

AUS DEM ANATOMISCHEN INSTITUT VON HOFRAT ZUCKERKANDL, WIEN.

---

BEITRAG ZUR KENNTNIS

DER

ARCHITEKTUR SPONGIÖSER KNOCHEN.

---

VON

FRIEDRICH v. FRIEDLÄNDER,  
WIEN.

---

*Mit 51 Textabbildungen.*

---



Das scheinbar abgeschlossene Kapitel der systematischen Knochenlehre erfuhr durch Hermann von Meyer eine Bereicherung durch die Aufdeckung der Gesetzmässigkeit des Aufbaues der Spongiosalager, die vor ihm eine geringe Würdigung fand. Das Interesse an dem neu erschlossenen Gebiete vertiefte sich noch dadurch, dass Culmann das innere Gefüge des Knochens mathematisch analysierte, und auf die Ähnlichkeit desselben mit konstruktiven Problemen hinwies.

Unter den zahlreichen Autoren, deren Untersuchungen an verschiedenen Knochenabschnitten immer neue und interessante Details zu Tage förderten, erwarb sich Wolff die grössten Verdienste. Durch den Nachweis, dass auch am pathologisch veränderten Knochen die Knochensubstanz bestimmten Umwandlungen unterworfen ist, die er im Gesetze der Transformation der Knochen zusammenfasste, wurde die ganze Frage auch in klinischen Kreisen zur Diskussion gestellt, die bis heute noch nicht beendet ist.

Trotz manchen Widerspruches gegen die Lehren Wolffs behauptet sie sich in ihrem Wesentlichen noch heute; und ein Überblick über die Litteratur dieser ganzen Frage zeigt, dass das Problem durchwegs als ein ontogenetisches aufgefasst wird, indem die individuelle Formbildung des Knochens seit Wolffs grundlegender Arbeit das ganze Interesse der Autoren absorbiert.

Als Albert an das Studium bisher vernachlässigter Knochen abschnitt und die Überprüfung der bisher erhobenen Befunde schritt, drängte sich ihm bald die Überzeugung auf, dass mit der topographischen Beschreibung der Spongiosazüge nicht alles erledigt sei, und dass ein genaues Studium der Entwicklung der Knochenarchitektur manche Frage lösen würde, die am fertigen Knochen auftaucht.

Da ich zu jener Zeit mit Untersuchungen über die Entwicklung des Hüftgelenkes in Hinblick auf die angeborene Verrenkung desselben beschäftigt war, beauftragte mich Albert bei der histologischen Untersuchung der in Serien zerlegten Gelenke auf Bildungen im Knorpel zu achten, welche der Ossifikation vorangehen und vielleicht die Richtung der Knochenbälkchen bestimmen könnten.

Nach Durchmusterung meiner Schnittsammlung konnte ich sehr bald die Antwort geben, dass weder in der Beschaffenheit der Grundsubstanz des Knorpels noch in der Anordnung der Knorpelzellen ein Anhaltspunkt für die Lösung der gestellten Frage zu finden sei, konnte aber an Hand meiner dicken Übersichtsschnitte darauf aufmerksam machen, dass schon sehr frühzeitig, lange vor dem Auftreten der enchondralen Ossifikation in den knorpeligen Skelettteilen Kanälchen entstehen, die mehrere Gefässe beherbergen, und deren Anordnung grosse Gesetzmässigkeit zeigte.

Da die Litteratur über diesen Befund sehr gering war, und nur kurze Bemerkungen über die Knorpelkanälchen zu finden waren <sup>1)</sup>, ging ich daran, die Vaskularisation der späteren Spongiosalager im knorpeligen Stadium systematisch zu untersuchen. Das Material hierzu fand sich im Laufe der Jahre, dank der Güte des Herrn Hofrates Weichselbaum, reichlich, wenn auch nicht für alle Altersklassen gleichmässig.

---

<sup>1)</sup> Vergl. Langer, Das Gefässsystem der Röhrenknochen. Denkschr. d. Akad. d. Wissenschaften Wien 1875.

Nach Alberts Tod fand ich bei Herrn Hofrat Zuckerkandl nicht nur einen geeigneten Arbeitsplatz, sondern auch Unterstützung in jeder Beziehung, für welche ich ihm, ebenso wie Herrn Professor Tandler zu grossem Dank verpflichtet bin.

Da die Rekonstruktion mikroskopischer Serienschnitte, über die ich in reichlichem Masse verfügte, ausserordentlich mühsam ist und bei der Kleinheit der Objekte zu vielen Konstruktionsfehlern unterworfen ist, suchte ich durch Anwendung passender Injektionsmassen die Knorpelkanälchen zu füllen und die injizierten Objekte durch Aufhellung einer makroskopischen Untersuchung zugänglich zu machen. Das gelang bei kleineren Stücken ganz vorzüglich durch Einlegen des entwässerten Objektes in Xylol. Nur leistet diese Methode des Guten zu viel, da die nicht oder nur mangelhaft gefüllte Gefässkanälchen unsichtbar werden.

Nicht tadellos injizierte Knorpel lieferten mir noch vorzüglich verwertbare Bilder, wenn ich sie nach kurzer Aufquellung in Kalilauge in Glycerin aufhellte. Diese von O. Schultze eingeführte Methode liefert bei kleinen Stücken sehr schöne Bilder; bei grösseren behandelte ich zur Beschleunigung der Aufhellung 2—3 mm dicke Serienschnitte des zu untersuchenden Objekts in derselben Weise. Es ist dabei nicht notwendig, glashelle Durchsichtigkeit zu erzwingen, da die nicht injizierten Knorpelkanälchen hierbei verschwinden. Die aufgehellten Schnittserien wurden dann zwischen Glasplatten in Glycingelatine eingebettet. Derartige Präparate sind bequem zu untersuchen, nur unterliegen sie leicht der Schimmelbildung.

Als Injektionsmasse benutzte ich zuerst Beelysches Karmin, das sehr schön auch in nicht frische Objekte eindringt, jedoch bei der Entkalkung der Knochen leidet. Auch Chlorsilber erwies sich wegen Diffusion nicht gefällter Lapislösung als minderwertig. Am besten bewährte sich die von Tandler<sup>1)</sup> angegebene kaltflüssige Leimlösung, die ich jedoch wegen der chemischen

<sup>1)</sup> Zeitschr. f. wissenschaftl. Mikroskopie und mikrosk. Technik. 1901.

Veränderung des Berlinerblau durch Laugen meist mit Tusch färbte, um die bei grossen Objekten langdauernde Fixierung der Gelatinemasse mit Formalin umgehen zu können.

Das Auftreten der Knorpelkanälchen fällt in sehr frühe Zeit und schreitet langsam fort. Doch lässt sich mit Bestimmtheit sagen, dass schon lange vor dem Auftreten des epiphysären Knochenkernes ein reiches Netz von gefässführenden Kanälchen den Knorpel durchzieht. Das Einsetzen der Verknöcherung ändert den Verlauf der Gefässe nicht, nur das Kaliber einzelner, und zwar bestimmter Gefässe wächst rasch zu beträchtlichen Massen an.

Die obere Extremität eilt der unteren in der Vaskularisation voran. Der Humeruskopf zeigt zum Beispiel bei einem 12 cm langen Fötus schon reiche Vaskularisation, während der Femurkopf erst kleine grubige Vertiefungen des Knorpels besitzt. Die Grösse des Knorpellagers giebt keinen Masstab für die zeitliche Entwicklung der Vaskularisation; Talus und Calcaneus sind z. B. schon vaskularisiert, während die Tibia kaum Andeutungen von Gefässen aufweist.

Die ersten Spuren von Kanalisation des Knorpels treten zu Beginn des III. Lunarmonats auf: im VII. Monat zeigen alle grösseren Knorpelgebiete ein reiches Gefässnetz, dessen Anordnung definitiv ist.

Die Knorpelkanäle sind nach dem Typus eines Endgefässes ramifiziert. Anastomosen zwischen zwei, an verschiedenen Punkten des Knorpels eintretenden Knorpelkanälen kommen ausserordentlich selten vor, ich habe sie nur einmal am Talus und einmal im Bereiche des Malleolus internus tibiae gefunden, nur Inselbildung im Bereich des Humeruskopfes ist typisch.

Das Verhalten der Knorpelkanälchen gegen den heranwachsenden Knochen ist von Langer kurz beschrieben und durch eine Abbildung illustriert worden.

Ich dehnte die Untersuchung über die Vaskularisation des Knorpels in erster Linie auf jene Skelettabschnitte aus, deren Architektur am fertig gebildeten Knochen genau studiert ist. Ganz abgesehen von der Schwierigkeit, bei nicht ganz frischen Leichen die kleinen, peripheren Gefässgebiete exakt zu füllen, war noch der eine Grund für diese Beschränkung massgebend, dass Arbeiten über die Architektur dieser Knochen, und somit Vergleichsobjekte für die Injektionspräparate fehlen. Ich hielt es nämlich für zweckmässiger, die Resultate der vorliegenden Untersuchungen mit den Architekturstudien anderer Autoren zu vergleichen, da die Gefahr nahe liegt, bei dem ausserordentlich komplizierten Aufbau der Spongiosa in vorgefasster Meinung mehr zu sehen, als zu sehen ist.

Nach Beschreibung der an den Injektionspräparaten erhobenen Befunde werde ich dann an die Deutung derselben gehen.

### I. Untere Extremität.

Proximales Ende des Femur (hierzu Fig. 1—8). Die Fig. 1 bis 3 zeigen am frontalen Hauptschnitte das Verhalten der Vaskularisation in drei verschiedenen Altersstufen. Man sieht, dass die Reichlichkeit der Gefässe mit der herannahenden Kindesreife zunimmt, dass aber der Typus der Gefässverteilung unverändert bleibt. Das gleiche Verhalten findet sich bei den übrigen untersuchten Skelettabschnitten, es kann also auf die Beschreibung des Gefässverlaufes in verschiedenen Altersklassen verzichtet werden.

Von dem Gefässnetz, welches den Schenkelhals umspinnt, ziehen zahlreiche Äste in den Femurkopf, den sie annähernd parallel der Oberfläche verlaufend in meridionaler Richtung durchziehen. Der Pol, dem alle diese Meridiane zustreben, liegt in der Gegend des Kopfscheitels und die Achse dieses kugel-



Fig. 1.  
Proximales Femurende eines  
30 cm langen Fötus. Frontal-  
schnitt.

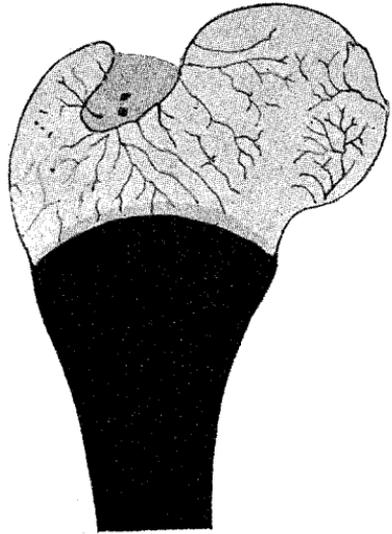


Fig. 2.  
Proximales Ende des Femur eines  
36 cm langen Fötus. Frontalschnitt.

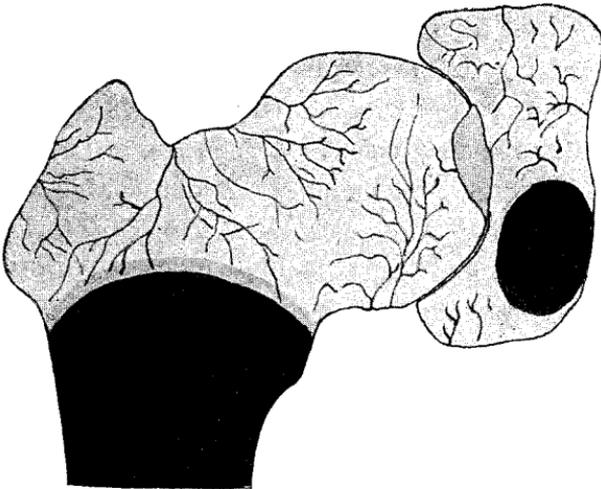


Fig. 3.  
Proximales Ende des Femur eines 42 cm langen Fötus. Frontalschnitt.

förmigen Gefäßgebietes ist durch einen gefäßfreien Streifen markiert, der von oben innen schräg nach unten aussen zur unteren Cirkumferenz des Schenkelhalses zieht. Von den meridionalen Gefäßen gehen zahlreiche Äste ins Innere des Femurkopfes ab, welche sich stets in jener Meridianebene halten, der sie entstammen (Fig. 4).

Das Ligamentum teres entsendet 2—3 kleine Gefässchen in den Umbo, die bald nach oben hin ablenken (Fig. 2, 3).

