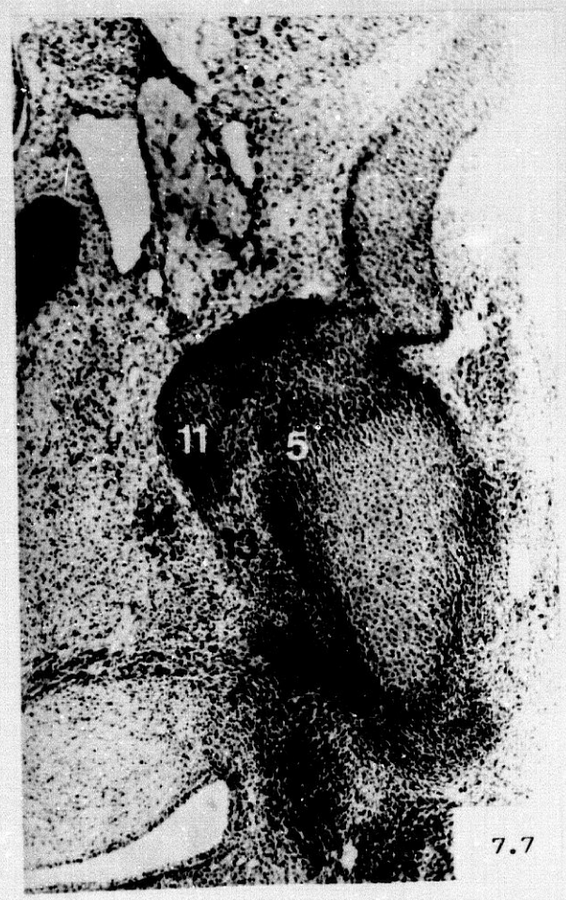
7.7

Un plano ligeramente más caudal en el que las tres parcelas anteriormente citadas, en que aparecía dividida la escápula, se reúnen entre sí, una vez que el plano pasa caudalmente con relación a la incisura coracoidea. Desde el vértice del proceso coracoides **(11)** se prolonga distalmente ocupando la margen medial del húmero una masa blastemática premuscular **(13)** que nos anticipa los tendones originarios de los músculos coracobraquial y cabeza corta del bíceps, y ligeramente medial a dicho vértice se halla el blastema del músculo pectoral menor **(14)**. La interzona **(5)** de la futura articulación escápulo-humeral se hace a este nivel más evidente.



7.6

7.6.a

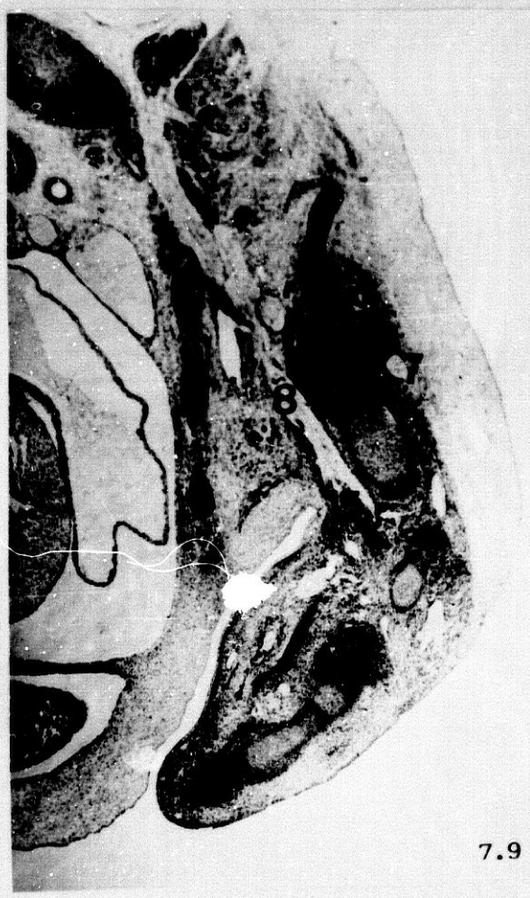


7.7

7.8

7.8.a

7.8.b



7.9

Estadío 19 de O'Rahilly.
Embrión Humano de 17 mm.

Explicación de figuras:

7.8 a 7.8.b

Este plano de sección y sus ampliaciones demuestran el avanzado proceso condrogénico en que se hallan inmersos los futuros huesos del miembro superior, así como los blastemas premusculares y nervios. Ya es posible la diferenciación del carpo y metacarpo.

A nivel del hombro el tejido condrogénico del húmero y la escápula siguen formando un todo, aunque es posible el distingo entre uno y otro, futuros huesos, por una franja de mesénquima densificado que se interpone entre los moldes condrogénicos escapular y humeral: se está organizando la pieza intermedia para la futura articulación del hombro.

7.9

Corresponde al plano más caudal de los que interesa al miembro superior de este embrión por cuya base penetran los troncos terminales del plexo braquial, distinguiéndose entre ellos el nervio mediano **(8)**, el nervio músculo-cutáneo **(15)** y el nervio radial **(7)**. Igualmente, se aprecian además los moldes condrogénicos seccionados de escápula, húmero, radio, carpo, metacarpo e incluso de falanges, claro que estas últimas están aún más retrasadas en el desarrollo.

Estadío 19 de O'Rahilly.
Embrión Humano de 18 mm.

