

(Aus dem anatomischen Institut zu Bonn.)

Zur Kenntniss der Grundsubstanz und der Saftbahnen des Knorpels.

Von

Dr. M. Wolters in Bonn.

Hierzu Tafel XXV.

In der Zeitschrift für wissenschaftliche Mikroskopie (Bd. VI, pag. 508) hat Herr Prof. Schiefferdecker ein Referat gegeben über die Mörner'sche Arbeit „Chemische Studien über den Trachealknorpel“ (Skandinavisches Archiv für Physiologie Bd. I, 1889, pag. 216). Die in dieser Veröffentlichung beschriebenen Versuche, soweit sie mikroskopisch sichtbare Reaktionen und Färbemethoden anlangten, habe ich im letzten Sommer nachzuuntersuchen Veranlassung genommen.

Die Anregung dazu gab Herr Prof. Schiefferdecker, der neben der Prüfung der Mörner'schen Methoden auch einen Vergleich mit den durch Hämatoxylin und Pikrinsäure hervorgerufenen Bildern dabei im Auge hatte.

Es wird daher im Folgenden zuerst über die bei Anwendung der ersten Methode gewonnenen Resultate zu berichten sein, um dieselben alsdann mit den durch Hämatoxylin erhaltenen Bildern zu vergleichen.

Die Untersuchungen wurden, soweit dies möglich war, an frischem, nicht gehärtetem Knorpel angestellt. Bei den vom Menschen stammenden Objekten muss dabei zwei- bis dreimal 24 Stunden post mortem noch als frisch gerechnet werden. Denn früher als nach der angegebenen Zeit gelangten die Untersuchungsobjekte meist nicht zur Verarbeitung. Zuweilen konnte aber nicht alles Material durchuntersucht werden und wurde daher theilweise in 96 % Alkohol konservirt. Die an diesen konservirten, gehärteten Objekten gewonnenen Resultate waren ebenso günstig wie die an nicht gehärteten. Mörner erwähnt darüber nichts in seiner Abhandlung, darum sei hier darauf hingewiesen.

Was die angegebene Concentration der Farblösungen anlangt, so stellte sich bald heraus, dass die 2—3% Tropäolinlösung zu stark ist. Der Farbstoff wird in einer so geringen Menge Wassers nicht mehr gelöst. Es entsteht keine Lösung, sondern ein Brei, der mit gleichen Theilen Wasser verdünnt werden musste. Ebenso ist die Lösung des indigoschwefelsauren Natrons zu 4—5% zu stark. Nur ein Theil löst sich, der Rest bleibt als Bodensatz zurück. Indigoschwefelsaures Kali war von Gehe u. Comp. nicht zu beziehen, da die Firma solches nicht liefert. Gleichwohl führt Mörner, unter Beziehung auf obige Firma, das Kali als von ihm benutzt an.

Die mit indigoschwefelsaurem Natron angestellten Versuche schlugen alle fehl. Die Färbung war sehr blass und dabei diffus. Eine Differenzirung, wie Mörner sie angiebt, wurde niemals erreicht. Die Methode mit Eisenchlorid und gelbem Blutlaugensalz ergab ebenfalls Resultate, die in keiner Weise befriedigten. Es fehlt bei Angabe dieser Methode jede Mittheilung über Concentration der anzuwendenden Flüssigkeiten, sowie über die Dauer der Einwirkung.

Für die Färbung des Balkennetzes wurde Tropäolin, für die der Chondrinballen ausschliesslich Methylviolett angewendet, beides immer mit gleich vorzüglichem Erfolge. Beide Methoden wurden dann im weiteren nach Mörner's Angabe combinirt und gaben so allerdings die eklatantesten Resultate. Das Verfahren, welches ich anwandte, war folgendes.

Die möglichst dünnen Knorpelschnitte werden auf $\frac{1}{2}$ Stunde in 1% wässrige Lösung von Tropäolin 000 Nr. 2 von Schuchard gebracht, in Wasser ausgewaschen, ungefähr 3 Minuten darnach dann auf 1—2 Minuten in eine 0,15% wässrige Methylviolettlösung gebracht, in Wasser abgespült und einige Minuten in 10% Essigsäure entfärbt; in Alcohol abs. entwässert tritt erst die deutlichste Differenzirung ein. Dann folgt Aufhellen in Oel und Lack.