Die basalen Abschnitte des Schenkelhalses werden von Gefäßen versorgt, die einem bis zwei stärkeren, gegen die Fossa trochanterica verlaufenden Adern entspringen. Diese Gefäße ziehen schräg von oben aussen nach innen unten bis zum medialen Rande der Ossifikationsgrenze der Diaphyse (Fig. 1, 2, 3).

Nach aussen von diesen Gefäßen liegt dann ein reich ramifiziertes Gefäßgebiet, dessen Einbruchspforte die Fossa trochanterica ist. Auf gedrängtem Gebiet betreten wenige starke Gefäße, manchmal nur ein Hauptstamm den Knorpel um sofort sich derart aufzubündeln, dass die Äste erster Ordnung nach allen Richtungen schräg nach abwärts gegen die Peripherie der Knochengrenze ziehen, während die Äste 2. und 3. Ordnung immer centralere Gebiete der Ossifikationsgrenze versorgen. Das Gefäßgebiet ist demnach ein kegelförmiges, seine Basis entspricht der Ossifikationsgrenze der Femurdiaphyse, seine Spitze einem Punkte, der etwas medial von der tiefsten Stelle der Fossa trochanterica liegt (Fig. 1, 2, 3, 8).

Aus letzterer ziehen dann noch Gefäße in nach aussen divergentem Verlauf in die mediale Fläche des Trochanter major, dessen lateraler Abschnitt ein reichliches, dem perichondralen Gefäßnetze entstammendes Gefäßsystem aufnimmt (Fig. 2, 8).

Distales Ende des Femur (hierzu Fig. 9—11). Ein einfacheres Bild bietet das distale Ende des Oberschenkels. Vom dichten perichondralen und periartikulären Gefäßnetz ausgehend graben sich zahlreiche Adern derart in den Knorpel ein, dass

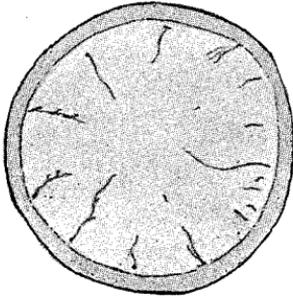


Fig. 4.  
Horizontalschnitt durch den  
Femurkopf.

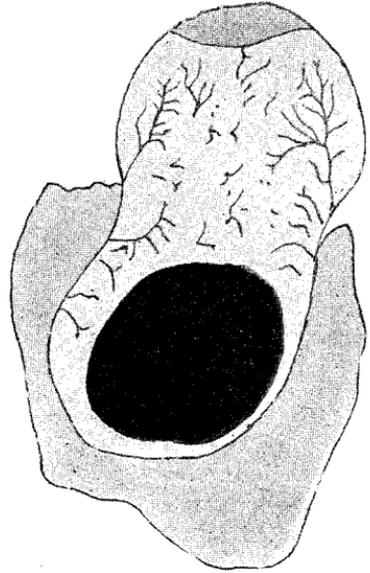


Fig. 5.  
Femur (38 cm). Schrägschnitt parallel  
d. Schenkelhalsachse.

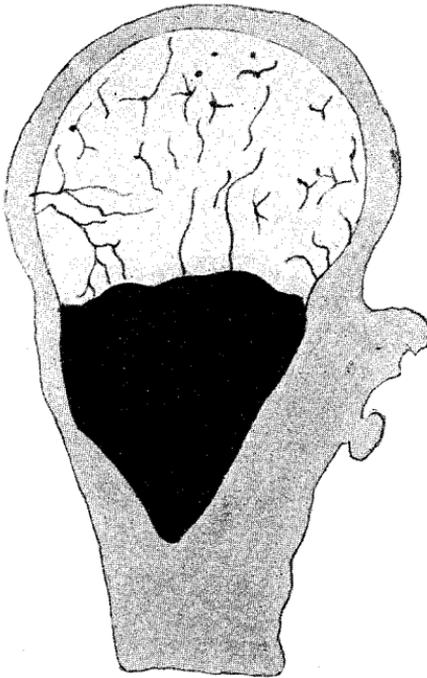


Fig. 7.  
Femur (49 cm). Sagittalschnitt durch die  
Schenkelhalsbasis.

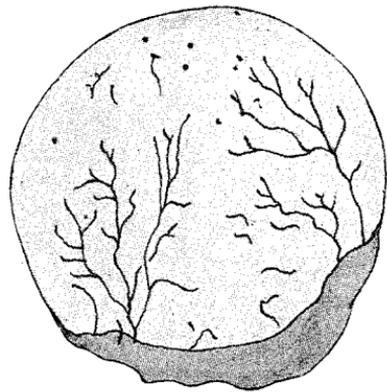


Fig. 6.  
Femur (49 cm). Sagittalschnitt durch  
die Kopfbasis.

sie anfänglich senkrecht zur Oberfläche in die Tiefe ziehen. Während die in die konvexen Knorpelabschnitte eindringenden Gefässe centralwärts konvergieren, zeigen die an der Konkavität, besonders in der *Incisura intracondyloidea* eintretenden Gefässe einen centralwärts divergierenden Verlauf, der an horizontal oder frontal geführten Schnitten besonders auffällt (Fig. 9 und 10). Die Ramifikation dieser Gefässe erfolgt derart, dass die horizontal eintretenden Gefässe in fast rechtem Winkel Äste abgeben, die parallel der Oberfläche ziehen und diese sowohl in horizontaler als in vertikaler Richtung begleiten. Die obersten, der Knochengrenze zunächst liegenden Gefässe, welche zu derselben parallel laufen, senden gegen diese ihre Äste. Das centrale Gebiet der Knochenfläche wird aber von den Endästen der durch die *Incisura intracondyloidea* eindringenden Gefässe versorgt.

Dieses letztere Gefässgebiet stammt aus einem groben Gefässnetz, das sich den *Ligamentis cruciatis* anschmiegt, ohne dieselben zu betreten.

Proximales Ende der Tibia (hierzu Fig. 12—14). Von der ganzen Cirkumferenz des Knorpelcyinders und von der Insertionsstelle der Kreuzbänder betreten reichliche Gefässe den Knorpel. Letzteres Gefässsystem besteht aus wenigen Gefässen, die sich bald nach dem Eintritt in den Knorpel in divergierende Äste derart auflösen, dass die Divergenz der Äste in der Frontalebene grösser ist als in der Sagittalebene. Diese Gefässe erreichen auch beim Neugeborenen die Knochengrenze nicht (Fig. 12 und 13). Letztere wird von horizontal eintretenden Gefässen versorgt, von welchen am Sagittalschnitt jene besonders konstant anzutreffen und durch ihr Kaliber auffällig sind, welche in der Ebene der späteren Epiphysenfuge liegen und Äste sowohl nach oben zur Gelenkfläche als nach unten zum Knochen schicken. An frontalen Schnitten vermisst man die scharfe Andeutung der Epiphysennarbe. Diese Gefässe gehören einem sehr reich entwickelten Gefässsystem an, das allseitig vom Perichondrium

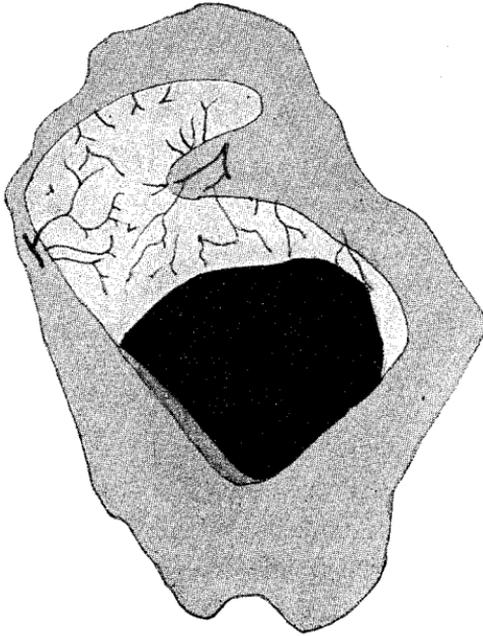


Fig. 8.

Femur (41 cm). Regio trochanterica, Schnitt senkrecht auf die Schenkelhalsachse.

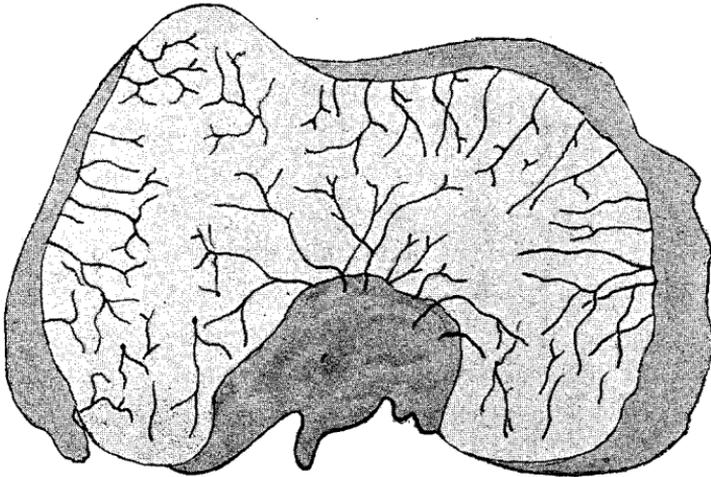


Fig. 9.

Femur (ca. 40 cm). Regio condyl. Horizontalschnitt.

her den Knorpel betritt. Die Gefäße 1. Ordnung geben Äste nach allen Seiten ab, sowohl gelenkwärts als besonders nach abwärts und in der Horizontalebene, welche letztere vielfach der Knorpeloberfläche parallel verlaufen. Entsprechend der fast durchwegs konvexen Seitenfläche des knorpeligen Tibiaknaufes zeigen die Hauptstämme einen centralwärts konvergierenden

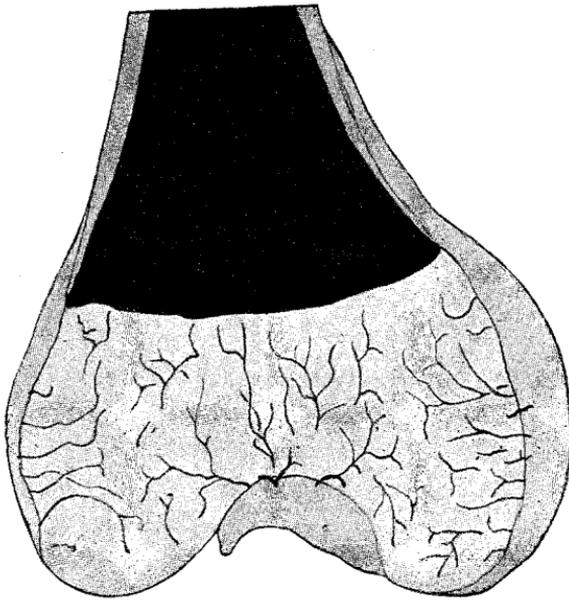


Fig. 10.

Femur (ca. 40 cm). Frontalschnitt durch die Kondylen.

Verlauf und nur die in die leicht konkave Rückseite der Tibia eindringenden Gefäße divergieren in ihrem Verlauf (Fig. 14).

Distales Ende der Tibia (hierzu Fig. 15—17). Die Gefäßverhältnisse sind sehr einfach; die horizontal verlaufenden Gefäße prävalieren und senden zahlreiche Äste gegen den Knochen und die freie Gelenkfläche, während in horizontaler Richtung nur wenig Äste abgehen. An Horizontalschnitten ist ein ähnliches Konvergieren der Gefäße zu sehen, wie am proximalen

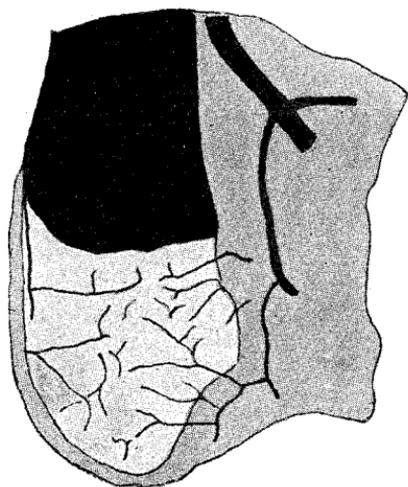


Fig. 11.

Femur (42 cm). Sagittalschnitt durch die  
Incisura intercondyloidea.