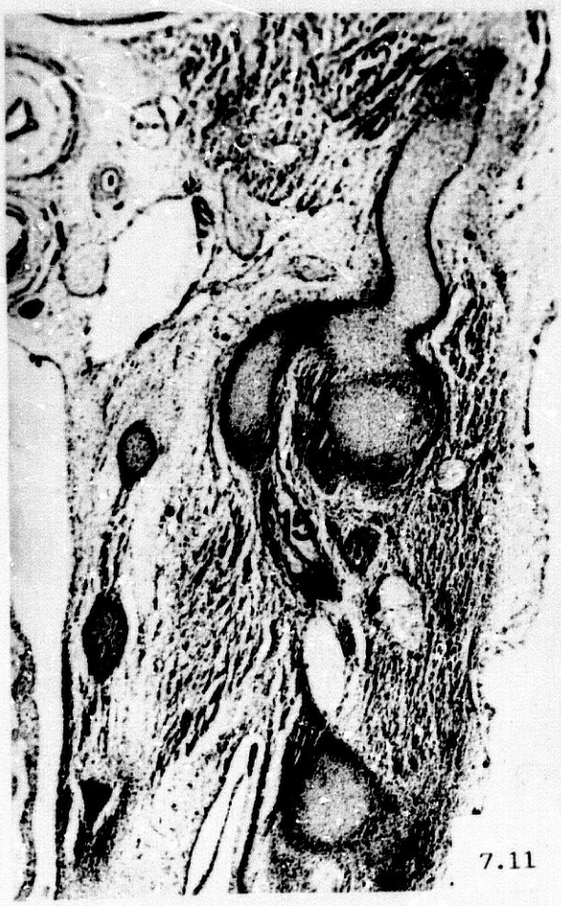
Explicación de figuras:

7.10 a 7.11.a

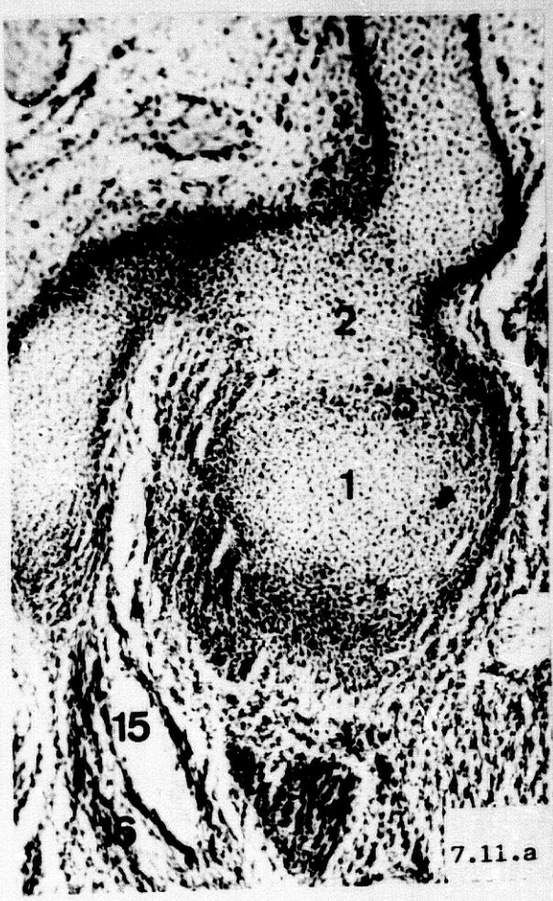
Estos dos planos de sección con sus correspondientes ampliaciones ponen de manifiesto la evolución cronológica de la condrogénesis de la futura articulación del hombro, la cual ha progresado sensiblemente a lo largo del estadío 19 de O'Rahilly. Efectivamente, bien entradas las horas del citado estadío se aprecian con nitidez los moldes condrogénicos del húmero **(1)** y de la escápula **(2)** formando un todo, pero en el que la interzona **(5)** es cada vez más manifiesta y diferenciada.

En correlación con la fase evolutiva se acierta a distinguir con claridad, entre otras cosas, el blastema premuscular del coracobraquial **(16)** cruzado por el nervio músculo-cutáneo **(15)** en la fig. 7.11.

7.10



7.11



7.11.a

P R O T O C O L O -8-

(Estadío 20 de O'Rahilly)

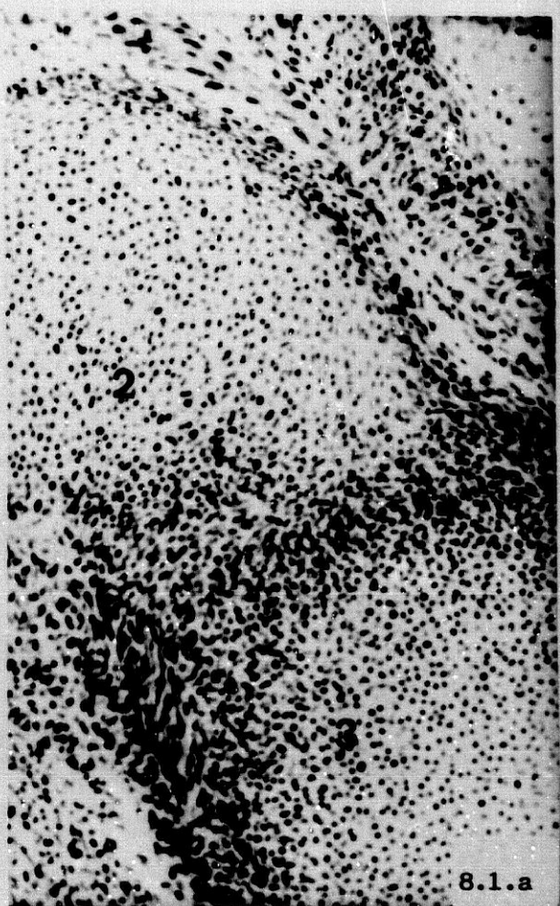
Estadío 20 de O'Rahilly.
Embrión Humano de 19 mm.

