

DIE FUNKTIONELLE GEWEBESTRUKTUR DER SEHNENFURCHEN

G. Balogh und I. Földes

(Eingegangen am 23. September, 1954)

Einleitung

Verhältnismässig wenige Autoren haben sich mit der makroskopischen und mikroskopischen Beschreibung der Sehnenfurchen befasst. So ist z. B. selbst die Registrierung des Knorpelüberzuges der Sehnenfurchen in den meisten Lehr- und Handbüchern mangelhaft, die sich hauptsächlich mit zwei stark in die Augen fallenden Sehnenfurchen befassen: und zwar erwähnen den Sulcus musculi peronei longi A. Benninghoff [3], F. Gegenbaur [9], J. Hyrtl [18], T. B. Johnston und J. Whillis [19], Rauber—Kopsch [36] und Sieglbauer [39], während sich mit der Incisura ischiadica minor K. Bardeleben [2], F. Gegenbaur [9], J. Hyrtl [18], Rauber—Kopsch [36] und Sieglbauer [39] beschäftigen. Aber auch von diesen Autoren berührt lediglich A. Benninghoff [3] die Frage des Wirkungsmechanismus, indem er den im Sulcus musculi peronei longi anzutreffenden Knorpel für das Ergebnis einer mechanischen Einwirkung hält. Ähnlich wie in diesen Büchern ist die Lage auch in der Literatur. B. Giovanni [11] fand an der Haftstelle der Sehne an der Oberfläche des Knochengewebes Chondroblasten. G. Giuliani [12] vermochte mittels Durchschneidung der Achillessehne Entwicklung und Knorpelbildung der Knochenstruktur des Tuberculi calcanei zu beeinflussen. Weit mehr Literaturangaben befassen sich mit der Gewebestruktur der in den Sehnenrinnen verlaufenden Sehnen (A. Kölliker, 22; Srdinko, 41; Fr. Drahn, 7). Ausser diesen haben zahlreiche Autoren die an den dem Druck ausgesetzten verschiedenen Flächen anzutreffende Knorpelschicht beschrieben. So ist neuerdings der Musculus teres minor von Hidvégi [15] untersucht worden.

Einen weiteren Schritt in dieser Richtung stellte der Versuch von Krompecher [26] dar, der den Musc. sartorius durch das Becken und sodann durch die Incisura ischiadica major hindurchzog und an der Berührungsstelle eine der neuen mechanischen Lage entsprechende Knorpelbildung feststellte. Einen ähnlichen Mechanismus der Knorpelbildung fand auch Ploetz [35], die nachweisen konnte, dass nach Herausheben der Sehne aus der Furche die die Innenfläche bedeckende Knorpelschicht innerhalb von einigen Wochen verschwindet.

Problemstellung.

Aus obigen Angaben ergibt sich die Annahme, dass sich nicht nur an der Innenfläche der mechanischen Einwirkungen ausgesetzten Sehnen notwendigerweise Knorpel befindet, sondern dass auch die Sehnenfurchen von Knorpel bedeckt sein müssen. Laut *H. Strasser* [1905, 42] tritt dort periostealer Knorpel

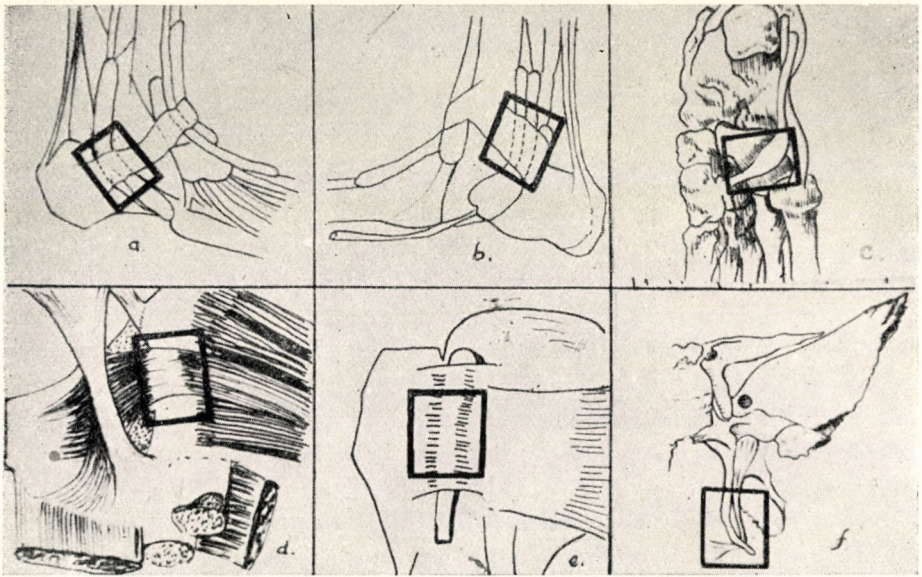


Abb. 1. Schematische Darstellung der aufgearbeiteten Gebiete: *a* Sulcus retromalleolaris lat.; *b* Sulcus retromalleolaris med.; *c* Sulcus musculi peronei longi; *a* Incisura ischiadica minor; *e* Sulcus intertubercularis; *f* Sulcus hamuli pterygoidei

auf, wo im periostealen Bindegewebe Druck ausgeübt wird. Die in früheren Tierversuchen gewonnenen Ergebnisse *Krompechers* [24] bestätigend, vermochte *A. Glücksmann* [13] in Gewebekulturen nachzuweisen, dass im Periosteum und im Perichondrium der Druckwirkung entsprechend Knorpel entsteht. *Krompecher* [24] gelangte auf Grund zahlreicher (embryonaler, postembryonaler, Regenerations- bzw. pathologischer) Versuche zu der Schlussfolgerung, dass sich an der Stelle des Druckes Knorpel und an der Stelle der Zugwirkung Bindegewebe bildet. Das Zustandekommen des auf Wirkung mechanischer Umstände entstehenden Knorpels hängt naturgemäss auch von der Stärke der Einwirkung ab. Nach den Untersuchungen von *Friedenberg* und *French* [8] bildet sich zwischen den Knochenenden der Ulna eines Hundes durchschnittlicher Grösse bei Wirkung eines Druckes von etwa 4–8 kg ein knorpeliger Kallus. Ein noch stärkerer Druck hingegen führt zur Knochenresorption. Schliesslich ist nach den Versuchsergebnissen von *Holmdahl* und *Ingelmark* [16] die mechanische Inan-

spruchnahme von wesentlichem Einfluss auf die Struktur des Gelenkknorpels. Auf Grund dieser Tatsachen suchten wir in der vorliegenden Arbeit folgende Fragen zu klären :

1. In welcher Weise kommen die mechanischen Einwirkungen an der Oberfläche der Sehnenfurchen zur Geltung?

2. Auf welche Weise wird die Gewebestruktur der Sehnenfurchenoberfläche von der Stärke der mechanischen Einwirkung beeinflusst?