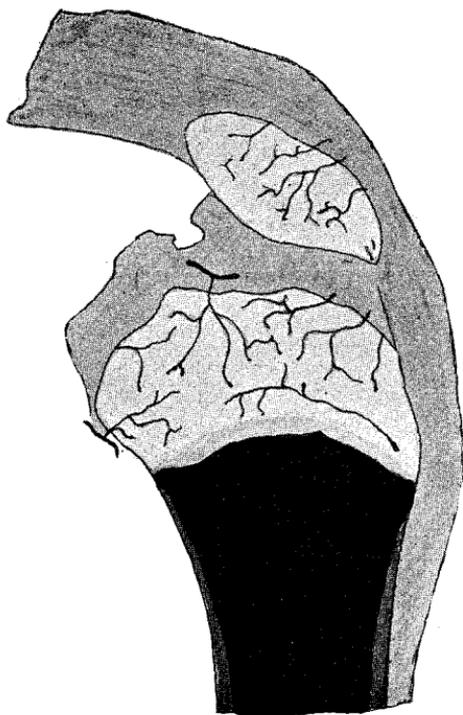


Fig. 12. Tibia (41 cm). Sagittalschnitt.

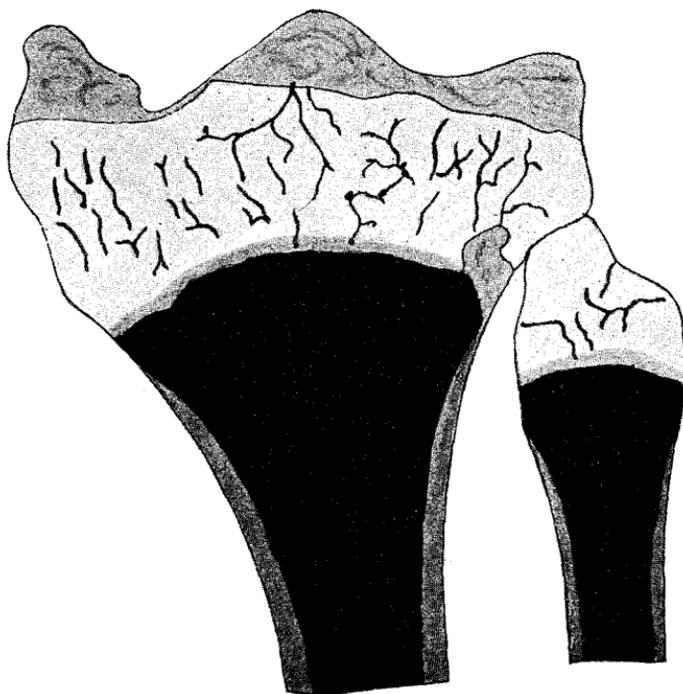


Fig. 13. Tibia (50 cm). Frontalschnitt.

Ende. Sowohl in frontalen als in sagittalen Schnitten sind die im Bereich der späteren Epiphysenfuge verlaufenden Gefässe am mächtigsten entwickelt, wobei zu bemerken ist, dass die an der vorderen Kante der Gelenkfläche eintretenden Gefässe anfänglich einen nach hinten oben ansteigenden Verlauf einschlagen, bald aber in die Horizontalebene einlenken. Der Malleolus wird von Gefässen versorgt, die teils horizontal, teils schräg nach aussen unten verlaufen.

Fibula (hierzu Fig. 13, 17—19). Die Gefässversorgung der knorpeligen Fibula ist auch bei grösseren Föten und beim Neugeborenen eine recht spärliche. In die Grübchen, welche sowohl das proximale als das distale Ende an der horizontalen Fläche aufweisen, treten einzelne Gefässe ein, die annähernd axial gegen die Knochengrenze ziehen. Etwas reichlichere Gefässe treten von der Cirkumferenz des Knorpels in horizontaler Richtung ein, deren Äste gegen den Knochen und teilweise auch gegen das freie Gelenkende des Epiphysenstückes hinziehen.

Patella (hierzu Fig. 12). Die Vaskularisation erfolgt von vorne her. Es dringen von einer ziemlich begrenzten Fläche der Vorderseite zahlreiche Gefässstämmchen ein, die gegen die Gelenkfläche verlaufen und bald nach dem Eintritt in den Knorpel Aste abgeben, die derselben annähernd parallel nach allen Richtungen laufen. Die Pole der Patella werden von kleinen Gefässchen versorgt, die den Ansatzstellen der Quadricepssehne entstammen.

Talus (hierzu Fig. 15, 16). Die hauptsächlichste Quelle der Gefässversorgung ist das Gefässnetz, welches den Sinus tarsi durchzieht. Von diesem ziehen kammförmig abgehende Äste direkt nach oben in den Talus, den sie in frontaler Richtung in ein bis zwei Reihen betreten um bald Äste unter spitzem Winkel abzugeben. Diese streben derart der Rollenfläche zu, dass ihre Endäste stets senkrecht auf dieselbe stehen. Dem entsprechend zeigen die Äste am Frontalschnitt geringere Divergenz

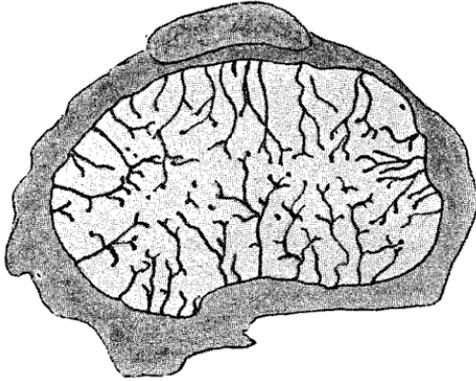


Fig. 14.

Tibia (38 cm) horizontal-, proximales Ende.

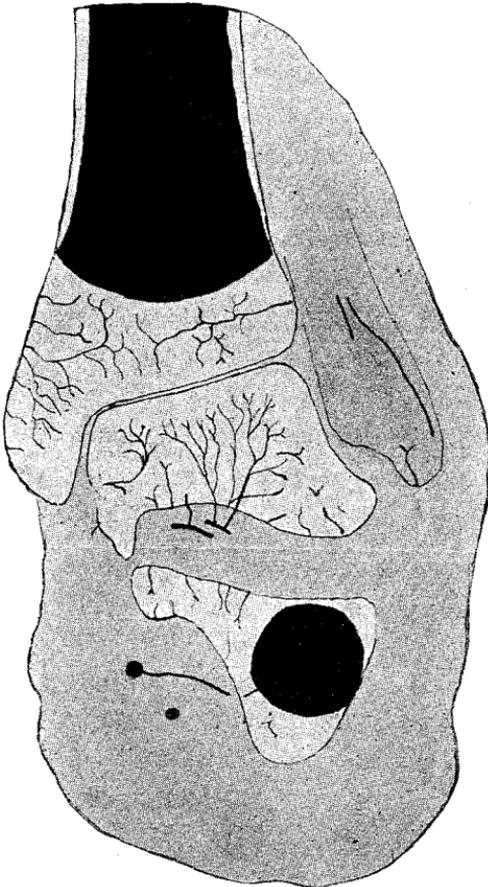


Fig. 15.

(42 cm) Frontalschnitt durch beide Sprunggelenke.

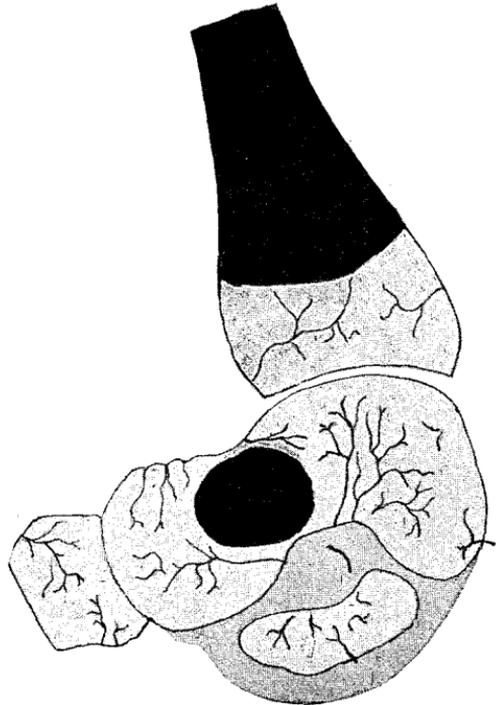


Fig. 16.

(ca. 40 cm) Sagittalschnitt durch die Sprunggelenke.

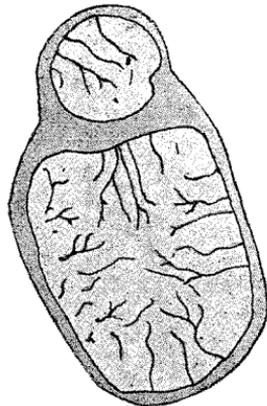


Fig. 17.

Tibia und Fibula, distales Ende (35 cm) Horizontalschnitt.

als am Sagittalschnitt. Der Taluskörper wird ausser durch diese Hauptgefässe noch von drei Seiten her mit Gefässen versorgt.

In den Processus posterior treten kleine, rasch sich aufbündelnde Gefässe ein, und am vorderen Rande der Talusrolle betreten kleine Adern den Knorpel, in welchem sie nach rückwärts ziehen und den nach vorne laufenden Ästen der aus dem Sinus tarsi emporsteigenden Gefässe entgegenkommen. Schliesslich betritt am unteren Rande der Gelenkfläche für den Malleolus internus ein ziemlich mächtiges Gefäss in horizontaler Richtung den Knorpel, welches bald gegen oben ablenkt, und den medialen Abschnitt der Rolle mit Blut versorgt. Die selbständige Gefässversorgung des Processus posterior tali ist insofern von Interesse, als gerade dieser Abschnitt des Talus bisweilen als selbständiger Knochen, Os trigonum, sich entwickelt.

Kopf und Hals werden von mehreren vom Sinus tarsi schräg nach vorne oben und aussen ziehenden Gefässen versorgt, von denen die medialen gewöhnlich die stärksten sind. Die Endäste dieser Gefässe versorgen vorzugsweise den plantaren Abschnitt des Kopfes und Halses, deren dorsale Hälfte von Gefässen durchzogen ist, welche von der oberen Cirkumferenz des Halses eintretend, schräg nach vorne und unten ziehen.

Vor dem Auftreten des Knochenkernes im Talushalse sieht man, dass die mächtigsten dieser Gefässe nahe der Talusrolle liegen und manchmal ist auch zu finden, dass die oben beschriebenen, von hier aus rückläufig die Talusrolle versiehenden Gefässe nur Äste der Gefässe des Talushalses sind.

Calcaneus (hierzu Fig. 15, 16, 20—22). Das Studium der Vaskularisation dieses Skelettabschnittes wird durch das frühzeitige Auftreten eines Knochenkernes erschwert, der seine Gefässe vorwiegend von innen und unten her bezieht, während von aussen entweder gar keine, oder nur schwächliche Gefässe in den Knochen eindringen.

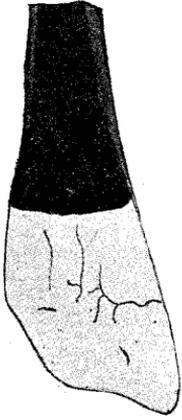


Fig. 18.  
Fibula distales Ende  
(ca. 40 cm) frontal.



Fig. 19.  
Fibula distales  
Ende (35 cm)  
sagittal.

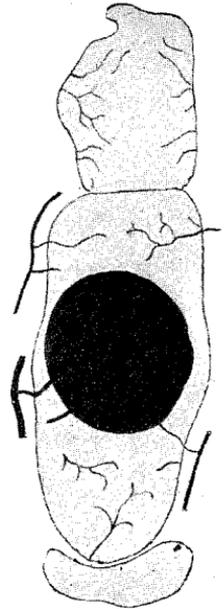


Fig. 21.  
Calcaneus u. Cuboideum  
(41 cm) Horizontalschn.

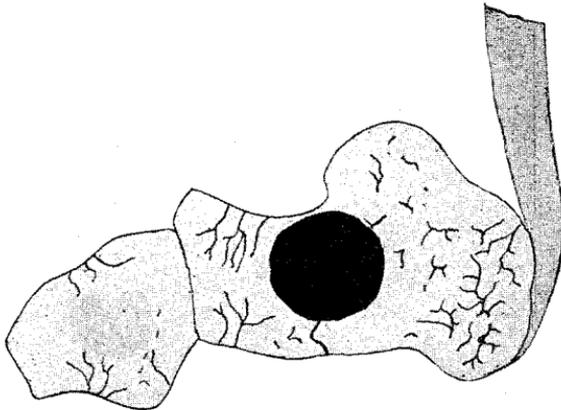


Fig. 20.  
Calcaneus und Cuboideum (35 cm) Sagittalschnitt.

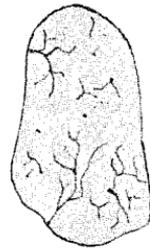


Fig. 22.  
Tuber calcanei  
(42 cm) Frontal-  
schnitt.

Vom Sinus tarsi her gräbt sich schon sehr frühzeitig eine beträchtliche Anzahl von Gefässen gegen den Processus anterior calcanei und das Sustentaculum tali ein, die ziemlich steil nach abwärts verlaufen. Der übrige Anteil des Processus anterior wird von Gefässen versorgt, die von allen Seiten mit Ausnahme der Gelenkflächen eintreten und konvergierend gegen die Längsachse des Knorpels verlaufen.