Explicación de figuras:

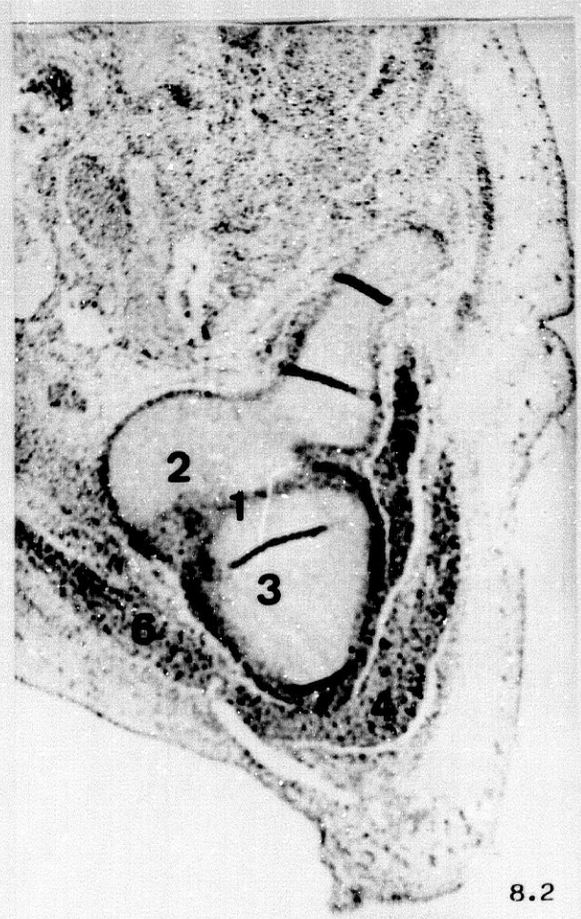
8.1 a 8.2.a

Dos planos próximos entre sí pero a distintos niveles en los que la sección interesa a la masa cartilaginosa escápulo-humeral a nivel de la incisura coracoidea y caudal a la misma. La masa cartilaginosa única escápulo-humeral ante el desarrollo de la interzona **(1)** va delimitando los moldes cartilaginosos de la escápula **(2)** y del húmero **(3)**. La interzona se diferencia claramente de los moldes cartilaginosos de los futuros huesos que intervienen en la articulación del hombro porque aquélla forma una banda densa de mesoblasto por acumulación celular de mesodermo, mientras que la futura escápula y húmero muestran una clara diferenciación cartilaginosa inmadura. En la región del futuro muñón del hombro las masas blastemáticas premusculares se van definiendo cada vez más, de tal suerte que la diferenciación de músculos como deltoides **(4)**, infraespinoso **(5)** y pectoral mayor **(6)** son ya una realidad.