Die ersten Versuche mit der Mörner'schen Färbung wurden an dem Thyreoid-, Cricoid- und Arytaenoid-Knorpel, sowie der Epiglottis des erwachsenen Rindes gemacht, alsdann auch die Rippenknorpel herangezogen. In allen Fällen wurden dieselben farbenprächtigen Bilder erhalten, wie Mörner sie in seiner Publikation abbildet. Die Gelenkknorpel gaben die Reaktion nicht.

In zweiter Linie wurden dann die gleichen Knorpel des Kalbes zum Versuche verwendet, zuerst die des Kehlkopfes, späterhin auch die anderen. Alle diese Knorpel sollen, da nach Mörner erst bei erwachsenen Thieren die Trennung der Chondrin- und Albumoids substanz stattfindet, keine Farbenreaktion aufweisen.

Diese Behauptung wurde durchgehends bestätigt. Allein es fand sich eine Ausnahme.

Der Arytaenoidknorpel gab in der frappantesten Weise die Farbenreaktion. Die Epiglottis wiederum zeigte nichts davon. Da in dem Aryknorpel, ebenso wie in der Epiglottis, früher als in allen andern Knorpeln elastische Elemente auftreten, so wäre vielleicht daran als Grund für die Differenzirung der Substanzen zu denken gewesen. Doch die Befunde an Epiglottis und Ohrknorpel, die negativ waren, liessen diese Auffassung als nicht richtig erkennen. Alle anderen Knorpel ergaben, um dies nochmals hervorzuheben, keine Resultate.

Thyreoid-, Cricoid-, Arytaenoid-Knorpel, Epiglottis, ebenso wie Gelenk- und Rippenknorpel eines fast ausgetragenen Rinderfoetus lieferten auch nur negative Befunde.

Im Anschlusse an diese Untersuchungen wurden auch die Knorpel des Menschen nach denselben Methoden behandelt. Hier wäre es von dem grössten Interesse gewesen, das erste Auftreten der Differenzirung zu konstatiren, um eine ungefähre Altersgrenze festzustellen. Doch fehlte mir leider ausreichendes Material von jüngeren Individuen.

Zur Verfügung standen mir Stücke der Gelenk-, Rippen- und Kehlkopf-Knorpel eines Mannes von 50 Jahren und zweier Männer von etwa 25 Jahren; Stücke der Kehlkopf- und Tracheal-Knorpel zweier Männer von 25 Jahren; kleine Stücke des Tracheal-, Thyreoid- und Cricoidknorpels eines 13-jährigen Mädchens; sämtliche Knorpel eines 6-tägigen Knaben.

Die Versuche an den genannten Kehlkopfknorpeln sowie an den Gelenk- und Rippenknorpeln der Erwachsenen führten alle zu den gleichen Resultaten, wie die mit den Knorpeln des erwachsenen Rindes angestellten. Ueberall, mit Ausnahme der Gelenkknorpel, erschienen die Chondrinballen prachtvoll blau gefärbt auf gelbem Grunde. Die Asbest-Zerfaserung fand sich auch bei den jugendlichen Individuen in den zwanziger Jahren bereits vor. Es stimmt dies überein mit der Ansicht von Chie-

vitz, dessen Untersuchungen nachwiesen, dass diese Zerfaserung normaler Weise bereits im zwanzigsten Jahre eintritt. Auch bei den drei mir zur Verfügung stehenden Knorpeln von dem 13-jährigen Mädchen — dem Thyreoid-, Cricoid- und Trachealknorpel — trat eine Farbendifferenz deutlich zu Tage. Allerdings war dies nicht überall der Fall, sondern meist in kleineren, central im Knorpel gelegenen Partien. Der Arytaenoidknorpel dieses Individuums stand mir nicht zur Verfügung.