3. Welche Veränderungen treten mit fortschreitendem Alter in der Gewebestruktur der Sehnengruben ein?

Untersuchungsmaterial und Methodik

Für die Untersuchungen wurde menschliches (teils Kadaver aus dem Sektionssaal, teils von frischen Leichen gewonnenes) Material benutzt. Ursprungsstellen und altermässige Verteilung des zur Verarbeitung gekommenen Materials sind aus Abb. 1 und Tabelle I ersichtlich.

Wir wählten diese Stellen, weil die Sehne hier nicht nur über den Knochen läuft, sondern beide auch eine mechanische Wirkung aufeinander ausüben. Den Teil über dem Sulcus retromalleolaris lateralis — wo die Sehne dem Knochen parallel entlang verläuft, aber auf diesen keinen Druck ausübt — benutzten wir als Kontrolle. Das Material war auch dem Alter nach ausgewählt worden, und nach Möglichkeit registrierten wir auch Beruf und Todesursache.

TABELLE I

	Bis zu 19 Jahren	20—40	40—60	über 60
Sulc. retromall. med.	3	10	5	5
Sulc. retromall. lat.	2	2	2	2
Sulc. m. peronei longi	2	7	2	1
Sulc. hamuli pterygoidei	1	2	2	1
Sulc. m. bicipitalis	2	2	2	—
Inc. ischiadica min.	1	2	2	—
Sulc. m. flexoris hallucis longi	1	1	1	—

Das entnommene Material wurde in Formalin fixiert, in 5%iger Salpetersäurelösung dekalziniert, in Ammoniumsulfat neutralisiert, in Paraffin eingebettet und die 10—15 μ starken Schnitte mit Hämatoxylin-Eosin und Azan gefärbt.

Untersuchungsergebnisse

Untersuchung der Sehnengrube des Sulcus retromalleolaris medialis nach Altersgruppen :

Im Alter bis zu 19 Jahren. Das Perichondrium ist nicht überall ausgeprägt, unter dem Perichondrium ist hyaliner Knorpel zu sehen ; die territoriale Gliederung ist dagegen ausgeprägt. In der oberflächlicheren Schicht sind die Knorpelzellen kleiner und liegen einzeln parallel mit der Oberfläche des Knorpels. Der Knorpelhof ist klein und die Knorpelkapsel ausserordentlich schmal. Nach

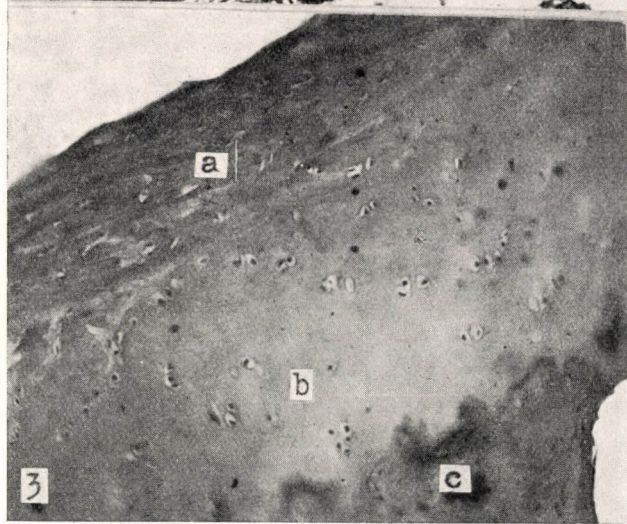
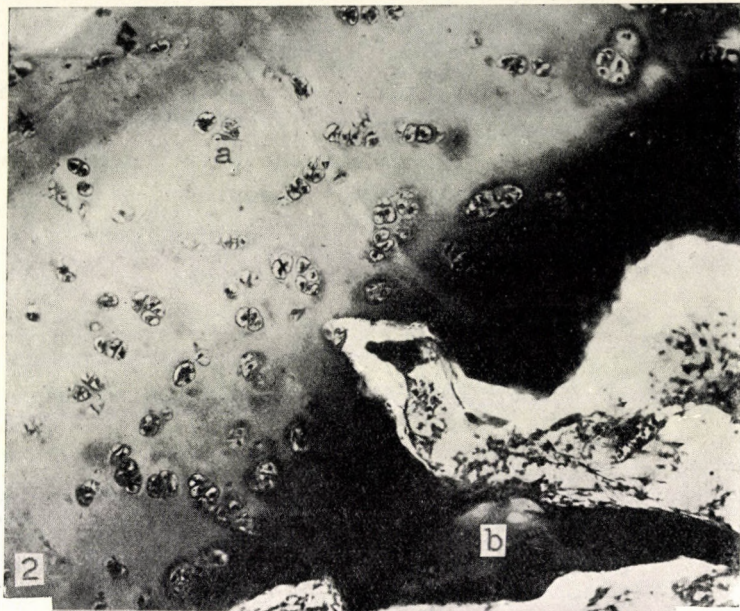


Abb. 2. Querschnitt aus der Sehnenfurche des Sulcus retromalleolaris med. einer 17jährigen Person. *a* Noch nicht ossifizierte Hyalinknorpelschicht; *b* Knochengewebe.
Häm.-Eosin. 110 ×

Abb. 3. Längsschnitt aus der Sehnenfurche des Sulcus retromalleolaris med. einer 28jährigen Person. *a* Parallele Schicht des kollagen-faserigen Knorpels; *b* Hyalinknorpel; *c* Knochen.
Häm.-Eosin. 110 ×