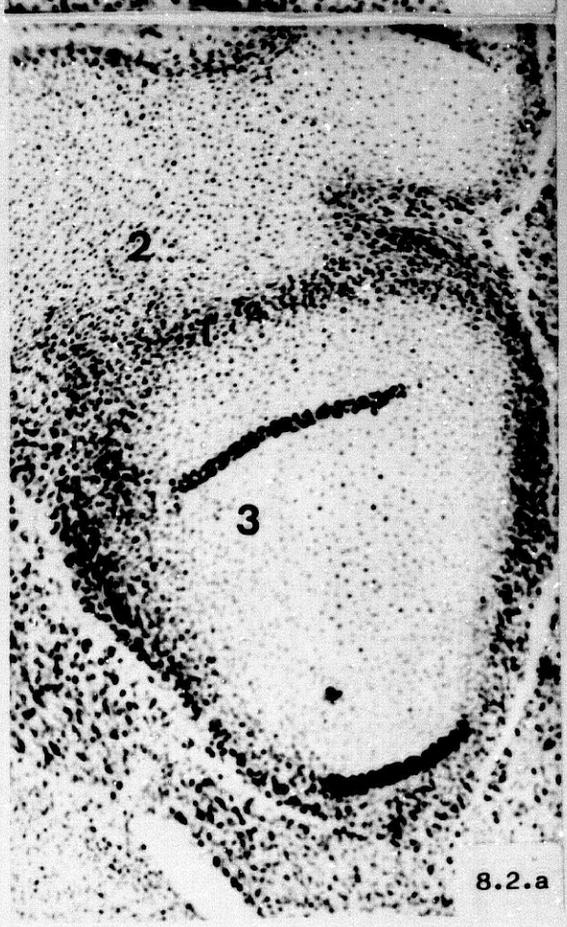
8.1



8.1.a

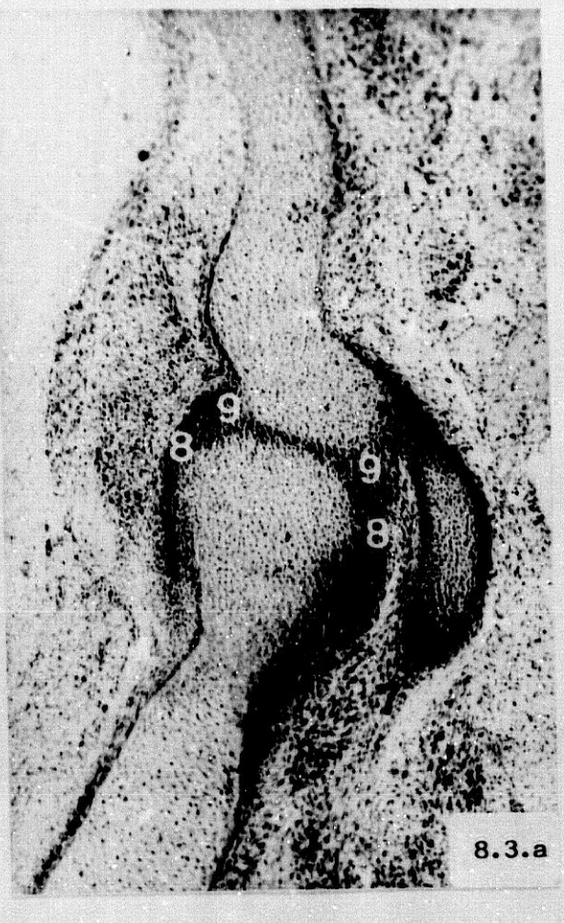


8.2

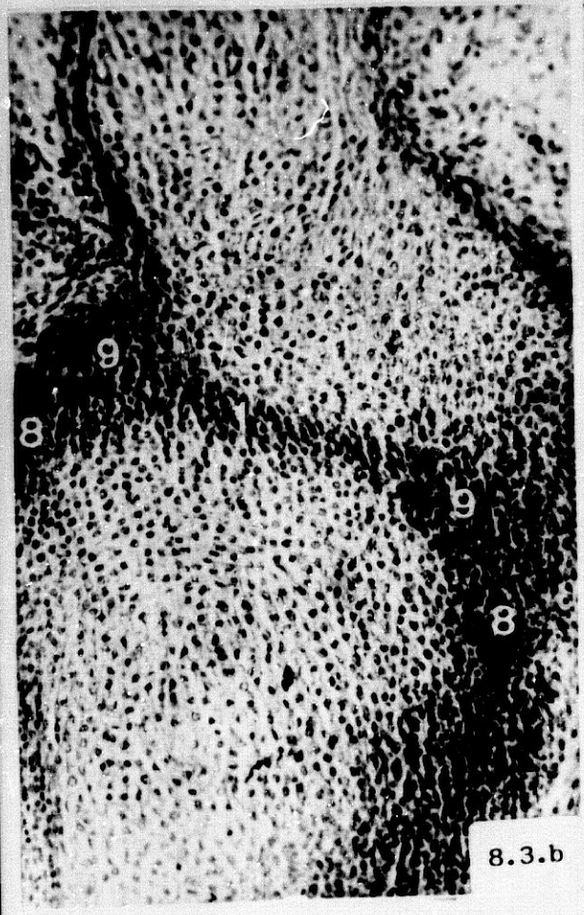


8.2.a

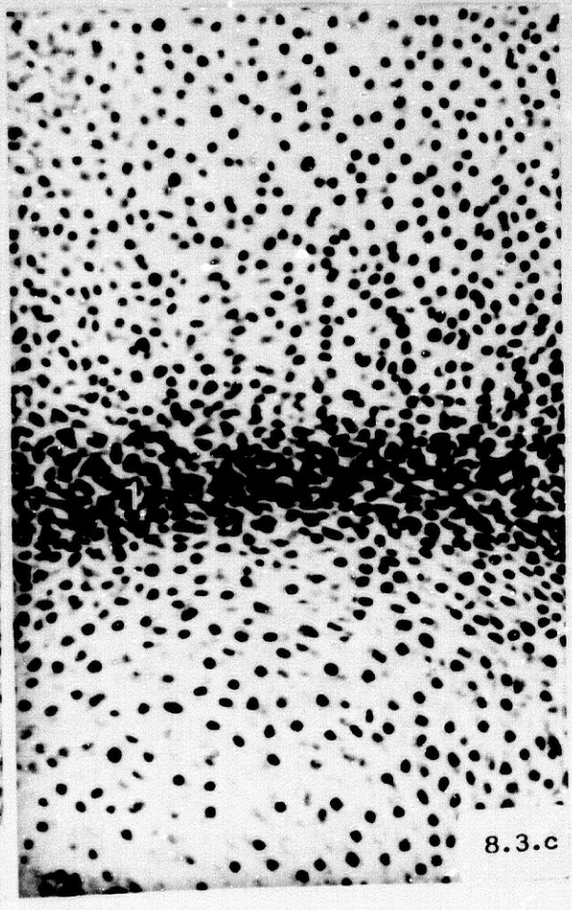
8.3



8.3.a



8.3.b



8.3.c

Estadío 20 de O'Rahilly.
Embrión Humano de 20 mm.

Explicación de figuras:

8.3 a 8.3.c

Las figuras muestran con claridad el desarrollo que va adquiriendo la articulación del hombro y su entorno a la altura donde el plano secciona el proceso coracoideo. A la presencia de los blastemas premusculares periarticulares hay que añadir a este nivel la inserción del esbozo del tendón común de los músculos coracobraquial y cabeza corta del bíceps **(7)** fijándose en el proceso coracoides. La interzona **(1)** destaca su material mesodérmico densificado entre los moldes cartilaginosos de la futura cavidad glenoidea y cabeza humeral. Como continuación o prolongación del citado material mesodermal de la interzona, el mesodermo, a uno y otro lado de la misma, se expande formando un conjunto pericondral que anticipa con su densificación la organización de parte de la cápsula articular **(8)** del hombro así como del futuro labio articular **(9)** glenoideo.

P R O T O C O L O -9-

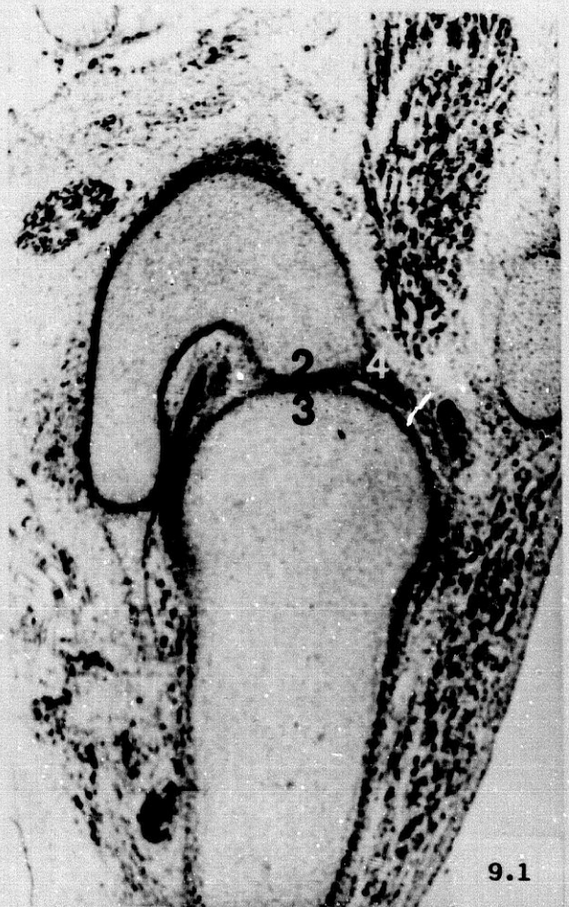
(Estadío 21 de O'Rahilly)

Estadío 21 de O'Rahilly.
Embrión Humano de 24 mm.