Bei den Knorpeln des 6-tägigen Knaben führten alle Versuche zu negativen Resultaten. Auch die Aryknorpel zeigten keine Differenzirung. Ebenso liess die zwischen Epiphysen-Diaphyse liegende Knorpelplatte desselben Individuums keine Farbenreaktion erkennen. Dagegen wiesen Schnitte aus dem Epiphysenknorpel eines 10—12 Tage alten Kaninchens, das in den übrigen Knorpeln keine Differenzirung zeigte, deutliche Färbung der Chondrinballen auf. Die Epiphyse zeigte noch keinen Knochenkern, und in der Gegend, wo dieser sich später entwickelte, war eine deutliche Differenzirung zu erkennen. Es ist dies der einzige Fall, wo bei einem so jungen Individuum an dieser Stelle schon eine Differenz der Knorpelsubstanz konstatirt wurde, ein Fall, der zu bedenken giebt, ob als Uebergang zu der Bildung der Knochenkerne nicht schon eine Trennung der Knorpelsubstanz statthabe. An der Ossificationsstelle selbst zeigte sich die ganze Substanz gelblich gefärbt, ohne eine Spur von Abgrenzung der Chondrinballen. Die Mörner'sche Färbung ergiebt also auch beim erwachsenen Menschen bis zu 13 Jahren und vielleicht noch weiter abwärts ausser einer Gelbfärbung des Perichondriums eine Differenzirung der Grundsubstanz in Chondrinballen und Balkenwerk. Foetale und junge Knorpel zeigen von dieser Differenzirung keine Spur mit Ausnahme der erwähnten Epiphyse bei dem jungen Kaninchen.

Zum Vergleiche wurden Knorpel vom Rinde und vom Menschen, und zwar die erwähnten Kehlkopfknorpel, Rippen- und Gelenkknorpel, mit Hämatoxylin gefärbt. Zu diesem Zwecke wurde die Delafield'sche Hämatoxylinlösung mit Aqua dest. soweit verdünnt, dass sie noch leicht veilchenblau war. In diese Lösung kamen die möglichst dünnen Schnitte auf 24 Stunden, nach Bedürfniss auch länger. Alsdann wurden die blau gewordenen Schnitte auf 10 Minuten in eine concentrirte Lösung von

Pikrinsäure in Alkohol gebracht, in Oel aufgehellte und in Lack eingeschlossen. Längere Einwirkung der Pikrinsäure bis zu 24 Stunden hatte absolut keinen andern Erfolg, als die kurze Einwirkung. Bei den auf diese Weise hergestellten Präparaten von frischem Knorpel vom Rinde zeigte sich, dass Streifen und unregelmässig geformte Partien zwischen den Knorpelzellen durch das Hämatoxylin gefärbt worden waren, während die Zellen in gelbgefärbter Grundsubstanz lagen. Gleiche Resultate ergaben die verschiedenen menschlichen Knorpel, die auf diese Art gefärbt waren. An den Knorpeln der älteren Individuen, in denen sich um die Zellen schon Kalkablagerungen zeigten, wurden besonders an den im Knorpel central gelegenen Stellen Färbungen der direkten Umgebung der Knorpelzellen beobachtet, welche entfernt an die durch die Mörner'sche Methode erhaltenen Bilder erinnerten. Stellenweise umgab die Zelle ein intensiver gefärbter Ring, stellenweise war nur ein stark gefärbtes Oval zu erblicken, woraus zu schliessen ist, dass diese Färbung allein die Kapsel oder einen Theil derselben betraf. An den peripheren Partien fehlten derartige Bilder ganz. Doch waren diese Färbungen weder konstant noch so scharf abgegrenzt, dass man sie als chondrinballenförmig hätte bezeichnen können. Die Knorpel des sechs Tage alten Knaben ergaben ebenfalls eine Hämatoxylinfärbung, die in Flecken und Strichen die Substanz durchsetzte, ohne dass man daraus einen Schluss auf bestimmte Strukturverhältnisse hätte machen können. In den Epiphysen dieses Individuums sowohl wie des jungen zu den Versuchen benutzten Kaninchens zeigte sich die bekannte distinkte Färbung der Knorpelsubstanzreste in den schon verknöcherten Partien, eine Färbung, welche in ähnlicher Weise zwischen die grossen Zellsäulen hinaufstieg.