Der Processus posterior empfängt ebenfalls von allen Seiten her Gefässe, die dem perichondralen Gefässnetze entstammen und bald nach Eintritt in den Knorpel büschelförmig zerfallen.

Naviculare (hierzu Fig. 16). Von der dorsalen und plantaren Seite her dringen dicht nebeneinander Gefässchen ein, deren Äste auch gegen die freien Gelenkflächen hinziehen. Die Gefässanordnung ist entsprechend der regelmässigen Gestalt des Knorpels eine sehr übersichtliche, während bei dem Cuboideum (Fig. 20, 21) einzelne Gefässgruppen konvergierenden, andere wieder divergierenden Verlauf zeigen, je nachdem sie an einer der konvexen oder konkaven Flächen in den Knorpel eindringen.

## II. Obere Extremität.

Proximales Humerusende (hierzu Fig. 23—26). Der Humeruskopf zeichnet sich durch die Mächtigkeit seiner Gefässanlagen aus, die durch die Entwicklung eines besonders weiten mehrfach sich spaltenden und wieder vereinigenden Knorpelkanales ein besonderes Gepräge erhält. Dieser Knorpelkanal, für den in allen anderen untersuchten Knorpelabschnitten des Skelettes kein Analogon gefunden werden konnte, zieht von der vorderen Kante des Tuberculum majus im oberen Teile des Sulcus intertubercularis horizontal in den Oberarmkopf und liegt in der Höhe der späteren Epiphysennarbe. Von seinen hauptsächlich in horizontaler Richtung verlaufenden Nebenkanälen gehen erst

die Gefäße in den Knorpel nach verschiedenen Richtungen ab. Die einen konturieren die obere Kopfkalotte, gegen welche sie

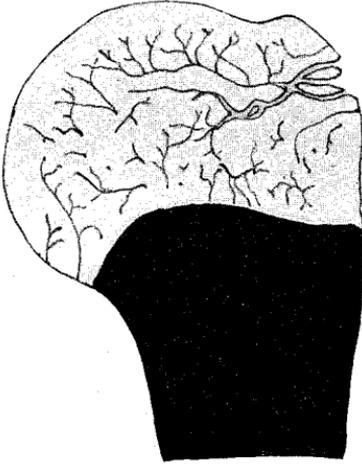


Fig. 23.

Humeruskopf (41 cm) Frontalschnitt.

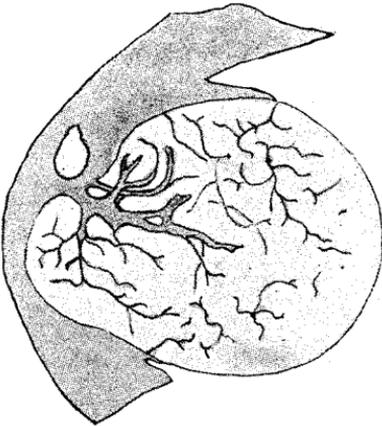


Fig. 24.

Humeruskopf (43 cm) Horizontalschnitt.

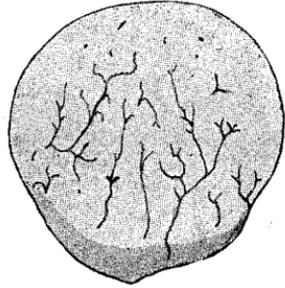


Fig. 25.

Humeruskopf (41 cm)  
Sagittalschnitt.

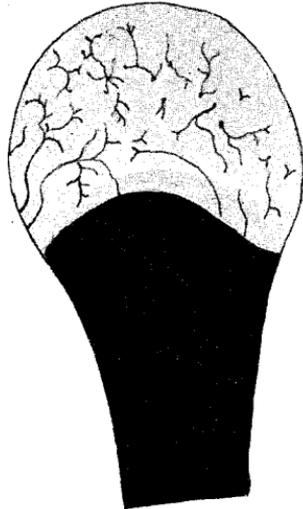


Fig. 26.

Humeruskopf (41 cm) Sagittal-  
schnitt durch die Tubercula,  
laterale Fläche.

senkrecht zur Oberfläche ausstrahlende Äste abgeben, die anderen ziehen schräge nach rückwärts durch das Gefüge des Tuber-

culum majus, dessen Masse dadurch gleichsam von der übrigen Epiphyse abgetrennt wird. Es wird von diesem Gefäße, sowie von horizontal eintretenden Gefäßen des perichondralen Netzes mit Blut versorgt.

Ein zweites Gefäßgebiet versorgt die gelenkwärts sehende Partie des Humeruskopfes in ähnlicher Weise, wie dies am Femurkopf der Fall ist. Diese Gefäße entstammen dem reichen Gefäßkranz, der die Kapselinsertion umspinnt. Sie ziehen von dort nach oben in den Kopf bis zu den Endausläufern des horizontalen Gefäßsystems, während ihre Äste gegen das Innere des Kopfes gerichtet sind.

Man sieht dementsprechend an Frontalschnitten vorwiegend längsgetroffene Gefäße, während an Sagittalschnitten die obere Kopfhälfte von den Querschnitten des oberen horizontalen Systemes erfüllt ist, die untere aber wieder die längsgetroffenen Gefäße des aufsteigenden Systems aufweist. Am weiter lateral angelegten Sagittalschnitten findet man ausser den zahlreichen Querschnitten der Horizontalgefäße im unteren Anteil des Knorpels Gefäße, die den vertikalen Verlauf aufgeben und bogenförmig fast parallel der Knochengrenze hinstreichen und so auch in sagittaler Richtung die spätere Epiphysengrenze andeuten.

Distales Humerusende (hierzu Fig. 27, 28). Über die Gefäßverteilung in diesem Skelettabschnitt erteilt die Überprüfung von Frontalschnitten nur wenig Aufklärung. An ganzen Epiphysen sieht man von vorne und rückwärts längs der Kapselinsertion Gefäße eintreten, die sich derart aufbündeln, dass die Äste sowohl Trochlea als Eminentia capitata als getrennte Gefäßgebiete versorgen. Genaueren Einblick in die Gefäßversorgung geben sagittal geführte Schnitte.

Im Bereich der Trochlea treten von vorne und rückwärts Gefäße in den Knorpel, die mit schräg nach unten gerichtetem Verlauf sich zu kreuzen scheinen, jedoch in Wirklichkeit sich

nicht erreichen. Der Anschein der Kreuzung wird dadurch erzeugt, dass die Äste der Gefäßstämme, die vorne eintreten, derart verlaufen, dass sie in der Richtung der von rückwärts kommenden Gefäße liegen und umgekehrt die Äste dieser Stämme die Direktion der vorne eintretenden Adern einnehmen.

Im Bereiche der Eminentia capitata ändert sich die Gefäßrichtung derart, dass die an der Beugeseite eintretenden Gefäße

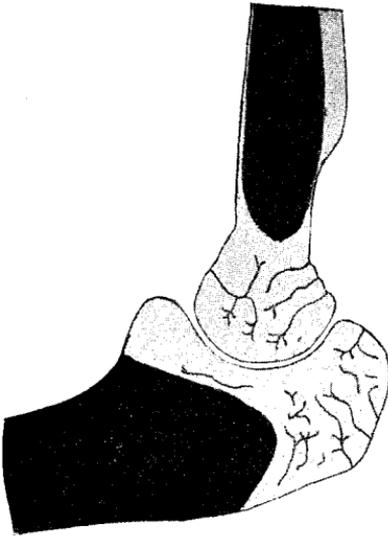


Fig. 27.

Ellbogengelenk (41 cm) Sagittalschnitt durch Trochlea und Olecranon.

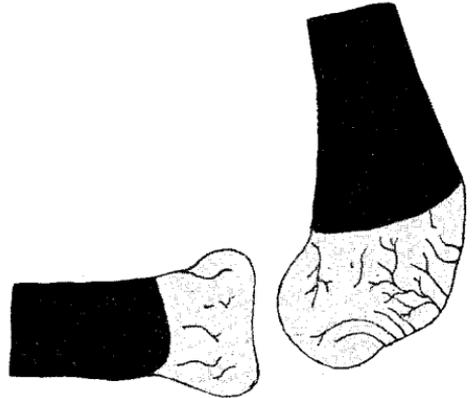


Fig. 28.

Ellbogengelenk (41 cm) Frontalschnitt durch die Eminentia capitata und Radius.

direkt nach abwärts, die an der Streckseite eintretenden Gefäße mehr weniger horizontal verlaufen, so dass die ganze Anordnung der Gefäße sehr an die im proximalen Humerusende erinnert. Die Äste der an der Streckseite eintretenden Gefäße ziehen grösstenteils ascendierend in der Richtung zum Knochen.

Proximales Ende der Ulna. (Fig. 27.) Da die Ossifikationsgrenze an diesem Knochen schon in früher Zeit ziemlich weit centralwärts fortgeschritten ist, ist nur das Gebiet des Olecranon und des Processus coronoideus als Objekt für das Studium des Ge-

fässverlaufes verwendbar. Im Olekranon sieht man Gefässe an Sagittalschnitten, die vom Perichondrium in den Knorpel eindringen und gegen die Incisura semilunaris konvergierend verlaufen, sodass sie die ganze Dicke des Olekranon durchsetzen. Ihre Äste gehen senkrecht ab und laufen der perichondralen Oberfläche des Olekranon annähernd parallel. Im vorderen Abschnitt der knorpeligen Ulna lässt sich durch Injektion ein Gefäss darstellen, das parallel dem volaren Schenkel der geknickten Ossifikationsgrenze verlaufend, bis unter den tiefsten Punkt der Gelenkfläche zieht, das Gebiet des Processus coronoideus gleichsam abscheidend. An Frontalschnitten finden sich reichliche Gefässe, die von beiden Seiten her gegen die Mitte des Knorpelstückes verlaufen; die distal eintretenden Gefässe zeigen einen schräg centralwärts ziehenden Verlauf, die proximalen ziehen fast transversal.

Proximales Ende des Radius (Fig. 28). Die Gefässe betreten den Knorpel in der Gegend des Ligamentum annulare und ziehen annähernd parallel centralwärts gegen den Rand des Grübchens der Rotula. Die Ramifikation dieser Gefässe ist eine recht spärliche.

---

Bevor ich auf den Vergleich der Gefässrichtung und der räumlichen Orientierung der Spongiosalamellen näher eingehe, möchte ich noch auf einzelne Punkte hinweisen, welche zeigen, dass die Vaskularisation der knorpeligen Skelettabschnitte, so mannigfach sie auch auf den ersten Blick erscheint, doch bestimmte und einfache Gesetze erkennen lässt.

Das eine dieser Gesetze lautet, dass die vom perichondralen Netze abgehenden Gefässe annähernd senkrecht in den Knorpel eindringen. Diese Anordnung bringt es mit sich, dass jene Gefässe, die von einer planen Fläche aus den Knorpel betreten, in diesem annähernd parallel laufen, während Gefässe, die eine

konvexe Fläche als Einbruchspforte benutzen, centralwärts konvergieren, von konkaven Flächen aus aber centralwärts divergieren.

So sehen wir am centralen Tibiaknaufe im Horizontalschnitt entsprechend der vorwiegend konvexen Oberfläche die Gefäße nach innen zu konvergieren, während an der tiefen Bucht der *Incisura intercondyloidea femoris*, ferner entsprechend dem tiefsten Punkte der *Fossa trochanterica*, dem *Sulcus intertubercularis humeri* etc. bedeutende Divergenz der eindringenden Gefäße zu konstatieren ist.

Die Gefäße, welche von der Gelenkscapselininsertion gegen einen weit prominierenden Gelenkkopf ziehen, und die Gefäße, die an der Grenze der perichondralen Ossifikation der Diaphyse eintreten, verlaufen nicht senkrecht zur Achse des betreffenden Knochens, sondern unter einem mehr weniger spitzen Winkel.

Die Verästelung der Gefäße erfolgt derart, dass die horizontal verlaufenden Gefäße Zweige in aufsteigender, absteigender und horizontaler Richtung abgeben, welche der Oberfläche des Knorpels parallel verlaufen.

Die Endäste der Gefäße, die gegen eine freie Gelenkfläche verlaufen, zeigen einen auf diese senkrechten Verlauf.

Anastomosen der Knorpelkanälchen kommen in den untersuchten Gelenkabschnitten typisch nur am Humeruskopf vor. Ausgedehnte Anastomosen der Adern des knorpeligen mit dem schon verknöcherten Abschnitte eines Röhrenknochens fehlen; da auch die Knorpelgefäße Endgefäße darstellen, so wird bei dem Vorschreiten der Ossifikation von der Diaphyse her ein Gefäßgebiet des Knorpels nach dem anderen in den Kreislauf der Knochengefäße einbezogen, ohne dass der Rest der Knorpelgefäße seine relative Selbständigkeit verliert.