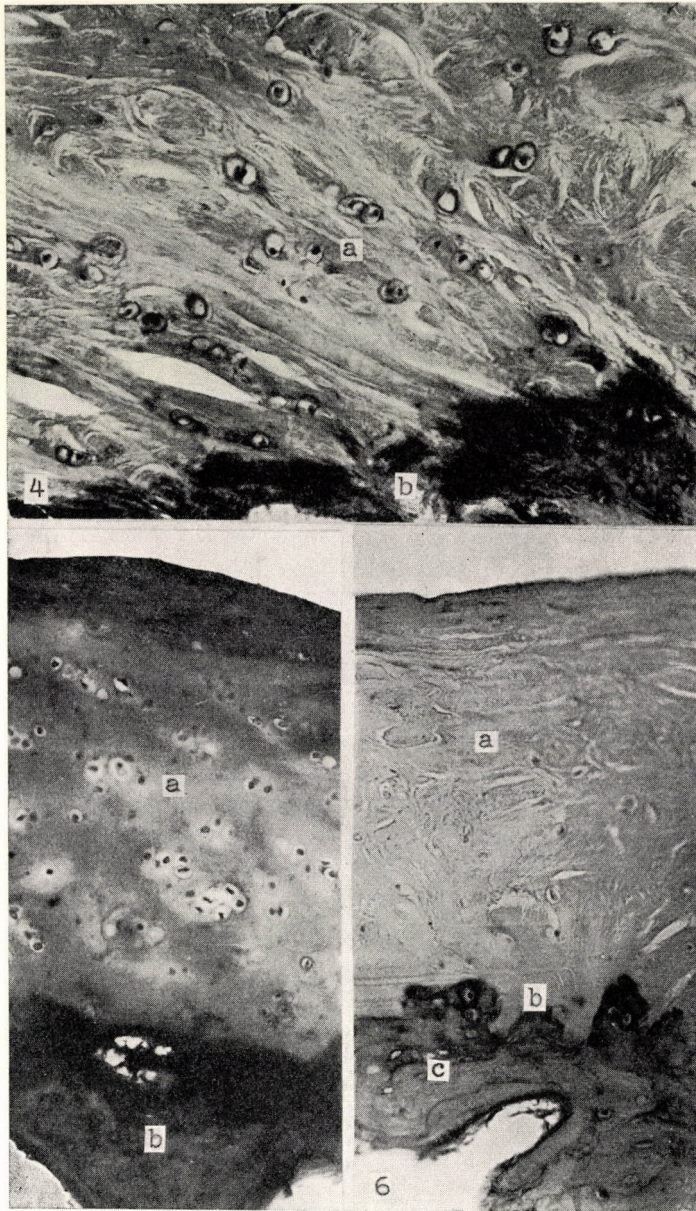
innen zu sind die Zellen grösser, zu zweien anzutreffen und im Vergleich zur Oberfläche in schräger Richtung aufgereiht (Abb. 2), auch der Zellhof ist grösser und die Knorpelkapsel ausgeprägter. An der Innenfläche sind ganz grosse, zu zweit und zu dritt gelagerte Knorpelzellen mit grossem Hof und dicker Knorpelkapsel anzutreffen. Die Knorpelzellen stehen in tangentialer Richtung. Unter der Knorpelschicht befindet sich Knochen von spongiöser Struktur. Mit fortschreitendem Alter ist die Knochenrinde ausgeprägter und stärker entwickelt. Die Ossifikation des Malleolus ist bekanntlich im Alter von 19 Jahren beendet.

Im Alter von 20—40 Jahren. In diesem Stadium ist die Ossifikation des Malleolus vollständig beendet. Über der Knochensubstanz findet sich makroskopisch eine ausgeprägte Knorpelschicht. Diese hat schichtweise folgende feinere mikroskopische Struktur: der kollagenfaserige Knorpel ist oberflächlich ein mit der Oberfläche paralleler kollagenfaseriger Knorpel und besteht aus dazwischen liegenden, spärlich verstreuten, mit der Oberfläche parallel angeordneten Knorpelzellen. Diese Knorpelzellen haben einen kleinen, nicht ausgeprägten Hof; eine Knorpelkapsel ist nicht zu sehen. Die oberflächlichste Zone der faserknorpeligen Schicht ist von hyaliner Grundsubstanz stärker durchtränkt und macht einen mehr homogenen Eindruck. In der folgenden Schicht sind die kollagenen Fasern und dementsprechend auch die Knorpelzellen schräg angeordnet (Abb. 3, 4). Die Knorpelzellen sind grösser, und auch die Knorpelkapsel ist gut zu erkennen. Unmittelbar über dem Knochen ist eine hyaline Knorpelschicht mit oxyphiler Grundsubstanz, innerem oxyphilem und äusserem basophilen Zellhof und gut ausgeprägter Knorpelkapsel zu sehen. In einzelnen Fällen, insbesondere im höheren Alter, befinden sich hier zwischen Kollagenfaserbündeln grössere, an Hyalinknorpel erinnernde Zellgruppen. Ein Teil derselben weist Anzeichen von Kalzifikation auf (siehe weiter unten).

Im Alter von 40—60 Jahren. Auch in diesem Alter ist eine deutliche Knorpelschicht zu sehen. In der oberflächlichen Schicht ist kollagenfaseriger Knorpel parallel mit kollagenen Bündeln und verstreuten Knorpelzellen anzutreffen. Nach innen zu werden die kollagenen Bündel schräg, die Knorpelzellen sind dichter angeordnet, dann folgt eine deutliche Übergangsschicht, deren Struktur der vorher beschriebenen ähnlich ist; diese bereits ausgeprägte Übergangsschicht ist für diese Altersgruppe charakteristisch.

Im Alter von über 60 Jahren. In dieser Gruppe ist die Knorpelschicht ebenfalls mit freiem Auge zu sehen. An der Oberfläche findet sich kollagenfaseriger Knorpel, während im stärksten Durchmesser des Schnittes die sog. Übergangsschicht sichtbar ist. Darunter stellt ein ziemlich dünner Hyalinknorpel den Übergang zum Knochen dar.

2. Wir untersuchten — zur Kontrolle — denjenigen oberen Teil des *Sulcus retromalleolaris lateralis*, wo die Sehne neben dem Knochen parallel verläuft. Diesem Lageverhältnis entsprechend ist an der Knochenoberfläche ausgeprägtes Periost zu beobachten, dessen Fasern mit der Knochenoberfläche parallel



- Abb. 4.* Sulcus retromalleolaris med. einer 38jährigen Person: *a* Übergangsschicht;
b kalzifizierter Hyalinknorpel. Häm.-Eosin. 280 ×
- Abb. 5.* Querschnitt des Sulcus musculi peronei longi einer 38jährigen Person: *a* Hyalinknorpel;
b Knochen. Häm.-Eosin. 140 ×
- Abb. 6.* Sulcus intertubercularis einer 34jährigen Person: *a* Kollagen-faseriger Knorpel;
b Kalzifikation der Chondrone über dem Knochen; *c* Knochen. Häm.-Eosin. 120 ×

verlaufen, während die Fasern der folgenden Schicht quergerichtet sind. Über dem Knochen sind Knorpelzellen überhaupt nicht zu sehen.