Eine Uebereinstimmung mit der Mörner'schen Färbung ergab somit die Tinction mit Hämatoxylin nicht, ebensowenig aber eine irgend sonst zu verwendende Differenz. Aehnliche Bilder wurden von Spina, Fürbringer, Flesch, Strasser, Renaut, Schiefferdecker und anderen durch Hämatoxylin- und Anilinfärbungen erhalten.

Die geringen Reste der von menschlichen Objekten stammenden Präparate wurden in 96% Alkohol conservirt und erst nach längerer Zeit zu nochmaliger Kontrolle der oben geschild-

derthen Resultate wieder herangezogen. Es fanden sich dabei an einer Stelle wesentlich neue Strukturverhältnisse, auf die im Folgenden ihrer Wichtigkeit wegen eingegangen werden soll. Die von den früheren Versuchen übrig gebliebenen Stücke waren leider nur gering und die mir noch vor Uebertritt in eine andere Stellung zu Gebote stehende Zeit zu kurz, um die Resultate in ihrer ganzen Bedeutung zu verfolgen. Ich muss mich daher darauf beschränken, die am Thyreoidknorpel eines ca. 25jährigen Mannes gemachten neuen Beobachtungen mitzuthellen.

Es handelt sich dabei um das System der Saftbahnen im Hyalinknorpel.

Die zahlreichen Arbeiten über diesen Gegenstand haben, obwohl meist die gleichen oder verwandte Methoden angewendet wurden, nicht zu einer Uebereinstimmung geführt, oft sogar bei fast identischen Befunden zu conträren Deutungen Veranlassung gegeben.

Wie von Solger, Spina, Vogel und Zuckerkandl erwähnt wird, sind nach den bisher geltend gemachten Ansichten vornehmlich drei Arten zu nennen, auf welche der Saftstrom den Knorpelzellen zugeführt werde.

1) Längs der protoplasmatischen Fortsätze der Knorpelzellen, die unter einander verbunden sind.

2) Durch die zwischen den Fibrillen des Knorpels bestehenden Spalten.

3) Durch eigene Kanälchen.

4) Ausser diesen ist als vierte noch Gerlach's Ansicht zu erwähnen, der durch Injektion von Zinnober zwar negative Resultate erhielt, aber bei Anwendung von Indigokarmin Farbstoff in Kapsel und Zelle fand. Aus seinen Befunden schloss er, dass der Saftstrom keine eigenen Wege habe, sondern den Knorpel diffus durchdringe.

Der ersten Ansicht, dass durch protoplasmatische Zellfortsätze der Saftstrom geleitet werde, neigen Stricker und Noris zu. Sie schlossen, dass die Knorpelzellen, unter einander in Verbindung stehend, Nahrungsmaterial zugeführt erhielten, analog den Zellen der entzündeten Hornhaut, die bei einem mit Farbstoffen gefütterten Thiere zahlreiche Farbkörnchen in ihren Fortsätzen führten. Gestützt wurde diese Ansicht durch die vergleichend anatomischen Untersuchungen, welche das Vorkommen von

verästelten, unter einander communicirenden Knorpelzellen nachwiesen. Beobachtungen derart wurden von Queckett bei Cephalopoden und Plagiostomen, Gegenbaur bei Selachiern, Boll bei Cephalopoden, Leydig bei Haien und Rochen, Kölliker bei Cephalopoden, Flesch, Fürbringer u. a. m. gemacht. Bei Säugern und dem Menschen fand Waldeyer in den oberflächlichen Schichten des Gelenkknorpels Zellen mit Fortsätzen, die communicirten.