Die spätere Epiphysen-Diaphysenfuge ist bei den meisten grossen Röhrenknochen schon frühzeitig durch eine Reihe von Gefäßen markiert.

Diese Gruppierungsgesetze der Gefäßbündel des knorpeligen Skelettes gewinnen an Interesse, wenn man sie den allgemeinen Gesetzen des Spongiosabaues gegenüber hält.

Das eine dieser Gesetze besagt, dass die Endigungen der Spongiosabälkchen senkrecht zur Gelenkoberfläche orientiert sind; dieses Verhalten zeigen auch die Gefäße der noch knorpeligen Epiphyse.

Weiteres zeigt Albert, dass die Systeme der frontalen und sagittalen Lamellenzüge in allen Diaphysenkolben gekreuzt werden von horizontalen Lamellen, die als Bindeglieder zwischen den vertikalen Lamellen dienen. Besonders schön sind diese Lamellen an den Gelenkenden atrophischer Knochen zu sehen. Im Gefäßsystem spielen zwar die horizontalen Gefäße die Hauptrolle, aber ihr Verhalten zu den vertikalen Gefäßen, ihren Ästen, ist ganz ähnlich wie am Knochen.

Derselbe Autor zeigt, dass an konkaven Knochenflächen stets ein verdicktes Lager von kompakter Knochensubstanz zu finden ist, von dem aus radiäre divergierende Lamellen ins Innere der Spongiosa ausstrahlen. Denselben Gesetzen folgen die an konkaven Flächen den Knorpel betreffenden Gefäße.

Im Bereich des Diaphysenkolbens findet ein Aufblättern der Corticalis derart statt, dass eine Schichte nach der anderen centralwärts ablenkt. Dementsprechend sehen wir am Rande der perichondralen Ossifikation also an der Basis des Diaphysenkolbens Gefäße schräg nach innen und auch parallel der Hauptachse des betreffenden Skeletteiles gegen die Epiphyse verlaufen.

Wenn schon die Feststellung dieser allgemeinen Analogien des Gefäßverlaufes in den knorpeligen Skelettabschnitten und der Spongiosalamellen genügend Anhaltspunkte bietet, die Architektur des fertig gebildeten Knochens mit der Gefäßversorgung des Knorpels im Fötalalter und der ersten Zeit des extrauterinen Lebens in Zusammenhang zu bringen, so erfährt

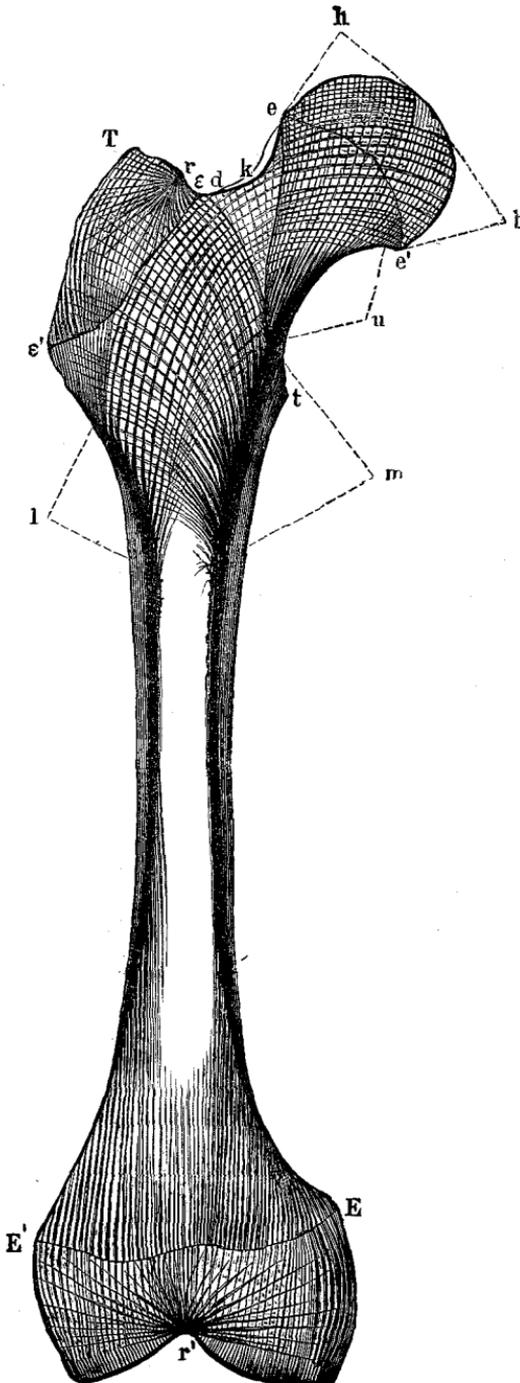


Fig. 29.

diese Annahme noch eine wesentliche Stütze beim vergleichenden Studium der einzelnen Knochen im fötalen und ausgebildeten Stadium.

Wir beginnen wieder beim koxalen Femurende und vergleichen Schnittbene für Schnittbene, um die Kongruenz der fraglichen Gebilde möglichst anschaulich zu machen.

Was zunächst den frontalen Hauptschnitt anbelangt (vgl. Fig. 1, 2, 3 mit Fig. 29), so zeigt die allgemein gebräuchliche schematische Darstellung folgendes: der Scheitelpunkt der Trajektorien liegt nahe dem tiefsten Punkte der Fossa trochanterica und die Kreuzungsstelle derselben liegen in Linien, die der Längsachse des Innenschafes entsprechen, respektive ihr parallel liegen.

An derselben Stelle findet sich im Jugendstadium des Femur ein Radiationspunkt von Gefäßen, die divergierend gegen die Ossifikationsgrenze ziehen. Ihre Hauptstämme entsprechen dem Mantel eines Kegels, dessen Basis die Ossifikationsgrenze ist. Die Äste der lateralen Gefäße ziehen derart schräge nach abwärts und medial, die der medialen Gefäße nach abwärts und ateral, dass die Nebenäste der einen Seite parallel den Hauptstämmen der anderen Seite ziehen. Es entspricht also sowohl das ganze Gefäßgebiet nach Lage und Ausdehnung dem kegelförmigen Gebiete der Trajektorien, als das Verhalten der Gefäße im Inneren des Kegels den Richtungen der centraler gelegenen Lamellen des Trajektoriensystemes.

An der Innenseite des Trochanter major findet sich eine Verdichtung der Corticalis, von der aus strahlige Züge von Lamellen den Trochanter betreten. Diesen Zügen entspricht eine Radiation von Gefäßen, die von der Fossa trochanterica her den Trochanter versorgen, während die Aussenseite des Trochanter von mehr weniger transversal ziehenden Gefäßen beschickt wird, denen im erwachsenen Knochen transversale und schräg gegen die Ausläufer der medialen Trajektorien hinziehende Knochenlamellen entsprechen.

Der Femurkopf zeigt an Frontalschnitten mächtige Lamellen, die von der sich aufblätternden Corticalis der Halsperipherie abstammen (Ausläufer des oberen Schenkelspornes, Albert). Ihr gegen den Umbo leicht konvexer Verlauf führt sie gegen die obere Kopfkalotte, die sie senkrecht auf die Gelenkfläche aufstossend, erreichen. Dieser Knochenmasse entsprechen im knorpeligen Femurkopf jene Gefäße, die von der unteren Cirkumferenz des Schenkelhalses und von der Gegend des Trochanter minor in leicht medialwärts konvexem Verlaufe dem Kopfscheitel zustreben.

Ihre Äste, die wie am Eingang der Arbeit beschrieben, die Medianebene ihres Stammes nicht verlassen, ziehen nach aussen

oben hin jenen Gefässen entgegen, welche die obere Kopfhälfte einnehmen.

Diese weist am fertigen Knochen Lamellenzüge auf, die vom Schenkelhalse in nach oben konvexem Verlauf die eben beschriebenen, von unten aufsteigenden Lamellen kreuzen, um zur unteren Cirkumferenz des Kopfes, unterhalb des Umbo zu gelangen. Ihnen entsprechen am knorpeligen Femur Gefässe, die sich von der oberen Cirkumferenz des Schenkelhalses und dem Kapselansatze her in den Kopf einbetten, um in ihrem Verlaufe die Richtung der Äste der von unten aufsteigenden Gefässe einzuschlagen. Die beiden Gefässanlagen produzieren also schon das Bild jener Lamellenzüge, welche die Autoren als Fortsetzung der lateralen Trajektorien auffassen.

Dem lockeren Spongiosalager am Umbo entsprechen die kleinen, daselbst eintretenden Gefässchen.

So wie am Frontalschnitte ist auch an den in anderer Richtung geführten Schnitten durch das knorpelige Femur und den fertigen Knochen eine grosse Übereinstimmung zwischen Gefäss- und Lamellenrichtung zu sehen.

Ein Sagittalschnitt des Femur durch die Basis des Schenkelhalses weist zwei vorwiegende Lamellenrichtungen auf. (Vergl. Fig. 6, 7, 8 mit Fig. 30 und 31.) In der unteren Hälfte annähernd parallel aufsteigende Lamellen, die sich in der oberen Hälfte mit annähernd horizontal ziehenden fast rechtwinkelig schneiden. Letztere entsprechen den Abkömmlingen der lateralen Trajektorien, die nach Kreuzung mit den medialen der unteren Kopfhälfte zustreben, auf welchem Wege sie den Ausläufern des oberen Schenkelspornes begegnen, die von unten nach oben ziehen.

Am injizierten Knorpel des Fötus zeigen gleich geführte Schnitte im unteren Teile längs getroffene Gefässe, die im oberen Teile des Schnittes von Querschnitten horizontal und frontal verlaufender Gefässe und deren horizontal und sagittal verlaufen-

den Ästen abgelöst werden. Noch weiter lateralwärts im Bereiche des Trochanter major begegnen wir am Knochenschnitt einem Knochenkern, der nach vorne in die Substanz des Trochanter einen Radianten von Lamellen entsendet. Wir sehen ferner wieder das System der Trajektorien und finden am In-



Fig. 30.

agittalschnitt durch den Schenkelhals.

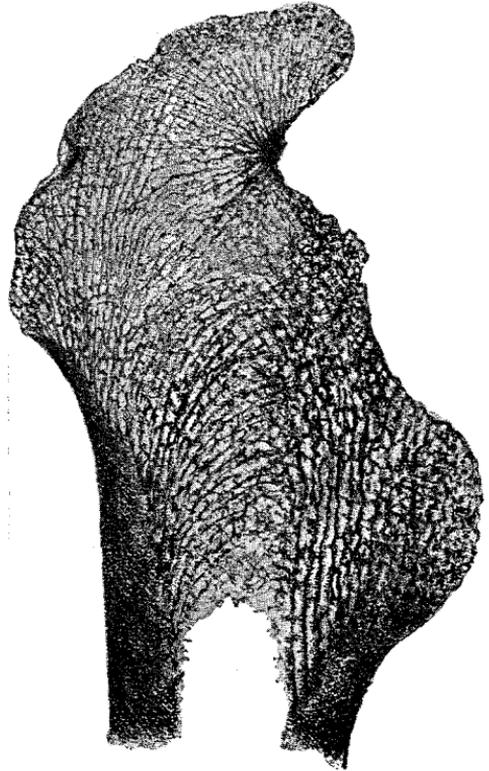


Fig. 31.

Diagonaler Vertikalschnitt durch die Regio trochanterica femoris.

jektionspräparate des Knorpels an gleicher Stelle die entsprechenden Gefäßformationen.

Auf einem Schnitt, annähernd parallel der Schenkelhalsachse (vergl. Fig. 5 und 32) sieht man gegen den Femurkopf divergierende Knochenstrahlen von der hinteren Halsseite her ver-

laufen, die sich mit ähnlichen Gebilden, die der vorderen Halsseite entstammen, kreuzen. Die lateralsten dieser Lamellen gehen unter einem stumpfen Winkel von der Corticalis ab, die medialsten zeigen schon eine sehr geringe Neigung gegen die Schenkelhalsachse. Lateral von der Kreuzungsstelle beider La-

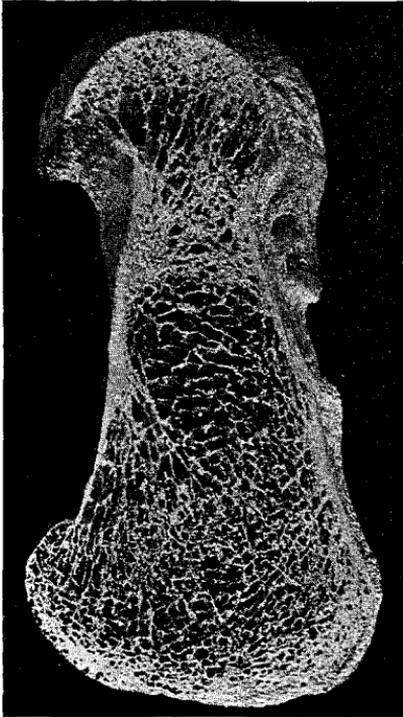


Fig. 32.