3. *Sulcus musculi peronei longi*. Die Ossifikation des Os cuboideum ist gleichfalls im Alter von 19 Jahren beendet, so dass dessen histologischer Befund mit dem des Sulcus retromalleolaris medialis übereinstimmt.

Im Alter von 20—40 Jahren. Auch hier ist die Knorpelschicht anzutreffen. Der Knorpel ist von verschiedener Struktur. An gewissen Stellen sind Hyalinknorpelzellen in kollagener Grundsubstanz, an anderen ausgesprochen hyaliner bzw. kollagen-faseriger Knorpel mit äusserem basophilen und innerem oxyphilen Zellhof zu sehen. An dieser Stelle ist auch die territoriale Gliederung sichtbar (Abb. 5).

Hier sei auch noch die makroskopische Beobachtung erwähnt, dass an derjenigen Stelle der Sehnenfurche, wo die Sehne zur Sohlenfläche hinüberneigt, am Knochen ein mit fingerbeerengrossem Hyalinknorpel bedeckter Knollen, d. h. eine einer unregelmässigen sattelförmigen Gelenkgrube entsprechende Formation wahrgenommen werden kann.

4. *Sulcus hamuli pterygoidei*. Bekanntlich geht hier die Sehne des Musculus tensor veli palatini hindurch. Auch an dieser Stelle ist der kollagen-faserige Knorpel der Sehnenfurche entsprechend zu beobachten. Über dem Knochen ist keine Schichtbildung zu sehen. Die Knorpelzellen sind verstreut, inselartig angeordnet und von kleiner Knorpelkapsel umgeben.

5. *Sulcus intertubercularis (tendinis capitis longi musculi bicipitis)*. In 6 Fällen untersuchten wir die Oberfläche der Sehnengrube. Über dem Knochen konnten wir eine ganz dünne Knorpelschicht beobachten. Auch hier ist im Knorpel Schichtbildung zu sehen, d. h. an der Knochengrenze hyaliner Knorpel und darüber der kollagen-faserige Knorpel. Die Knorpelzellen sind stark geschwollen, ein äusserer oxyphiler und innerer basophiler Zellhof ist wahrnehmbar.

Unmittelbar neben dem Knochen beobachteten wir die Kalzifikation der Grundsubstanz der Chondrone, wie auch aus dem Mikrophotogramm deutlich ersichtlich (Abb. 6), das von dem mit Hämatoxylin gefärbten Schnitt aufgenommen wurde. Dieses Bild ähnelt dem des Gelenkknorpels an seiner dem Knochen zu gelegenen Grenze.

6. *Incisura ischiadica minor*. Darüber verläuft der Musculus obturator internus, der auf den Knochen Druck ausübt. Infolgedessen entwickelt sich über dem Knochen kollagen-faseriger Knorpel, und zwar auf Wirkung der hier in Erscheinung tretenden Druck bzw. Scherkräfte. Im Knorpel sind stellenweise ausgeprägte Hyalinknorpelgruppen bzw. -Inseln zu beobachten, die sich mit fortschreitendem Alter vermehren. Diese Feststellung steht mit den in der Einleitung erwähnten Befunden Krompechers [25] im Einklang.

7. *Sulcus musculi flexoris hallucis longi*. Zwischen zwei Tuberkeln des Processus posterior tali knickt die Sehne ein und übt hier auf den Knochen Druck aus. Auf den histologischen Schnitten ist über dem Knochen Hyalinknorpel

und an der äussersten Oberfläche in dünner Schicht kollagen-faseriger Knorpel zu beobachten.

Besprechung der Ergebnisse

Unsere Ergebnisse liefern auf dem Gebiet der Knorpelentwicklung neue Angaben zur Bekräftigung der funktionellen Betrachtungsweise. Die Resultate bestätigen, dass sich der Knorpel auf Einwirkung mechanischer Faktoren (sei es Druck- oder Scherkräfte) entwickelt. Es kommt nämlich im Sulcus retromalleolaris medialis sowie im Sulcus musculi peronei longi, in denen die Sehne nicht nur entlangläuft, sondern sich gleichsam auf das Hypomochlion stützend Druck bzw. Scherkraft ausübt, Knorpel zustande. Demgegenüber kommt am oberen Teil des Sulcus retromalleolaris lateralis, wo die Sehne nur neben dem Knochen verläuft, aber keine mechanische Wirkung ausübt, kein Knorpel zustande. Dies bestätigt die Untersuchungen bzw. Versuchsergebnisse von *Krompecher* [24] und anderen, wonach die Bildung des Knorpels von mechanischen Faktoren, drückenden, scherenden usw. Kräften gefördert wird. Aber Ähnliches wird auch durch die weiteren Resultate bewiesen. Unter der Sehne des Musculus obturator internus sowie im Sulcus intertubercularis capitis longi musculi bicipitis fanden wir nämlich nur verstreute Knorpelzellen, in Übereinstimmung mit den Angaben von *Benninghoff* [3], *Holmdahl* und *Ingelmark* [16] sowie *Aufdermaur* [1], wonach die Dicke des Knorpels von der Intensität des ausgeübten Druckes abhängt.

Auch die kausale Erklärung der Bildung des in den Sehnenfurchen gefundenen Knorpels sowie dessen Struktur stimmen mit der Struktur des in der Sehne gefundenen Knorpels überein. Obwohl die Untersuchung der Struktur der in den Sehnenrinnen verlaufenden Sehnen nicht die unmittelbare Aufgabe unserer vorliegenden Untersuchungen darstellte, haben wir in einigen Fällen, in denen wir die Sehne mit der Sehnenfurche gemeinsam verarbeiteten, auch im Sehnenewebe den Knorpel feststellen können (z. B. in der Sehne des Musculus peroneus longus). Da das in der Sehne sich an der Druckstelle bildende Knorpelgewebe bereits von mehreren Autoren beschrieben wurde, wollen wir uns mit dieser Frage nicht weiter beschäftigen.