Heitzmann wies 1872 am Gelenkknorpel des Hundes durch Anwendung von Gold- und Silberchlorid ein Protoplasmanetz nach, das in den Hohlräumen der Grundsubstanz verläuft. Petrone beschreibt wie Heitzmann ein mit protoplasmatischen Fortsätzen gefülltes Canalsystem im hyalinen Knorpel, das mit der Synovial-Membran zusammenhänge. Auch Rubnoff wies durch Osmiumsäure, neben anderen Structurverhältnissen, bei Säugern derartige Zellen nach. Van der Stricht, der Cephalopoden-, Selachier- und Amphibienknorpel neben dem von Gelenken und Trachea des Kalbes und Menschen (Kniescheibe der Neugeborenen) verwendet, fand bei letzteren beiden Zellen mit Fortsätzen, die spärlich anastomosirend in Kanälchen liegen, deren eigne Wandung eine Fortsetzung der Kapsel ist. Hertwig und Colomiatti bestätigten diese Befunde an nicht hyalinem Knorpel bei Amphibien und Säugern. Die Streifung, die beide ausserdem im Knorpel beobachteten, ist Hertwig geneigt, als Saftkanälchen zu deuten, während Colomiatti sie als elastische Fasern ansieht. Aehnlich spricht sich auch Deutschmann über diese Gebilde aus. Spina fand nach Alkoholeinwirkung bei Froschgelenken solide Fortsätze an den Knorpelzellen, die zumeist von den geschrumpften Zellen ausgehen und, indem sie sich mit den Fortsätzen anderer Zellen verbinden, die Grundsubstanz durchziehen. Dieselben sind in den obersten Schichten am feinsten und zahlreichsten und gehen von der Zelle aus wie die Speichen eines Rades. In der Regel verzweigen sich diese Fortsätze nicht und treten gewöhnlich von zwei conträren Punkten der Zelle ab, doch kommt auch eine Netzbildung vor. Die Knorpelkapsel soll auf diese Fortsätze übergehen. Zum weiteren Beweise injicirte Spina Fröschen Carminlösung und fand, dass nach Verlauf einiger Zeit sich Farbstoffkörnchen in dem durch die Zellausläufer gebildeten Netzwerke und den Kapseln vorfanden. Er schloss

aus alle dem, dass der Saftstrom im Knorpel durch dies protoplasmatische Netz gehe. In seiner neuesten Knorpelarbeit (1886), zu der er Arytaenoid-Knorpel des Pferdes nach Alkoholhärtung verwendet, beschreibt er ein Netzwerk, das von dem weissen Knorpel gebildet wird. Dazwischen liegen die Bogen gelben Knorpels. Der gelbe färbt sich mit Hämatoxylin und Methyl violett. Die Granulirung, die bei Alkoholpräparaten erscheint, ist der optische Ausdruck eines feinen Netzwerkes, das an den Zellen wurzelt. Dieses wird gebildet durch protoplasmatische Fortsätze der Knorpelzellen, deren sich verästelnde Enden durch Anastomosen sich zu einem dichten Netze verbinden.

Die Versuche Spina's, sowie die der meisten anderen Autoren sind von Vogel nachgemacht worden. Er fand nirgendwo Stellen, die ihm ein Uebergehen der Kapsel auf die Zellfortsätze gezeigt hätten. Seine weiteren Befunde führten ihn zur Annahme der zweiten Ansicht, dass der Saftstrom durch die Fibrillenstruktur geleitet werde. Dagegen sah auch er nach Alkoholbehandlung eine Streifung im Knorpel auftreten, konnte sich aber, im Gegensatz zu Spina, nicht von einem Zusammenhange derselben mit den Zellen überzeugen. Kleine Fortsätze der Zellen, die durch präformirte Lücken in der Kapsel durchtreten können, werden von ihm anerkannt. Sie endigen in der fibrillären Grundsubstanz, ohne mit denen anderer Zellen zu communiciren. Diese Fortsätze kommen oft nicht zur Beobachtung, da sie sehr fein sind und durch Schrumpfungsprozesse leicht abreißen. Zellfortsätze beschrieb auch Flesch und ebenso Frommann, der an Knorpel von Amphibien, Schwein und Rind ganz feine Fäserchen in die Grundsubstanz übergehen sah.

Vogel kommt zum Schlusse seiner Arbeit zu dem Resultate, dass der Knorpel niederer Thiere als nicht gleichwerthig mit dem hyalinen Knorpel der Säuger zu betrachten sei.

Die Zellen bei Wirbelthieren haben kleine Fortsätze, die Kapseln Lücken zum Durchtritt des Saftstromes, welcher geleitet wird in der Kittsubstanz der Fibrillen, aus denen der Knorpel sich aufbaut.