Schnitt durch das Femur parallel der Schenkelhalsachse.

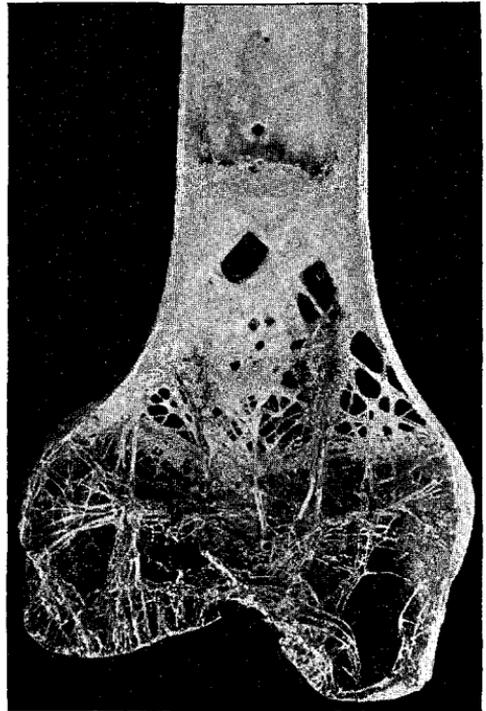


Fig. 33.

Frontalschnitt durch das distale Ende eines atrophischen Femur.

mellensysteme liegt das lockere Gefüge des Halskeiles (Albert). Weiter lateral trifft man das Gebiet des abgekappten Trajektorien systems.

Vergleicht man mit diesem Bilde die Fig. 5, so ist besonders an der vorderen Seite (im Bilde rechts) die Stellung der

eintretenden Gefässe charakteristisch, da die lateralsten Halsgefässe fast senkrecht, die weiter medial gelegenen immer schräger eintreten, so dass das letzte grosse Gefäss, welches sich in den Femurkopf begiebt, schon fast der Schenkelhalsachse parallel verläuft. An der rückwärtigen Wand des Schenkelhalses ist die Gefässanordnung die gleiche, nur war die Füllung des sonst verwertbaren Präparates keine tadellose.

Hat der komplizierte Aufbau des koxalen Femurendes eine etwas weitschweifige Schilderung der in Frage stehenden Verhältnisse nötig gemacht, so liegen am distalen Femurende einfachere Bilder vor.

Vergleichen wir die Frontalschnitte (Fig. 10 und Fig. 29, 33 und 34) so sehen wir an der schematischen Figur den hochentwickelten Radianten des unteren Schenkelspornes (Albert); wir sehen ferner Knochenzüge, die annähernd parallel von oben nach unten streichen und den Durchschnitten der Konturlamellen (Albert) entsprechen. Am injizierten Knorpel finden wir wieder Gefässe, die radiär aus der Incisura intercondyloidea in den Knorpel einstrahlen. In zweiter Linie finden wir horizontal verlaufende Gefässe, deren Bedeutung für die Knochenstruktur aus der schematischen Zeichnung nicht erhellt, wohl aber aus dem Anblick des Frontalschnittes durch den atrophischen Femur (Fig. 33 und 34). Die vertikalen Konturlamellen sehen wir am Injektionspräparat repräsentiert durch die Äste der horizontalen Gefässe, die fast rechtwinkelig nach oben und unten abgehen.

Ganz analog sind die Verhältnisse am Horizontalschnitt (Fig. 9 und 35) an denen der untere Schenkelsporn und die Konturlamellen hervortreten. Man sieht ferner, dass am Knochen die Blätter des Radianten bis an die Corticalis reichen, während im Gefässbilde die Richtung der radiär ziehenden Gefässe der Incisur von den horizontalen Gefässen aufgenommen wird, welche dem perichondralen Netze entspringen.

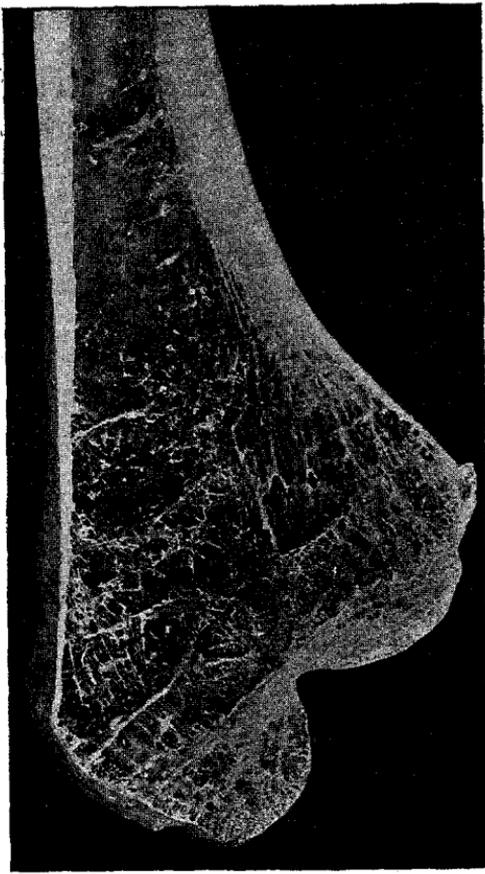


Fig. 34.

Atrophie des Femur infolge Gena valgum.

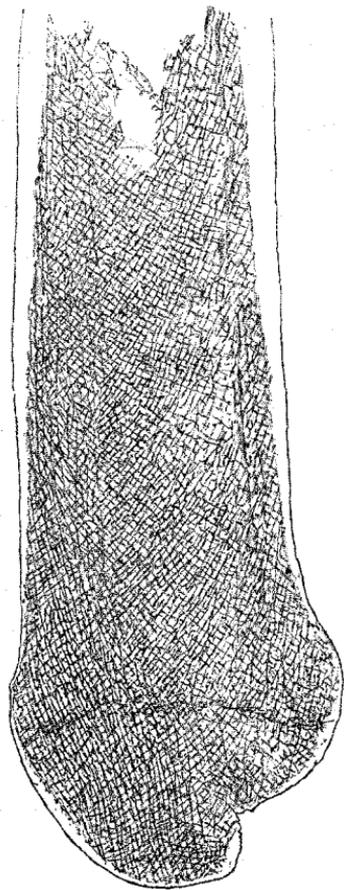


Fig. 36.

Sagittalschnitt durch die Incissura intercondyloidea.

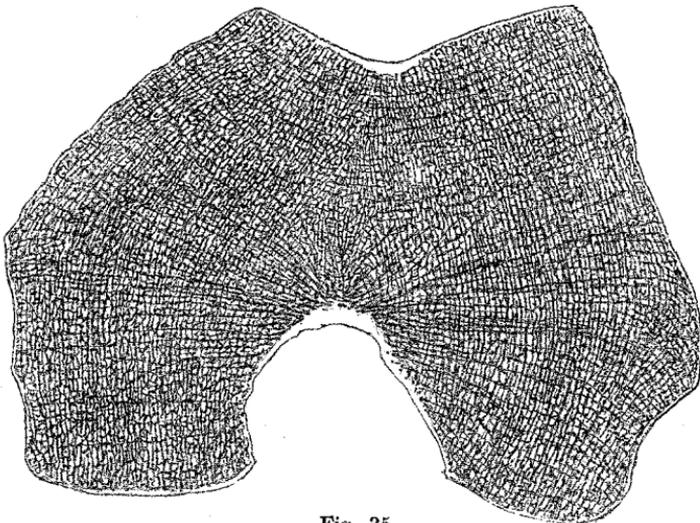


Fig. 35.

Querschnitt durch das distale Femurende.

Der Sagittalschnitt durch die Incisura intercondyloidea (vergl. Fig. 11 und 36) bietet insofern etwas Neues, als wir hier Knochenzüge verfolgen können, welche von hinten unten nach vorne oben ziehen; auf welchem Wege sie die von der Corticalis der



Fig. 37.

Sagittalschnitt durch das proximale Ende der Tibia.

Fossa poplitea abblätternen Spongiosalamellen kreuzen, wodurch ein dem Trajektorienbau des koxalen Femurendes ähnliches Bild entsteht. Auch diese schräg nach vorne oben verlaufenden Lamellen finden ihre Vorboten am Injektionspräparat des Knorpels, da die Gefäße, welche die auch in sagittaler Richtung konkave Incisura intercondyloidea in der Medianebene betreten,

einen divergenten Verlauf einschlagen, wobei sie das Gebiet der an der Rückseite des Knorpels schräge nach vorne unten verlaufende Gefäße kreuzen.

Gehen wir zur Betrachtung des proximalen Endes der Tibia über, so findet sich am Sagittalschnitte des Knochens (Fig. 12 und 37) eine Lamellenanordnung, die dem Trajektoriensystem des koxalen Femurendes ähnelt, aber doch, wie Albert be-

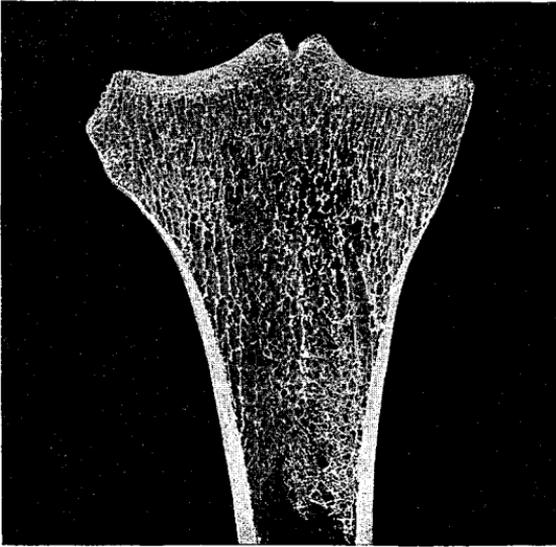


Fig. 38.

Frontalschnitt durch das obere Ende der Tibia.

wiesen hat, eine andere Bedeutung besitzt. Verfolgt man dieses System von der Eminentia interglenoidalis der Gelenkfläche aus, wo annähernd der Scheitelpunkt des fraglichen Systems liegt, so sieht man Knochenlamellen, die ziemlich steil nach abwärts verlaufend, zu der sich verjüngenden Corticalis der Rückwand der Tibia hinziehen und andere schräg nach vorne abwärts gegen jene Stelle der Epiphysennarbe verlaufen, gegen welche die von unten vorn nach oben hinten ziehenden Abkömmlinge der

Vorderwand der Tibia streben. In dem Raume zwischen Epiphysennarbe und dem vorderen Lamellenbüschel aus der Eminentia interglenoidalis sieht man wieder lockere Spongiosa, deren Hauptzüge den betreffenden Raum annähernd horizontal durchqueren und welche von dünneren vertikal gegen die Epiphysennarbe tendierenden Lamellen gekreuzt werden.

Hält man das Bild eines injizierten noch knorpeligen Tibiaendes dagegen (Fig. 12), so fallen sofort am Scheitelpunkt des späteren fraglichen Trajektoriensystemes Gefässe auf, deren Äste divergierend nach vorn und rückwärts gegen die Knochengrenze ziehen, ferner im vorderen Teile horizontal verlaufende Gefässe, deren Äste vertikal nach abwärts streben. Das peripherste der horizontalen Gefässe markiert deutlich die Lage der späteren Epiphysennarbe, welches Bild noch durch ein von rückwärts in den Tibiaknorpel eindringendes Gefäss vervollkommenet wird.

Die Beziehung dieser leicht bogenförmig im Knorpel verlaufenden Gefässe zur späteren Epiphysennarbe wird bei Betrachtung eines Frontalschnittes noch auffälliger. Dieser (Fig. 38) zeigt die Epiphysennarbe viel weniger deutlich, welchem Befunde entsprechend auch am Knorpelpräparate (Fig. 13) im Frontalschnitt grössere horizontal verlaufende Gefässe fehlen. Am Knochen prävalieren, ebenso wie am Knorpel vorwiegend aufsteigende Gefässzüge vorliegen, vertikal aufsteigende Lamellen. Am Scheitel der Eminentia interglenoidalis zeigt sich ebenso wie am Sagittalschnitt ein Gefässradiant, dessen Äste erster Ordnung aber so stark divergieren, dass sie fast der Gelenkfläche parallel laufen, während die Äste zweiter Ordnung vertikal nach abwärts ziehen. Auch diese Gefässanordnung ist am Knochenschnitt durch Lamellenzüge reproduziert, die die Gelenkflächen konturieren und nach abwärts vertikale Lamellen entsenden.