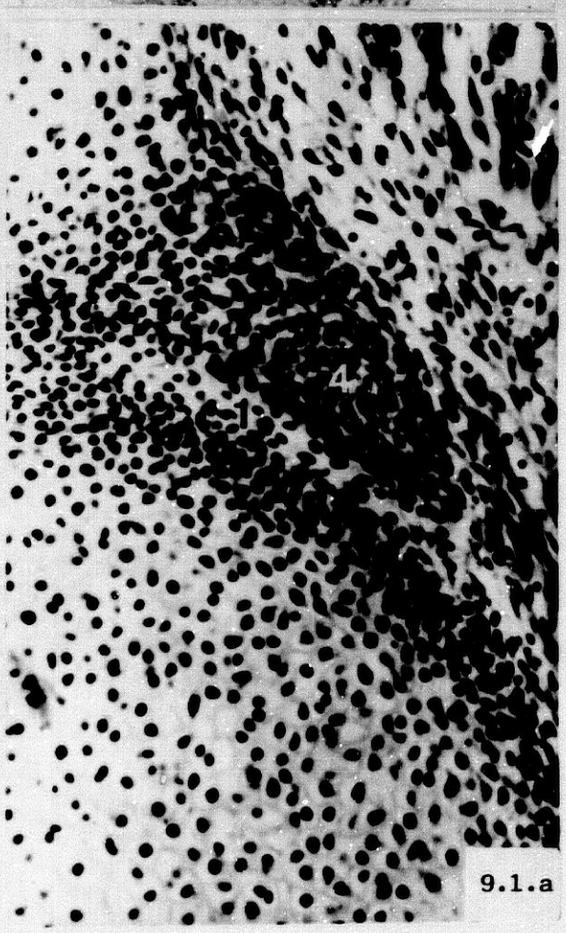
Explicación de figuras:

9.1 y 9.1.a

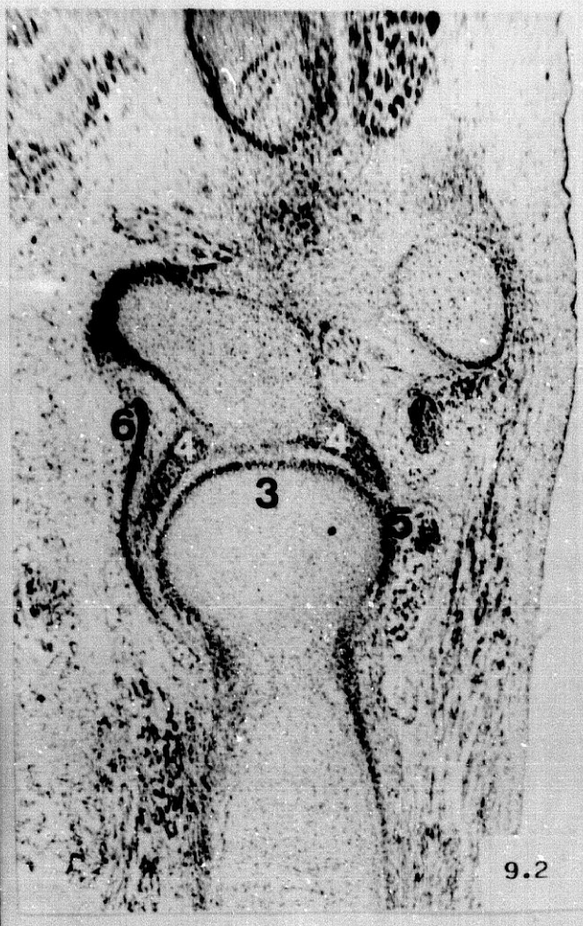
El proceso evolutivo de la articulación del hombro, al iniciarse el estadío 21 de O'Rahilly, interesa de forma específica a la interzona articular, la cual empieza a deslaminarse de tal suerte que se puede descomponer convencionalmente en tres franjas: una central mucho más laxa **(1)**, y dos excéntricas mucho más densificadas que se adosan como tejido pericondral a los moldes cartilaginosos de las futuras cavidad glenoidea **(2)** y cabeza humeral **(3)**. Al unísono, el tejido pericondral que se adosa a la futura cavidad glenoidea, fruto de la deslaminación de la interzona, se concentra preferentemente en las márgenes de la citada cavidad para organizar el labio articular glenoideo **(4)** cuyo material mesodérmico contrasta con el tejido cartilaginoso escapular vecino.