Wie aus den Resultaten hervorgeht, können in der Knorpeldecke der Sehnenfurchen verschiedene Schichten unterschieden werden. An der Oberfläche liegen die verschiedenen Schichten des kollagen-faserigen Knorpels, und unmittelbar über dem Knochen ist der hyaline Knorpel zu sehen. Aus den Untersuchungen von *Bormuth* [4] und *Aufdermaur* [1] ist bekannt, dass die Kollagenfasern des Knorpels «S»-förmig sind. Unter Berücksichtigung vorstehender Angaben können wir uns die Entwicklung der im Knorpel gefundenen Schichtbildung auf folgende Weise vorstellen: In der in Frage stehenden Sehnenfurchen besteht, zwischen der Sehne und des den Knochen bedeckenden Periost

ein Kontakt. Anlässlich der Kontraktion des Muskels verschiebt sich die Sehne in der Sehnenfurche, auf das Periosteum eine zerrende Wirkung ausübend, und auf Wirkung dieser Scherkraft entsteht die parallele Schicht des kollagen-faserigen Knorpels. Die in der Tiefe des Periosteums gelegenen kollagenen Fasern hingegen bauen sich als *Sharpeysche* Fasern in den Knochen ein: dies bildet den *Punctum fixum*. Das andere Ende der Fasern endet als *Punctum mobile* in der oberen Schicht, so dass die Verschiebung der Sehne durch

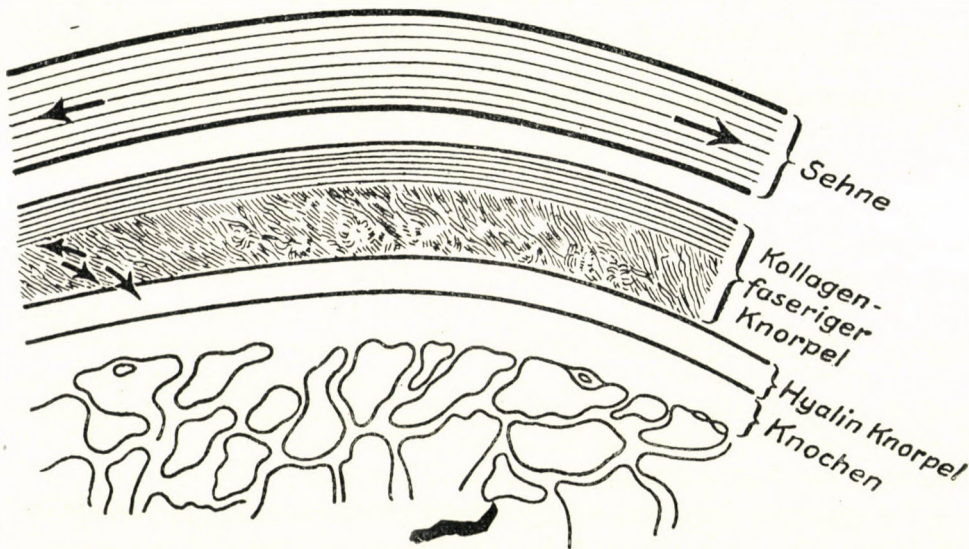


Abb. 7. Schematische Darstellung der sich auf mechanische Einwirkung bildenden Knorpelschicht

Veränderung der Richtung dieser Fasern (d. h. schrägen Verlauf) gekennzeichnet ist. So entsteht die mittlere Schicht.

Es ergibt sich die Frage, worauf es zurückzuführen sei, dass an der einen Stelle hyaliner, an der anderen dagegen kollagen-faseriger Knorpel entsteht. Aus den Untersuchungen von *Krompecher* [26] wissen wir, dass an der Stelle, wo eine Druckkraft von mässiger Intensität wirkt, dieser Inanspruchnahme entsprechend Hyalinknorpel entsteht. Der Hyalinknorpel ist die Gewebeart, die den Druck gut verträgt.

Bekanntlich ist es die Kugelfläche, die den einwirkenden Kräften gegenüber des grössten Widerstandes fähig ist. Es ist daher verständlich, dass die Zellen bzw. Chondrone des Hyalinknorpels, die kugel- oder annähernd kugelförmig sind, der grossen Belastung gegenüber den grössten Widerstand auszu-

üben vermögen. Dies ist im Zusammenhang mit der Knorpelbildung von *Pauwels* [34] dargelegt worden. Ausser der Belastungsfähigkeit der einzelnen Chondrone besitzt das Knorpelgewebe auch in seiner Gesamtheit eine ausgezeichnete funktionelle Struktur, wie dies *Benninghoff* [3] an seinem allgemein bekannten Schema veranschaulicht hat. Dies wird auch durch die Art des Gelenkknorpels bestätigt, wo die arkadenförmige Struktur des Knorpels leicht zu erkennen ist. Im menschlichen Organismus ist in den Gelenken im allgemeinen Hyalinknorpel anzutreffen. Hier wirken *Druckkräfte*. Dagegen entsteht in drei — sorgfältig untersucht auch in mehr — Gelenken, wo ausser der Druckkraft auch ziehende und scherende Kräfte Einfluss ausüben, kollagen-faseriger Knorpel: In der *Articulatio sacro-iliaca* z. B., wo — obwohl eine grosse Druckkraft wirkt — zwischen den Gelenkflächen — bei Belastung — auch eine *Scherkraft* wirkt. Dies führt in diesen Gelenken zur Bildung des *kollagen-faserigen Knorpels*. Ähnlich ist die Lage auch an der Oberfläche der Sehnenfurchen. Auf der Fläche übt ausser der Druckkraft auch die Verschiebung der Sehne eine sehr ausgeprägte Scherkraft aus, weshalb sich dort kollagen-faseriger Knorpel bildet. Die zerrende, scherende Kraft wirkt naturgemäss vor allem auf die Oberfläche; in die Tiefe des Gewebes gelangt nur noch die Druckkraft. Gleichzeitig kommt in der Tiefe vom Knochen her auch der Gegendruck zur Geltung, so dass die hyaline Knorpelschicht an dieser Stelle entsteht (Abb. 7).

Beim *Sulcus musculi peronei longi* war Hyalinknorpel zu sehen, was damit zu erklären sein dürfte, dass die Sehne des *Musculus peroneus longus* bei geringer Verschiebung eine wesentliche Knickung erleidet und dadurch auf das *Os cuboideum* eine bedeutende Druckwirkung ausübt.