Das zierliche und scheinbar regellose Gewirre, das die Spongiosa am Horizontalschnitte darbietet, wurde von Albert in seine einzelnen Komponenten zerlegt und erfährt eine weitere

Klärung bei Betrachtung eines Horizontalschnittes durch den injizierten Knorpel (vergl. Fig. 39 mit Fig. 14), an welchem die vorwiegend konvergierenden Horizontalgefäße mit ihrem parallel der Oberfläche verlaufenden Ästen das System der radiären und Konturlamellen am Knochen andeuten.

Ebenso wie das periphere Femurende ist auch das periphere Ende der Tibia wesentlich einfacher gebaut, als das centrale (vgl. Fig. 40—43 mit Fig. 15—17). Man sieht am Frontalschnitt

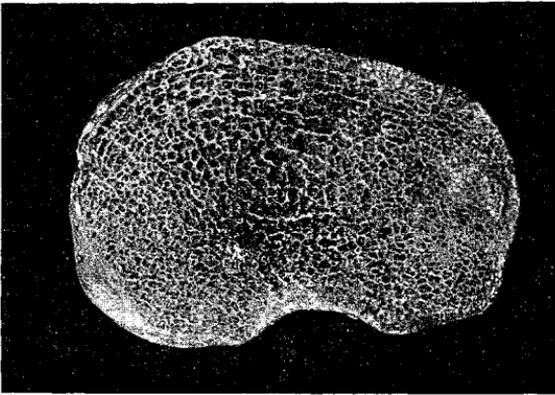


Fig. 39.

Querschnitt durch das proximale Ende der Tibia.

vorwiegend Züge die von der Wand des ausladenden Diaphysenkolbens nach abwärts gegen die horizontale Gelenkfläche der Tibia und in das Gefüge des Malleolus internus ziehen (Fig. 40). Diese Knochenlamellen werden durchquert von horizontalen Lamellen, von denen eine der Epiphysennarbe entspricht. Diese Horizontallamellen sind besonders schön am Frontalschnitt, durch eine atrophische Tibia (Fig. 41) ausgesprochen, weniger schön am normalen Knochen, wo sie durch die zwar zarten, aber dichten Vertikallamellen verdeckt werden. Im Bereich des Malleolus internus treten noch Knochenzüge hinzu, die in schrägem Verlaufe die Wände des Knöchels verbinden.

Das Bild des atrophischen Schienbeins eignet sich besonders zum Vergleiche der Knorpelvaskularisation und der Lamellenzüge. Am Knorpelpräparat (Fig. 15) sehen wir deutlich die horizontal verlaufenden Gefässe, deren Äste vertikal gegen die Knochengrenze und leicht konvergierend gegen die Gelenkfläche ziehen. Die Gefässe, die von innen her den Malleolus betreten, lenken gegen seine Spitze ab, sodass sie in ihm axial zu liegen kommen. Sie repräsentieren nach ihrem Verlauf die von der Diaphyse in den Malleolus dringenden vertikalen und die in ihm schräg die Wände verbindenden Lamellen.

Ähnliche Verhältnisse weist der Sagittalschnitt auf (Fig. 42). Auch hier blättert sich die Corticalis in Züge auf, die senkrecht gegen die konkave Gelenkfläche ziehen. Eine gleiche konvergierende Richtung weisen auch die den horizontalen Gefässen entstammenden, die Gegend der Gelenkfläche versorgenden Gefässäste auf (Fig. 16).

Die Struktur des peripheren Tibiaendes weist mit der des centralen am Horizontalschnitt grosse Ähnlichkeit auf, indem hier ebenfalls, besonders in den vorderen Abschnitten Konturlamellen prävalieren, während die rückwärtigen Teile ein ziemlich wirres Bild feinmaschiger Spongiosa aufweisen, in welcher schwerer als am oberen Diaphysenkolben bestimmte Lamellenzüge herauszufinden sind. In der lateralen und medialen Spongiosamasse sind Lamellen zu sehen, die fast parallel gegen die Mitte des Spongiosalagers ziehen. Auch diese Züge, sowie die Konturlamellen lassen sich unschwer aus dem injizierten Knorpel nach der Gefässrichtung herauslesen (vergl. Fig. 17 und Fig. 43).

Der recht komplizierte Aufbau des Talus erfährt eine wesentliche Klärung beim Vergleiche mit den Gefässverhältnissen (hierzu Fig. 15, 16, zum Vergleich mit Fig. 44—46). Am Sagittalschnitte dieses Knochens, der etwas medial von der Massenmitte desselben verläuft (Fig. 44), sieht man vom vorderen

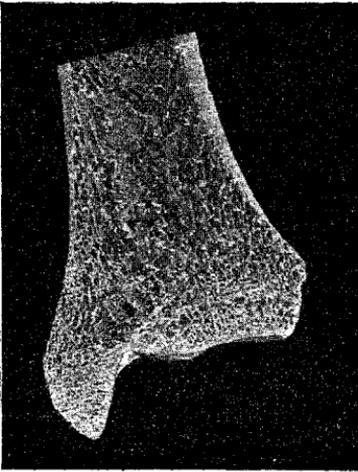


Fig. 40.  
Frontalschnitt durch das periphere  
Ende der Tibia.

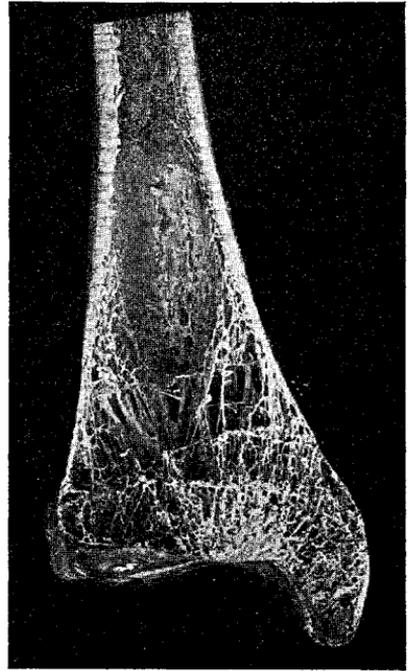


Fig. 41.  
Frontalschnitt durch das distale Ende  
einer atrophischen Tibia.

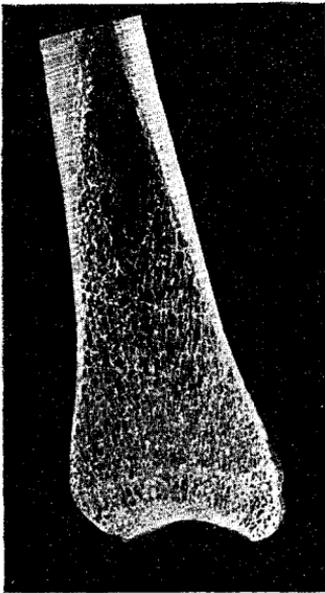


Fig. 42.  
Sagittalschnitt durch das periphere  
Ende der Tibia.

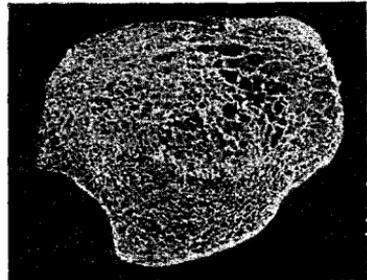


Fig. 43.  
Horizontalschnitt durch das distale Ende  
der Tibia.

Rande des tief eingegrabenen Sulcus tali mächtige Knochenpfeiler nach aufwärts streben, von denen die vorderen nahe der Mitte der Knochenmasse derart bogenförmig nach vorne mit nach oben gerichteter Konvexität ablenken, dass sie gegen die obere und mittlere Partie des Kahnbeingelenkes verlaufen. Albert vergleicht diesen Teil der Knochenmasse mit einer Pi-

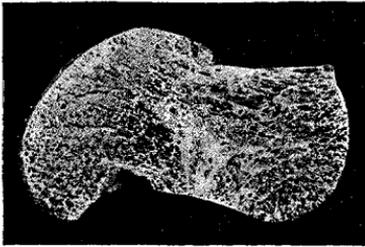


Fig. 44.

Sagittalschnitt durch den Talus.

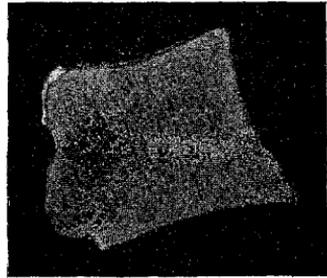


Fig. 45.

Frontalschnitt durch die Talusrolle.

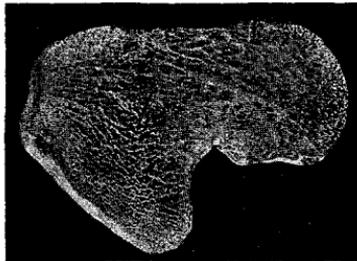


Fig. 46.

Horizontalschnitt durch den Talus.

stole, deren Lauf gegen die Gelenkfläche gerichtet ist. Die näher dem Sulcus aufstrebenden Knochenlamellen zeigen eine rückläufige Krümmung, die von vorne nach rückwärts gerechnet, immer hochgradiger wird, sodass die Enden dieser Lamellen senkrecht auf die Gelenkfläche der Talusrolle auftreffen. Der plantare Teil des Talushalses und Taluskopfes ist von Zügen

ausgefüllt, die von der *Facies articularis calcanei media* schräg nach oben vorne gegen die unteren Partien des Navikulargelenkes streichen. Den Raum oberhalb jener Lamellen, die Albert als Lauf der Pistole beschreibt, füllen Züge, die von einer Verdichtung der *Corticalis* des Talushalses schräg gegen die obere Hälfte des Taluskopfes nach vorne streben, und zum Teil auch nach rückwärts in die Talusrolle abweichen.

Das Gefäßbild des injizierten knorpeligen Talus zeigt eine Reihe von Gefäßen, die einigen, den *Sulcus tali* durchquerenden Adern entstammen, welche nach vorne Äste abschicken, die dem Laufe der Pistole entsprechen, und deren Stämme dieselbe rückläufige Krümmung aufweisen, wie die die Masse der Talusrolle occupierenden Knochenlamellen.

Der Winkel zwischen Talusrolle und Talushals beherbergt einen Kortikaliskern, aus dem Lamellen nach rückwärts in die Rolle, und nach vorne in den Talushals in derselben Weise verlaufen, wie die am selben Punkte eindringenden Gefäße.

Am Frontalschnitt durch den Körper der Talusrolle (Fig. 45) streben leicht geschwungene Knochenplättchen von unten gegen die Rollenfläche, die von horizontalen Lamellen geschnitten werden. Je weiter distal die Frontalschnitte geführt werden, desto lockerer wird ihr Gefüge unter gleichzeitigem Auftreten einzelner derberer Lamellen, die von der *Articulatio calcanei media* divergierend nach oben streben, wo sie von Lamellen, die dem Kontur des Talushalses folgen, durchquert werden.

Der Frontalschnitt durch die injizierte Talusrolle des Fötus (Fig. 15) ergibt zahlreiche Gefäße, die in der Frontalebene vom *Sinus tarsi* her eintreten, und derart büschelförmig zerfallen, dass ihre Äste immer senkrecht auf jene Knorpelfläche verlaufen, der sie zustreben. Dementsprechend zieht ein Teil der Aste horizontal, ein anderer steil nach oben, so dass alle Lamellenrichtungen in den Gefäßen vertreten sind.

Dasselbe gilt vom Talushalse, in welchem die Äste der von hinten nach vorne oben streichenden Gefässe die aufsteigenden, die in der Frontalebene erfolgende Ramifikation der von oben her eindringenden Gefässe die horizontalen Lamellen andeuten, welche die obere Hälfte des Frontalschnittes durch den Talushals occupieren.

Am Horizontalschnitt durch den Talus (Fig. 46) sieht man den Querschnitt jener Faserzüge, deren Vorläufer die vom Sulcus tali aufsteigenden Gefässe sind. Nahe der Insertion (Wurzel) des Talushalses macht sich auch am Horizontalschnitt eine Rarefizierung der Spongiosa mit Verdichtung einzelner Lamellen geltend, die hier einen lateralwärts abweichenden Verlauf einhalten, der eben jenen Gefässen zukommt, die von der Wurzel des Talushalses nach aussen oben in den Taluskopf ziehen.

Der Calcaneus bereitet dem vergleichenden Studium der Gefässrichtung im Knorpel und des Lamellenverlaufes im fertigen Knochen Schwierigkeiten, da die Gefässbilder durch das frühzeitige Auftreten eines Knochenkernes schon zu einer Zeit verschleiert werden, in welcher trotz des frühzeitigen Auftretens der Vaskularisation schwer einwandfreie Injektionsbilder zu erhalten sind. Ich muss deshalb das ganze Mittelstück des Calcaneus, welchem von allen Autoren grosse Aufmerksamkeit geschenkt wurde, aus meinen Betrachtungen ausschliessen und mich auf den Aufbau des Tuber und Processus anterior calcanei beschränken.