Schon vor Vogel hat Zuckerkandl bei dem Nasenknorpel des Tapir eine fibrilläre Struktur im Knorpel beschrieben, welche, aus zarten, büschelweise angeordneten Fasern bestehend, die Knorpelsubstanz durchzieht, immer zwischen benachbarten

Kapseln ausgespannt. So entsteht ein Netzwerk, zwischen dem eine homogene Kittsubstanz liegt. Gegen die Oberfläche wird das Netzwerk enger. Das Faserwerk zieht sich hier auch ausserhalb der Zellterritorien und füllt die Lücken des Maschenwerkes aus.

Eine Verbindung zwischen Zelle und Faserbündeln konnte Zuckerkandl niemals nachweisen, ebensowenig Verbindungen zwischen den einzelnen Fasern. Das Faserwerk nahm das alkoholische Anilin-Roth intensiver auf, als die übrige Substanz.

Auch Spronck, der besonders mit Alkohol arbeitete, sah beim Knorpel des Caput Femor der *Rana esculenta* zahlreiche eiweissartige Fasern in der Grundsubstanz, welche die Kapsel durchbohren und benachbarte Zellen verbinden. Er deutet sie als solide Fasern, die auf dem Ausschnitt stärker lichtbrechend sind, als die übrige Substanz. Spronck spricht sich auf Grund seiner Befunde dahin aus, dass es sich um Bahnen handle, auf denen den Knorpelzellen die Ernährungsflüssigkeit zugeführt werde.

Ebenso beschreibt van der Stricht fibrilläre Streifung der Grundsubstanz, die er neben den obenerwähnten Ausläufern der Knorpelzellen sah. Beides zu gleicher Zeit darzustellen sei unmöglich. Die Fibrillen seien zu Lamellen angeordnet, welche durch Fasern verbunden seien. Ausserdem sah er intercapsuläre Faserbündel zwischen den Kapseln der Knorpelzellen, verbunden durch eine interfibrilläre Kittsubstanz, die mit der interlamellären identisch sei.

Auf Grund seiner Befunde, die durch Injektion von indigschwefelsaurem Natron beim Frosch und Kaninchen erhalten wurden, spricht sich Arnold dahin aus, das durch die Gefässe des Perichondriums zugeführte Material dringe in engen Spalten der Zwischensubstanz vor, um dann durch feine, in der Kapsel befindliche Poren in den pericellulären Raum zu gelangen und die Zelle zu versorgen. Er fand die Kapseln von radiären Streifungen durchsetzt, zum Theil Netzbildungen. Die Streifung ging theilweise in der Intercellulärsubstanz als körnige, feine Linien weiter.

Wie Arnold nimmt auch Socolow an, dass die ernährende Flüssigkeit durch die interfibrillären Räume gehe. Seine Befunde an Knorpeln von Pferd, Kuh, Schwein, Hund, Schaf, Kaninchen und Katze, die er mit Osmiumsäure nach Bubnoff erhielt, lassen

ihn deren Befunde als Kunstprodukte ansehen und er glaubt sogar die Spalträume vielleicht durch Einwirkung der Osmiumsäure erklären zu sollen, wodurch das Gewebe brüchig werde. Aehnliche durch Chromsäure und Müller'sche Flüssigkeit erhaltene Bilder scheinen das zu bestätigen.

Eine grössere Anzahl Autoren wie Colomiatti, Retzius, Brückner, Gerlach und viele andere halten die von Arnold durch Injektionen hervorgerufenen Bilder für Kunstprodukte in Folge der Imbibitionsfähigkeit des Knorpels und des Druckes bei der Injektion.