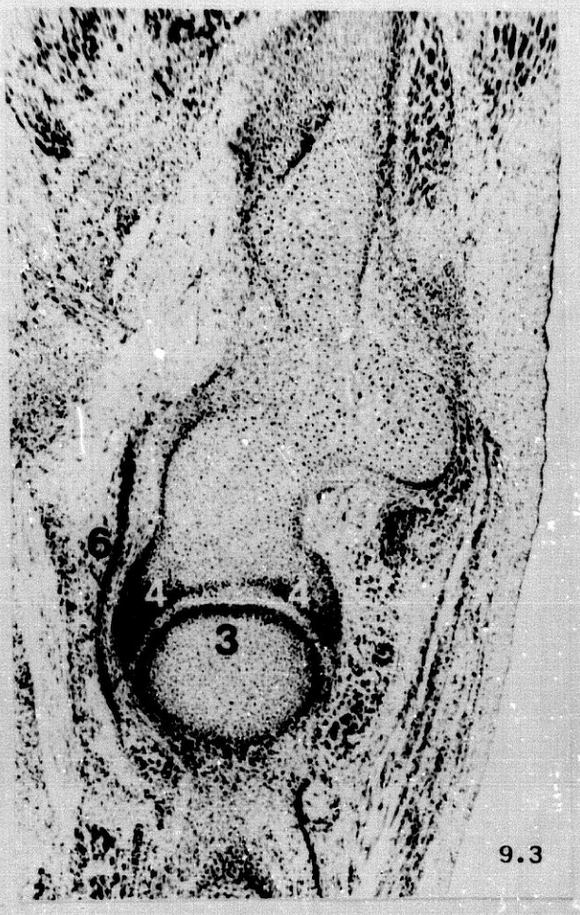
9.1



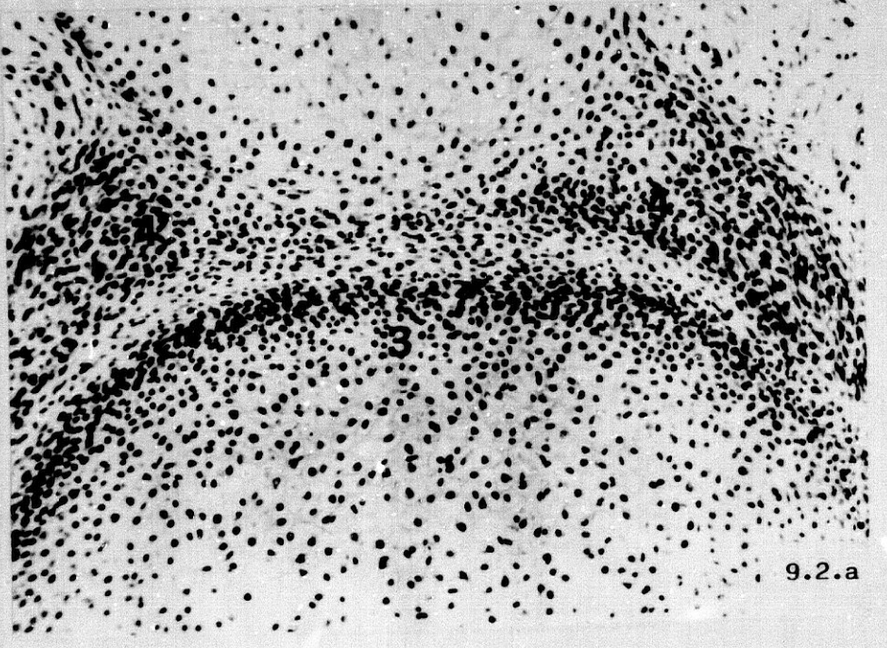
9.1.a



9.2



9.3



9.2.a

Estadío 21 de O'Rahilly.
Embrión Humano de 24 mm.

Explicación de figuras:

9.2 a 9.3

Las imágenes muestrar el desarrollo de la articulación del hombro, destacando la deslaminación en tres bandas de la interzona que nos anticipa, con su banda central media más laxa la futura cavidad articular, mientras que las bandas más densas se suman, una como tejido pericondral a la cabeza humeral **(3)**, y otra de manera preferente a las márgenes de la superficie articular de la escápula para construir el labio articular **(4)** y parte de la cápsula ligamentosa **(5)**; precisamente excéntrica a esta última y en íntimo contacto con ella se ha organizado por estos días el tendón del músculo subescapular **(6)**.

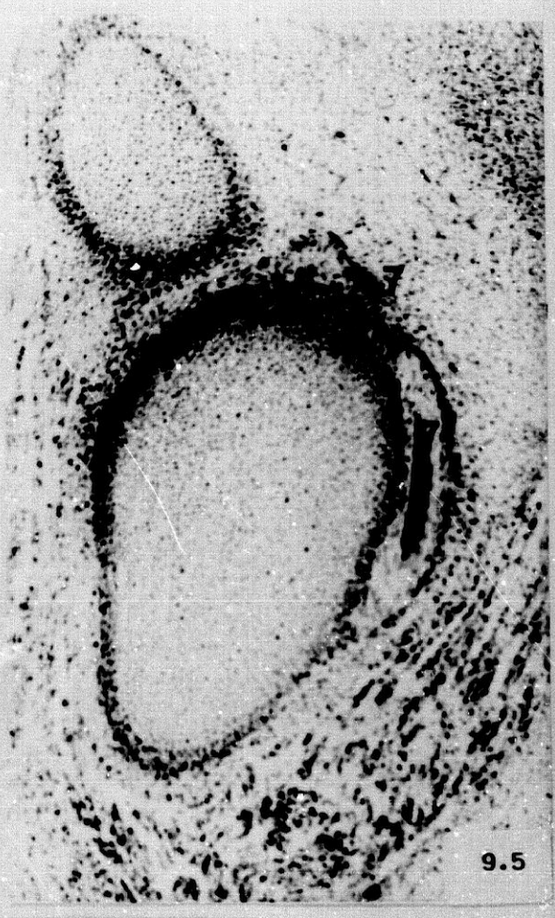
Estadío 21 de O'Rahilly.
Embrión Humano de 24 mm.

Explicación de figuras:

9.4 a 9.6

Corresponden a planos de sección de la región del hombro derecho del mismo embrión pero, que aquí, por la peculiar orientación de los cortes, le incluimos en el protocolo habida cuenta que, por vez primera en el desarrollo de la región, se ve organizado el tendón de la cabeza larga del bíceps humeral **(7)** que vá quedando inmerso profundo al tejido mesenquimal que está organizando parte de la cápsula de la articulación del hombro, terminando por fijarse en la base de la cara externa del labio articular y zonas adyacentes.