Am sagittalen Knochenschnitt (vergl. Fig. 20 und 47) sieht man zwei Faserrichtungen, deren eine von der grossen Gelenkfläche für den Talus schräge gegen den Haken verläuft, die von einer zweiten, von der Sohlenfläche des Calcaneus in leicht nach vorne konkavem Bogen nach oben verlaufenden gekreuzt wird (Fig. 47). Das komplizierte Ineinandergreifen dieser Lamellen ist zuletzt von Albert beschrieben worden, und es erübrigt mir nur darauf

aufmerksam zu machen, dass der Sagittalschnitt des injizierten noch knorpeligen Calcaneus Gefässe zeigt (Fig. 20), deren von vorne oben nach hinten unten ziehender Verlauf von anderen Gefässen durchkreuzt wird, die von hinten oben nach vorne unten streben.

Im Processus anterior calcanei findet eine ähnliche Faserkreuzung statt zwischen Zügen, die von dem Sinus tarsi nach vorne unten und von der Sohlenfläche nach vorne oben ziehen. Auch von diesen Lamellen lässt sich sagen, dass ihnen im knorpeligen Calcaneus gleichgerichtete Gefässstämme und Äste entsprechen

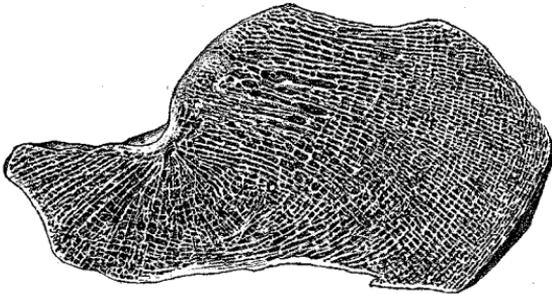


Fig. 47.

Sagittalschnitt durch das Fersenbein.

Dasselbe gilt auch vom Frontalschnitt durch den Tuber calcanei, der im Fötalalter vertikal verlaufende Gefässstämme mit horizontal verlaufenden Ästen, im fertigen Zustande aber vertikale und horizontale Knochenlamellen aufweist.

Von dem Skelette der oberen Extremität zeigen nur die beiden Enden des Humerus und die proximalen Enden der Vorderarmknochen zur Zeit der Geburt eine so ausgeprägte Gefässversorgung, dass ein Vergleich mit der Spongiosastruktur ermöglicht wird. (Hierzu Fig. 23—26 und 48, 49, für das proximale Ende des Humerus.)

Beim Betrachten des Frontalschnittes durch den knöchernen Humeruskopf (Fig. 48) fällt auf, dass der Epiphysennarbe

sowohl in ihren lateralen als in ihren medialen Abschnitten Gefäße entsprechen, und zwar einerseits die dicken Knorpelkanäle aus dem Sulcus intertubercularis, andererseits ein Teil der aufsteigenden Gefäße von der medialen Cirkumferenz des Kopfes (Fig. 28.), während die von der Epiphysennarbe senkrecht gegen den Scheitel des Oberarmkopfes ziehenden Lamellen durch die Aftfolge der horizontalen Gefäße angedeutet sind.

Der Horizontalschnitt durch den Humeruskopf (Fig. 49) zeigt Lamellenzüge, die im Bereich des Sulcus intertubercularis nach der Gegend beider Tubercula derart ausfahren, dass dadurch das Bild eines Radianten erzeugt und das Gefüge der Tubercula gleichsam von der Hauptmasse des Knochens abgegrenzt wird. Auch diese Bildung ist am Gefässbilde (Fig. 24) deutlich zu sehen.

Es fällt ferner auf, dass neben den auch am Oberarmkopfe vorfindlichen Konturlamellen sehnenartige Knochenzüge in die Masse des Kopfes einschneiden, welche dem lockeren Gefüge des centralsten Kopfabschnittes nur ein annähernd dreieckiges Gebiet freilassen. Diese sehnenartigen Züge werden am Gefässbilde durch die Äste der von der medialen Seite des Collum anatomicum aufsteigenden Gefäße ersetzt.

Am Sagittalschnitt durch die mediale Kopfhälfte steigen parallele Lamellen bis zur Epiphysennarbe, um erst oberhalb derselben Querschnitten schräger oder horizontaler Züge zu weichen, welchen Befund die Fig. 25 getreu wiedergibt. Das Feld quer getroffener Züge wird lateralwärts, entsprechend der grösseren Dicke der Epiphyse immer breiter (vgl. Fig. 26).

Am unteren Humerusende eignen sich vorzüglich die Sagittalschnitte zum vergleichenden Studium. (Hierzu Fig. 27, 28 und 50.)

Im Bereich der Trochlea geführte Schnitte, die nicht genau die tiefste Einsattelung derselben treffen, sondern lateral oder medial von ihr geführt sind, zeigen sich Knochenzüge die

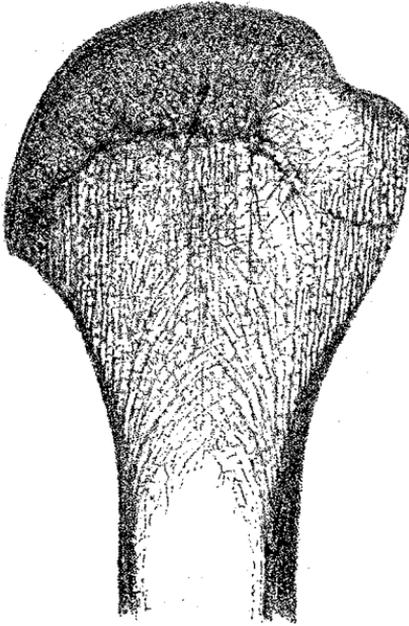


Fig. 48.  
Frontalschnitt durch den Humeruskopf.



Fig. 50.  
Extramedianer Sagittalschnitt durch die Trochlea.



Fig. 49.  
Horizontalschnitt durch den Humeruskopf.

von der mächtigen Externa abblättern, welche von den oberhalb der Trochlea gelegenen Gruben gegen diese hinzieht. Diese Lamellen strahlen derart in die Trochlea ein, dass die am meisten axial gelegenen Züge am stärksten nach vorne resp. rückwärts abweichen, während die dem Gelenkknorpel benachbarten einen mehr vertikalen Verlauf einschlagen. Dieser Lamellenverlauf bringt es mit sich, dass vorwiegend die axialen Lamellen eine Kreuzung eingehen. Die dorsale Corticalis der Trochlea entsendet mehr Lamellen in dieselbe, als die palmare.

Auch am Knorpelpräparat treten dorsalwärts mehr Gefässe ein, als volarwärts, und ihr Verlauf ist derart, dass sie axialwärts konvergieren, allerdings ohne eine Kreuzung einzugehen. Doch wird, wie schon erwähnt, der Anschein einer Kreuzung dadurch erweckt, dass die Äste der volaren Gefässgruppe die Richtung der dorsalen Gefässstämme einschlagen, und umgekehrt. Die vertikal absteigenden Lamellen sind im abgebildeten Knorpelpräparate (Fig. 27) noch nicht kenntlich.

Das Übergewicht der dorsalwärts eintretenden Gefässe nimmt zu, je weiter radialwärts der Schritt durch den Knorpel geführt wird, so dass im Bereiche der Eminentia capitata ein Bild entsteht (Fig. 28), welches dem Frontalschnitt durch den Humerus nach einer Drehung um  $180^{\circ}$  recht ähnlich ist.

Der Anblick eines Horizontalabschnittes durch die distale Epiphyse zeigt im Fötalalter, dass die Gefässe, welche an der rückwärtigen konkaven Begrenzung der Trochlea eintreten, in ihrem Verlaufe nach vorne kräftig divergieren. Es findet sich also ein Radiant, dessen Bestehen am Knochen von Albert eingehend geschildert wird.

Das proximale Ende der Ulna (hierzu Fig. 27 und 51) zeigt schon im 7. Lunarmonat eine so weit centralwärts vorgeschrittene Knochengrenze (Fig. 27), dass nur das Olekranon als grösseres Knorpellager übrig bleibt, welches von Gefässen in dorso-volarer Richtung und in frontaler Richtung durchzogen wird, die durch-

wegs gegen die *Incisura semilunaris* konvergieren, während ihre Aste der perichondralen Oberfläche des Olekranon parallel laufen.

Ganz dieselben Verhältnisse zeigt der Bau des Knochens. Am Sagittalschnitt (Fig. 51) ist ein dickes Lager von *Compacta* entsprechend der *Incisur* zu sehen, von welchem aus radiäre Knochenlamellen ausstrahlen, die unter dem *Processus coronoideus* hinweg gegen die *volare Compacta* der *Ulna* und schräge durch das Olekranon gegen die *dorsale Compacta* ziehen. Im Bereiche des Olekranon finden sich noch Konturlamellen, welche die radiären Züge schneiden.

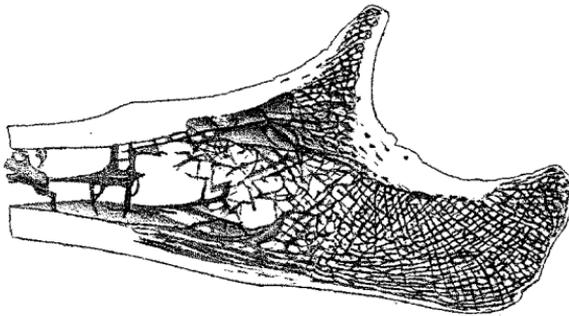


Fig. 51.

Sagittalschnitt durch die *Ulna*.

Es ist also auch hier eine beträchtliche Übereinstimmung des Gefäßverlaufes und der Lamellenrichtung wahrnehmbar. Interessant ist der Umstand, dass die als *Radiant* im Sinne *Alberts* imponierenden Lamellenzüge, die von der Höhlung der Gelenkfläche ausgehen, nicht vorgebildet sind durch Gefäße, die von der Konkavität aus divergierend einstrahlen, sondern durch Gefäße, die von der konvexen Knorpelfläche herkommen und demgemäss einen konvergierenden Verlauf einschlagen.

Es ist von vornherein klar, dass den Gefässen ein wichtiger Anteil bei der Knochenbildung nicht nur durch Herbeischaffung

des Materiales, sondern bei der Orientierung der Knochenbälkchen im Raume zukommt. Denn sowie das einzelne Haversische System sich dem seine Ernährung vermittelnden Gefässchen anschmiegt, so müssen sich auch die Lamellen, also Komplexe Haversischer Systeme zu ihren Gefässen verhalten.

Was sich durch vorstehende Untersuchungen gefunden hat, bekräftigt also zum Teil nur eine längst bekannte, ich möchte sagen, selbstverständliche Thatsache. Und doch glaube ich, dass abgesehen von der topographischen Beschreibung der Knorpelkanäle, welche bisher noch fehlte, ein Ergebnis der Untersuchungen von Wichtigkeit ist, dass nämlich schon im fötalen Leben und in der ersten Zeit des Extrauterinlebens, lange vor Beginn der enchondralen Ossifikation ein reichliches Gefässnetz vorliegt, welches den Knorpel in denselben Richtungen durchzieht, wie später die Knochenlamellen.

Ohne die Ergebnisse der Arbeiten von Meyer bis Wolff irgendwie zu erschüttern, ergibt das eben Ausgeführte doch die Notwendigkeit, beim weiteren Ausbau der Lehre von der Architektur des Knochens ein grösseres Gewicht auf entwicklungsgeschichtliche Verhältnisse zu legen, als es bisher geschah, da dieses Kapitel vorwiegend vom Standpunkte der Anpassung der Knochenarchitektur an die individuelle Funktion betrachtet wurde.

---

## Literaturverzeichnis.

---

Die Bilder des Spongiosabaues sind folgenden Arbeiten Alberts entlehnt:

1. Einführung in das Studium der Architektur der Röhrenknochen. Wien 1900.
  2. Die Architektur des erwachsenen menschlichen Femur. Prag 1900. Böhm. Akademie der Wissenschaften.
  3. Die Architektur der Tibia. Wiener med. Wochenschr. 1900.
  4. Die Architektur des menschlichen Talus. Wiener klin. Rundschau. 1900.
  5. Die Architektur des menschlichen Fersenbeines. Wiener mediz. Presse. 1900.
  6. Die Architektur des menschlichen Oberarmes. Auszug aus dem gleichnamigen Artikel der Časopis českých lékařů 1900. Wien, Hölder 1900.
  7. Die Architektur der menschlichen Ulna. Wiener klin. Rundschau 1900.
-