Gewisse Veränderungen in der Knorpelstruktur waren auch bei verschiedenen Altersstufen zu beobachten. Die ausgeprägteste Schichtbildung war zwischen 20—40 Jahren zu sehen. Im späteren Alter verändert sich die Schichtbildung immer mehr. Immer stärker tritt die sog. Übergangsschicht in den Vordergrund, ein gemischtes Gewebe, worunter wir zwischen kollagenen Bündeln eine mehr geschwollene, an hyaline Knorpelzellen erinnernde Schicht verstehen. Es ergibt sich die Frage, auf welche Weise diese Übergangsschicht kausal zu erklären ist bzw. ob sich der kollagenfaserige Knorpel zu hyalinem Knorpel umwandeln kann und umgekehrt.

Soweit uns bekannt, stehen Literaturangaben über die Umwandlung des Knorpels nicht zur Verfügung. Unserer Ansicht nach handelt es sich um eine Zwischenphase und nicht um eine Übergangsform der Umwandlung. Zwischen dem Hyalinknorpel und dem kollagen-faserigen Knorpel besteht nicht ein determiniert-qualitativer, sondern ein funktionell-quantitativer Unterschied.

Im Zusammenhang mit unseren Untersuchungen ergeben sich noch einige Fragen:

1. Es ist bekannt, dass sich auf Druckwirkung im Granulationsgewebe und im Mesenchym Knorpel bildet. Eine kausale Erklärung für die Entwicklung

des Knorpels ist jedoch nicht bekannt. In diesem Zusammenhang wollen wir einige im Laufe unserer Untersuchungen gewonnenen Beobachtungen mitteilen, die uns der Lösung der Frage wahrscheinlich näherbringen. An derjenigen Oberfläche des Knochens, an der dieser mit der Sehne nicht unmittelbar in Berührung kommt, finden wir in Periosteum ein reiches Gefässnetz, während an den Stellen, wo sich auf Grund der Druckwirkung die Knorpelschicht bildete, das Periost überall verschwunden ist. Im entstandenen neuen Knorpel finden sich nirgends

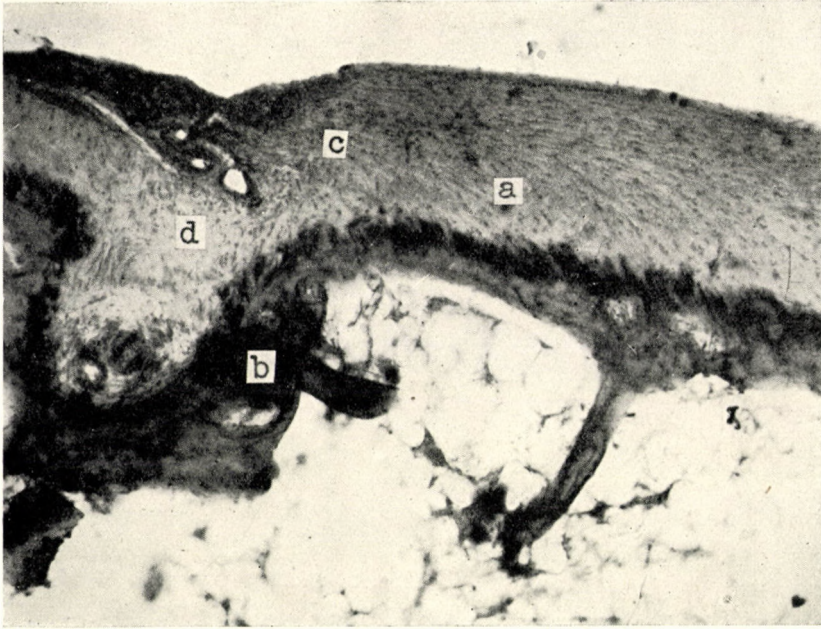


Abb. 8. Sulcus retromalleolaris einer 30jährigen Person. Die auf Druckwirkung entstandene neue Knorpelschicht sowie das gefässreiche Periosteum sind sichtbar. a Neue Knorpelschicht; b Knochen; c Periosteum und Knorpelgrenze; d Gefässe. Häm.-Eosin. 80 ×

Gefässe (Abb. 8). Wir glauben, dass zwischen dem Verschwinden der Kapillaren und der Entstehung des Knorpels insofern ein Zusammenhang besteht, als die Obliteration der Gefässe zu einer Veränderung der Stoffwechselprozesse in den Geweben führt. Zur Klärung dieser Frage sind Untersuchungen in unserem Institut im Gange.

2. Im Zusammenhang mit unseren Untersuchungen tauchte das Problem auf, woraus sich die Zellelemente des neu entstandenen Knorpelgewebes entwickeln. In Verbindung hiermit sei erwähnt, wie es auf Grund der Versuche von Ploetz [35] offensichtlich erscheint, dass sich im Sehngewebe auf Druckwirkung die Tendozyten zu Knorpelzellen umwandeln. Die Tendozyten jedoch entsprechen den Fibrozyten des dichten faserigen Bindegewebes. Infolgedessen

ist es als wahrscheinlich anzusehen, dass sich die Zellen des Knorpelgewebes aus den im Periosteum befindlichen Fibrozyten entwickeln.

3. Da die distale Epiphyse der Tibia im Alter von 19 Jahren ossifiziert, erscheint es fraglich, ob der die Sehnenfurche bedeckende Knorpel primär oder sekundär ist. Es ist schwierig, diese Frage sogleich zu beantworten, da man sich vorstellen kann, dass ein Teil des hier anwesenden präformativen Knorpels an der Oberfläche der Sehnenfurche zurückbleibt.

Trotzdem gibt diese Annahme zu gewissen Überlegungen Veranlassung, und zwar aus folgenden Gründen :

a) An den fraglichen Punkten bestand das präformative Gewebe aus Hyalinknorpel, während an der Oberfläche der Sehnenfurchen überwiegend kollagen-faseriger Knorpel anzutreffen war. Es liegen keine überzeugenden Angaben dafür vor, dass sich hier der Hyalinknorpel zu faserigem Knorpel umgewandelt hätte.

b) Die Annahme liegt auf der Hand, dass der anwesende präformative Hyalinknorpel im Laufe des langsamen Ossifikationsprozesses verbraucht wird und sich appositionell — den funktionellen Kräften entsprechend — eine neue Schicht faserigen Knorpels entwickelt.

c) Auf den Schnitten ist tatsächlich zu sehen, dass in der unmittelbar über dem Knochen befindlichen Hyalinknorpelschicht eine Kalzifikation vor sich geht. Für die Annahme dieses langsamen Ossifikationsprozesses spricht auch die an der Oberfläche des Os cuboideum anzutreffende fingerbeerengrosse Ausbuchtung.