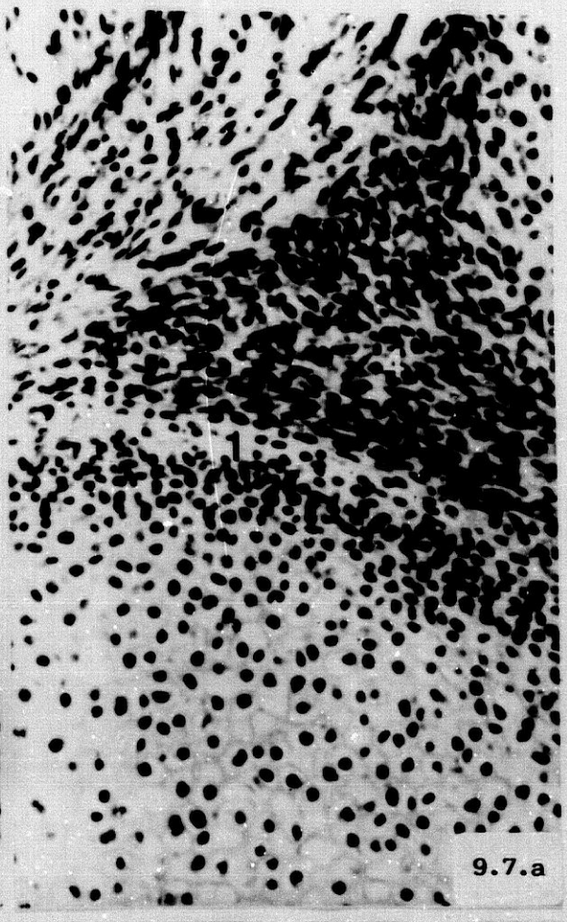
9.4



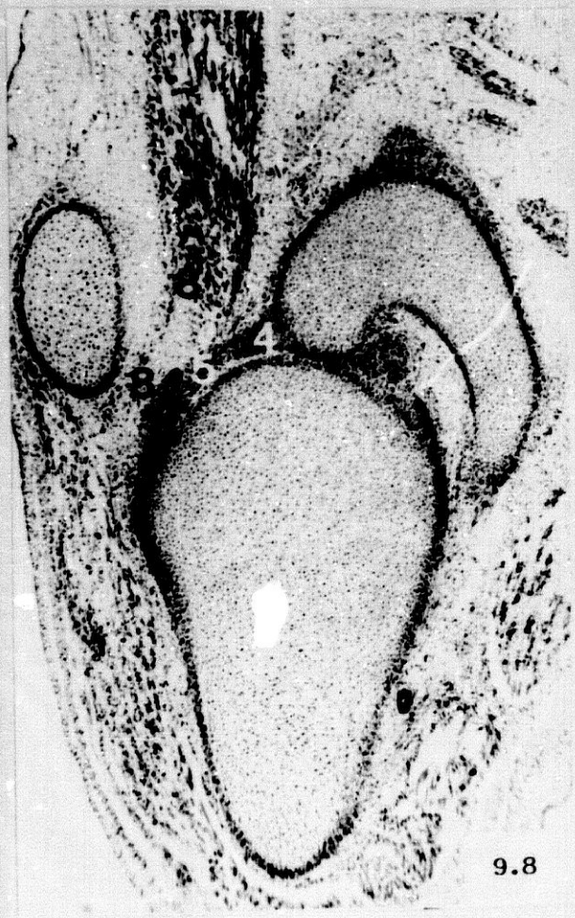
9.5

9.6

9.7



9.7.a



9.8

9.8.a

Estadío 21 de O'Rahilly.
Embrión Humano de 24 mm.

Explicación de figuras:

9.7 a 9.8.a

Planos muy próximos entre sí en los que al igual que en el lado izquierdo del mismo embrión se muestra el proceso de deslaminación **(1)** de las tres típicas bandas así como la organización del labio articular **(4)** y de parte de la propia cápsula de la articulación del hombro **(5)** a expensas del material más excéntrico o periférico de la interzona.

En esta ocasión la presencia del músculo supraespinoso **(8)** es evidente así como el adosamiento de su tendón de inserción al propio esbozo de la cápsula articular.

P R O T O C O L O -10-

(Estadío 22 de O'Rahilly)

Estadío 22 de O'Rahilly.
Embrión Humano de 24,5 mm.

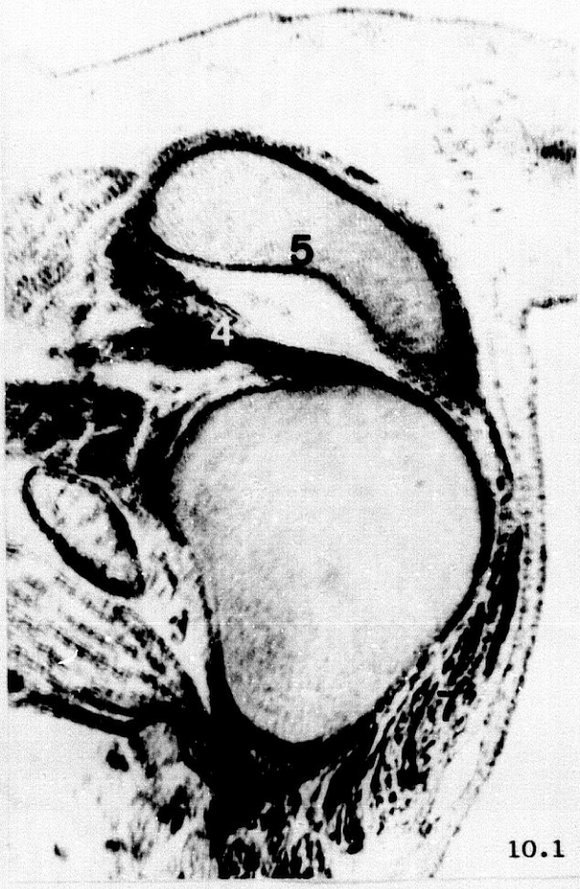
Explicación de figuras:

10.1 a 10.3

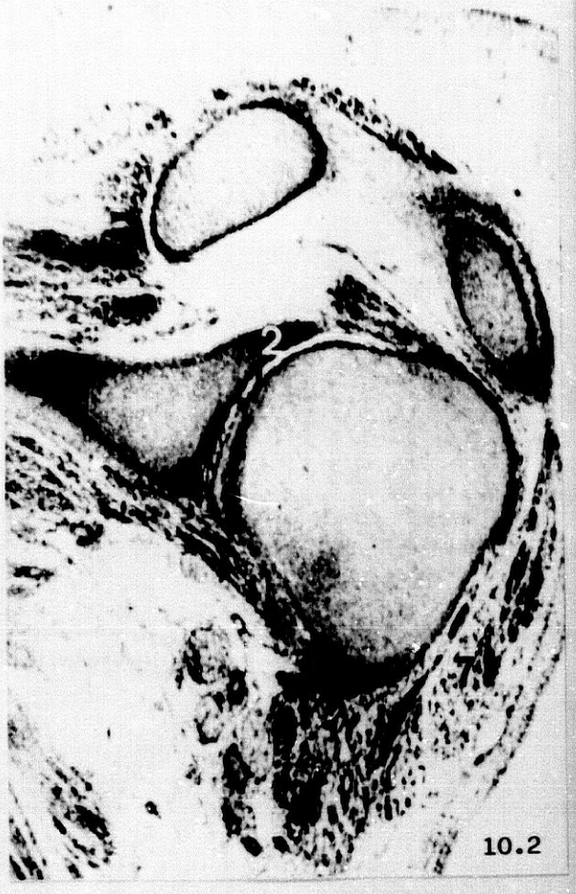
En esta ocasión son cortes parasagitales los que interesan la articulación del hombro, siendo el más lateral el plano de la fig. 10.1 y el más medial el de la fig. 10.3 . Si incluimos en el presente protocolo estas imágenes no es porque vayan a decirnos algo nuevo sobre lo ya conocido previamente en los protocolos anteriores, sino simplemente para confirmar, en estas secciones parasagitales, que no transverso-horizontales, lo que acontecía sobre la articulación del hombro a lo largo del estadío 21 de O'Rahilly.

Efectivamente ahora, al comenzar el estadío 22 de O'Rahilly, la interzona articular está más delimitada ofreciendo con claridad la laxitud de la zona central , la cual ha de organizar la cavidad articular **(1)** en contraposición con las zonas excéntricas o periféricas que están constituyendo por aposición un tejido pericondral que en su día organizará, a nivel de las superficies del par óseo, el correspondiente cartílago hialino de ellas y, por otra parte, el labio articular **(2)** y parte del aparato capsular **(3)** que ya son muy evidentes.

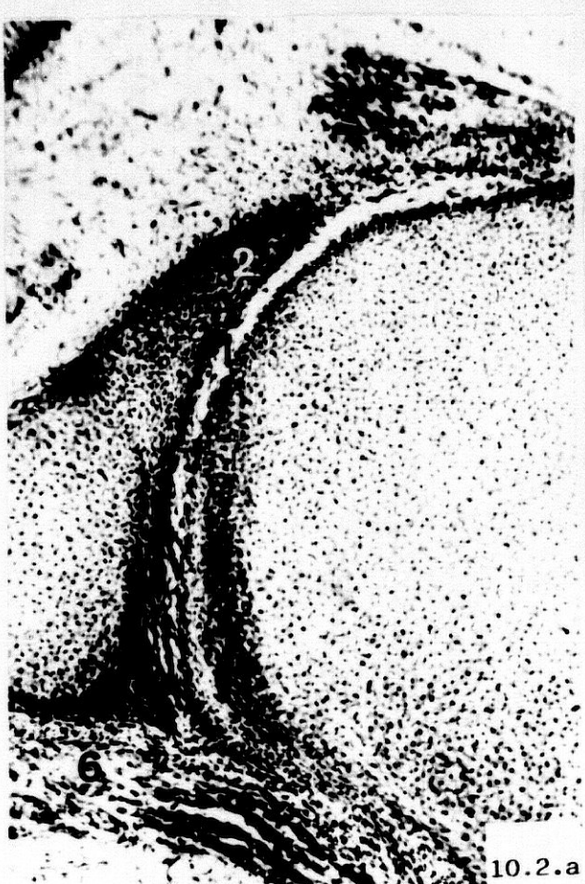
Al unísono que se van perfilando los distintos componentes de la articulación escápulo-humeral, los músculos periarticulares son ya una realidad de formaciones estriadas con sus correspondientes tendones, tales como: músculo supraescapular **(4)** deslizándose bajo el acromion **(5)**, músculo subescapular **(6)**, masa deltoidea **(7)**, tendón de la cabeza larga del bíceps humeral **(8)**, etc.



10.1

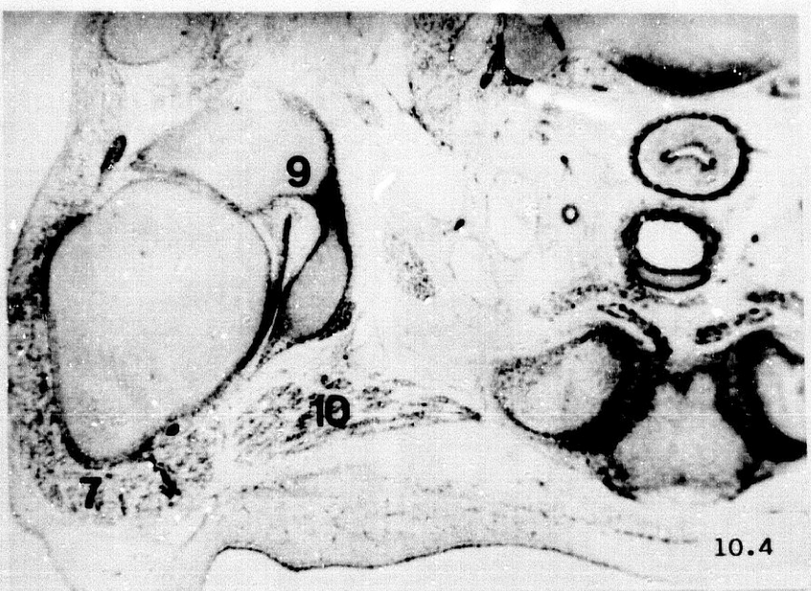


10.2



10.2.a

10.3



10.4

10.4.a

Estadío 22 de O'Rahilly.
Embrión Humano de 26 mm

Explicación de figuras.

10.4 y 10.4.a

La sección de la futura articulación del hombro a nivel del plano que corresponde a base de implantación del proceso coracoides **(9)** muestra la inquietud celular de la interzona, apareciendo una banda central más laxa y clara que contrasta con las bandas pericondrales vecinas que se adosan a los moldes cartilaginosos de las superficies articulares del par ósteo-articular.

En el hombro, en este caso concreto del lado derecho, son evidentes masas musculares y tendones del sistema periarticular, destacando fundamentalmente la masa estriada del pectoral mayor **(10)**, deltoides **(7)** y de los tendones de los músculos subescapular **(6)** y supraespinoso **(11)**.