Auf Grund vorstehender Angaben sind wir der Ansicht, dass sich an der Oberfläche der Sehnenfurche ständig neuer sekundärer Knorpel bildet.

Zusammenfassung

Es wurde untersucht, in welcher Weise die Gewebestruktur der Sehnenfurche durch mechanische Faktoren beeinflusst wird. Die Beobachtungen wurden an Leichenmaterial an folgenden Stellen vorgenommen : Am Sulcus retromalleolaris medialis in 23 Fällen, am Sulcus retromalleolaris lateralis in 8, am Sulcus musculi peronei longi in 12, am Sulcus hamuli pterygoidei in 5, am Sulcus intertubercularis in 5, an der Incisura ischiadica minor in 4, am Sulcus musculi flexoris hallucis longi in 3 Fällen. Bei der Auswahl der Fälle war das Alter berücksichtigt worden. Folgendes wurde festgestellt :

1. Am oberen Abschnitt des Sulcus retromalleolaris lateralis ist dort, wo die Sehne keine mechanische Wirkung ausübt, sondern glatt neben dem Knochen verläuft, kein Knorpel anzutreffen.

2. In den übrigen aufgezählten bzw. untersuchten Sehnenrinnen findet sich ein Knorpelüberzug, welcher eine der Einwirkung entsprechende Schichtstruktur aufweist ; an der Oberfläche befindet sich kollagen-faseriger Knorpel, da dort Druck- und Scherkräfte wirken, während sich unmittelbar über dem Knochen der Gegendruckwirkung entsprechend hyaliner Knorpel bildet.

3. Dem Alter entsprechend sind in der geweblichen Schichtbildung gewisse Veränderungen zu beobachten. Ein wesentlich grösseres Gebiet nimmt die sog. Übergangsknorpelschicht ein, eine Schicht die so bezeichnet wird, wenn sich zwischen den kollagenen Fasern grosse, geschwollene, an Hyalinknorpel erinnernde Zellen befinden. Deren Entstehung ist auf funktionelle Einwirkungen zurückzuführen.

4. Die Stärke der mechanischen Einwirkung ist auf die Dicke der entstehenden Knorpelschicht von Einfluss. Hiermit lässt sich erklären, dass z. B. im Sulcus retromalleolaris medialis oder im Sulcus musculi peronei longi die Knorpelschicht viel ausgeprägter ist als im Sulcus hamuli pterygoidei.

5. Die an der Oberfläche der Sehnenrinnen gefundene Knorpelschicht kann als sekundärer Knorpel aufgefasst werden.

6. Eine der Entwicklung des Knorpelgewebes vorangehende Obliteration der Kapillaren wurde beobachtet, die mit der Entstehung des Knorpelgewebes in Zusammenhang gebracht wird.

7. Vorstehende Resultate liefern weitere Angaben zur Bekräftigung der Anschauung, dass es zweckmässig ist, auch bei der Entwicklung des Sehnenfurchenknorpelüberzuges die funktionelle und causale Betrachtungsweise zur Anwendung zu bringen.

LITERATUR

1. **Aufdermaur, M.** : (1950) Die Struktur des normalen und pathologischen Gelenkknorpels. Schw. Ztschr. allg. Path. Bakt. 13, 789. — 2. **Bardleben, K.** : (1906) Lehrbuch des systematischen Anatomie des Menschen. Urban u. Schwarzenberg, Berlin, Wien. — 3. **Benninghoff, A.** : (1949) Lehrbuch der Anatomie des Menschen. Urban u. Schwarzenberg, Berlin, München. — 4. **Bormuth, H.** : (1933) Die trajektorischen Strukturen im Knorpel der Haifische auf Grund von Untersuchungen im polarisierten Lichte. Z. Zellforsch. 17, 167. — 5. **Cooper, R. E.** : (1939) Human Histology. Lewis, London. — 6. **Cowdry, E. V.** : (1944) Textbook of Histology. Kimpton. London. — 7. **Drahn, Fr.** : (1922) Über den histologischen Bau der Gleitsehne des Musc. biceps brachii beim Pferd. Arch. mikr. Anat. 96, 39. — 8. **Friedenberg, Z. B.** und **French, G.** : (1952) The effects of known Compression Forces on Fracture Healing. Surg. Gyn. Obst. 94, 743. — 9. **Gegenbaur, G.** : (1890) Lehrbuch der Anatomie des Menschen. Engelmann, Leipzig. — 10. **Gérard, G.** : (1922) Manuel d'Anatomie Humaine, Masson, Paris. — 11. **Giovanni, B.** : (1936) Delle inserzione dei muscoli e dei tendini e dei loro rapporti con le asperita delle superfici ossee. Studi Sassaesi, 14, 4. — 12. **Giuliani, G.** : (1930) L'influenza dei tendini sullo sviluppo dei nuclei di ossificazione. Ber. wiss. Biol. 13, 564 (Ref.) — 13. **Glücksmann, A.** : (1939) Studies on bone mechanics in vitro. 2. The role of tension and pressure in chondrogenesis. Anat. Rec. 73, 39. — 14. **Heitzmann, C.** : (1888) Descriptive und topographische Anatomie des Menschen. Braumüller, Wien. — 15. **Hidvégi, E.** : (1954) Beiträge zur funktionellen Anatomie des Schultergelenks (ungarisch). Kísérletes Orvostudomány, 2, 137. — 16. **Holmdahl, D. E.** und **Ingelmark, B. E.** : (1948) Der Bau des Gelenkknorpels unter verschiedenen funktionellen Verhältnissen. Acta Anat. 6, 309. — 17. **Holmdahl, D. E.** : (1953) New Aspects of Joint Morphophysiology. Acta Soc. Med. Ups. 48, 257. — 18. **Hyrtl, J.** : (1889) Lehrbuch der Anatomie des Menschen. Wilhelm Braumüller, Wien. — 19. **Johnston, T. R.** und **Whillis, J.** : (1945) Gray's Anatomy descriptive and applied. Longman Green. London, New York. — 20. **Kiss, F.** : (1953) Systematische Anatomie I (ungarisch). Egészségügyi Kiadó, Budapest. — 21. **Kolb, H.** : (1937) Morphologische und funktionelle Analyse des M. tibialis anterior. Z. Anat. 106, 770. — 22. **Kölliker, A.** : (1867) Handbuch der Gewebelehre des Menschen, 5. Aufl. Engelmann, Leipzig. — 23. **Krompecher, I.** : (1943) Gelenkbildung. Experimentelle und Forschungs-Ergebnisse, Anwendung in der chirurgischen Praxis (ungarisch). Medizinische Fachgruppe des Siebenbürgischen Museumvereins, Kolozsvár. — 24. **Krompecher, I.** : (1937) Die Knochenbildung. Fischer, Jena. — 25. **Krompecher, I.** und **Nébel, L.** : (1951) Qualitative Gestaltung von in Entwicklung begriffenen Skelettteilen unter Einwirkung der Umwelt. Acta Morph. Hung. 1, 55. — 26. **Krompecher, I.** : (1937) Die Entstehungsbedingungen des Faserknorpels. Verh. Anat. Ges. 45, 229. — 27. **Krause, K.** : (1881) Deskriptive menschliche Anatomie (ungarisch). Franklin, Budapest. — 28. **Lenhossék, M.** : (1922) Anatomie des Menschen (ungarisch). Franklin, Budapest. — 29. **Mihákovits, G.** : (1892) Anatomie des Menschen (ungarisch). Franklin, Budapest. — 30. **Mihákovits, G.** : (1891) Allgemeine Anatomie (ungarisch). Franklin, Budapest. — 31. **Mollier, G.** : (1937) Beziehungen zwischen Form und Funktion der Sehnen und Muskel-Sehnen im Knochensternsystem. Morph. Jb. 79, 161. — 32. **Möllendorff, W.** : (1931) Handbuch der mikroskopischen Anatomie des Menschen. II/2, II/3. Julius Springer, Berlin. — 33. **Patzelt, V.** : (1948) Histologie des Feinbaues des menschlichen Körpers und seine Entwicklung. Urban u. Schwarzenberg, Wien. — 34. **Pauwels, F.** : (1940) Grundrisse einer Biomechanik der Frakturheilung. Z. Orthop. 72, 62. — 35. **Ploetz, E.** : (1937) Präparate bei Bearbeitung der Frage nach der Umwandelbarkeit von «Gleitsehnen» in «Zugsehnen». Verh. Anat. Ges. 45, 266. (S. Nauck). — 36. **Rauber-Kopsch.** : (1947) Lehrbuch und Atlas der Anatomie des Menschen. I. Thieme. Leipzig. — 37. **Reinke, F.** : (1889) Kurzes

Lehrbuch der Anatomie des Menschen. Urban u. Schwarzenberg. Wien. — 38. **Rouvière, H. :** (1948) Anatomie humaine descriptive et topographique. Masson. Paris. — 39. **Sieglbauer, F. :** (1927) Normale Anatomie des Menschen. Urban u. Schwarzenberg. Berlin, Wien. — 40. **Smith, E. und Copenhaver, W. M. :** (1948) Bailey's Text-Book of Histology. Williams & Wilkins, Baltimore. — 41. **Srdinko, O. V. :** (1923) Über die Histologie des Sehngewebes in den Sehnenbiegungen. Anat. Ber. 1, 365 (Ref.). — 42. **Strasser, H. :** (1879) Zur Entwicklung der Extremitätenknorpel bei Salamander und Tritonen, I. T. Entwicklung des Knorpelgewebes. Morph. Jb., 5, 240. — 43. **Tandler, J. :** (1919) Lehrbuch der systematischen Anatomie. Vogel, Leipzig. — 44. **Testut, L. :** (1928) Traite d'Anatomie. Doin, Paris. — 45. **Törb, I. :** (1952) Histologie (ungarisch). Egészségügyi Kiadó, Budapest. — 46. **Weidenreich, Fr. :** (1923) Über den Begriff «Knochen» und die Beziehungen des Knochengewebes zu Bindegewebe und Knorpel. Anat. Anz. 57, Erg. H. 158. — 47. **Weidenreich, Fr. :** (1923) Knochenstudien II. Über Sehnenverknöcherungen und Faktoren der Knochenbildung. Z. Anat. 69, 558.

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ТКАНЕВАЯ СТРУКТУРА БОРОЗД СУХОЖИЛИЙ

Г. БАЛОГ, и И. ФЭЛЬДЕШ

Авторами было исследовано действие механических факторов в борозде сухожилий на тканевую структуру последних. В течение этих исследований они сделали следующие наблюдения :

1. На верхнем участке sulcus retromalleolaris lateralis, где сухожилие не вызывает механического действия, а плавно проходит мимо кости, нельзя обнаружить хряща.

2. В остальных приведенных, или же исследованных бороздах сухожилия имеется хрящевый покров, который — в соответствии с воздействием — показывает слоистую структуру ; на поверхности находится хрящ сколлаженными волокнами, так как на этом месте воздействуют усилие сжатия и усилие среза, в то время как непосредственно над костью — в зависимости от действия противодавления — образуется гиаловидный хрящ.

3. В соответствии с возрастом можно наблюдать известное изменение в слоистости тканей. Слой так называемого переходного хряща занимает гораздо большее пространство. Под названием переходный хрящ подразумевается, что между коллагенными волокнами помещаются большие, напухшие клетки, напоминающие гиалиновидный хрящ. Это является результатом функционального воздействия.

4. Сила механического воздействия оказывает влияние на толщину образующегося хрящевого слоя. Этим объясняется, что, например, в sulcus retromalleolaris medialis или в sulcus musculi peronei longi хрящевый слой гораздо выразительнее выступает, чем в sulcus hamuli pterygoidei.

5. Обнаруженный на поверхности борозды сухожилия хрящевый слой можно рассматривать как второй хрящ.

6. Авторы наблюдали капиллярное заращение, предшествующее образованию хрящевой ткани, и они приводят это явление в связь с образованием хрящевой ткани.

7. Результаты авторов предоставляют нам дальнейший материал для суждения того, что применение функционального и этио-патогенетического воззрения обосновано также и в области образования хрящевого покрова в бороздах сухожилий.

Gábor Balogh, Debrecen, 12. Anatómia. Ungarn.

István Földes, Debrecen, 12. Anatómia. Ungarn.