Für die Existenz präformirter Kanälchen trat vor allen Budge ein. Auch er machte, um die Saftkanälchen darzustellen, Injektionen mit Berliner Blau und Asphalt, den er in verschiedenen Reagentien löste. Er erhielt Farbniederschläge in den Knorpelkapseln und hier und da in der Zwischensubstanz Linien, die sich aus Körnchen zusammensetzten. Reitz injicirte Zinnober, den er in den Zellen als Körnchen wiederfand. Hutob bestätigte diesen Befund, ebenso Heitzmann, Maass und Stricker, dagegen fand Barth den Farbstoff nur in den jüngeren Zellen. Ponfick, Hoffmann, Langerhans, vor allen aber Cohnheim sprachen sich mit der grössten Entschiedenheit dahin aus, dass es unmöglich sei, durch Injektion Farbstoff in dem Thierkörper in die Knorpelzellen zu bringen und leugneten dadurch die Existenz eines Saftkanalsystems. Bubnoff, der unter Stricker arbeitete, stellte auch Injektionsversuche an. Er fand, dass der Farbstoff in die Knorpelkapseln eindringt und sich in Form eines feinen Netzwerkes ablagert, ebenso wie in einer dicken pericellulären Schicht in der Knorpelkapsel. Nycamp erhielt durch Behandlung mit 5 % Ammonium bichromat. eine fibrilläre Streifung im Knorpel, in welcher er Hohlräume mit verzweigten Ausläufern konstatiren konnte. Injektionsversuche mit indig-schwefelsaurem Natron liessen an diesen von ihm als Kanälchen betrachteten Gebilden Farbstoffkörner nachweisen, woraus er schloss, dass es Saftkanälchen seien.

Budge versuchte im weiteren, das Kanalsystem, welches die Injektionen ihn annehmen liessen, auch auf andere Weise darzustellen. Macerationsversuche mit Trypsin, Pepsin, sowie mit den verschiedensten Säuren hatten nur beschränkte Resultate. Es zeigte sich hie und da eine Streifung der Substanz.

Chromsäure nach der Angabe von Hénocque liess ein Netzwerk stark glänzender Balken vortreten. Die besten Bilder von allen erhielt Budge aber durch Aether in Verbindung mit Colloidium.

Von den Kapseln aus sah er nach allen Richtungen hin doppeltkonturirte Fasern ziehen, die bündelweise angeordnet waren. Sie communiciren hier und da mit einander und gehen von einer Kapsel zur benachbarten. Es entsteht so ein Netzwerk. Die Wandung der Kanälchen soll aus einer eigenthümlich modifizirten Grundsubstanz bestehen, die gegen Chromsäure und Kalilauge sehr widerstandsfähig ist. Budge nimmt darauf gestützt an, dass die geschilderten Fasern ein eigenes, festbegrenztes Röhrensystem seien, in dem die Ernährungsflüssigkeit circulire und das mit den grösseren Lymphstämmen communicire.

Orth bildet in seinem Lehrbuche der Histologie auch die sogenannten Saftkanälchen des hyalinen Knorpels ab, die er durch Behandlung mit Aether darstellte und giebt an, dass aller Wahrscheinlichkeit nach diese so erhaltenen Gebilde als Saftkanälchen würden zu deuten sein. Seine Bilder stimmen mit denen von Budge überein, zum Theil auch mit denen von Solger. Letzterer Autor, der die Einwirkung des Alkohols auf den Knorpel genau studirte, kommt in Bezug auf die Deutung der gewonnenen Bilder zu ganz anderen Resultaten. Den mit Aether dargestellten Strichelungen der Grundsubstanz, ebenso wie den nach Alkohol auftretenden identischen Zeichnungen erkennt er nur den Werth von Schrumpfungsphänomenen zu. Auch nach seiner neuesten Arbeit betrachtet er die Frage nach Vorkommen von Saftkanälchen im Hyalinknorpel noch für ungelöst und erkennt den in frischem Zustand in Aether und Alkohol fixirten Objekten keine Beweiskraft zu.

Wie bereits oben erwähnt, hatte ich die Reste des zu den Färbeversuchen verwendeten Materiales in Alkohol konservirt und erst nach geraumer Zeit wieder zu neuen Versuchen hervorgesucht.

Zu diesen wurde auch ein etwa 2 Quadratcentimeter grosses Stück der mittleren Partie der einen Platte des Thyreoidknorpels aus dem Kehlkopf eines ungefähr 25jährigen Mannes verwendet. Vor dem Schneiden brachte ich dasselbe noch 24 Stunden in Alcoh. abs. und fertigte dann 5—7 μ dicke Schnitte an, welche

nach der oben genau angegebenen Art und Weise mit Hämatoxylin und Pikrinsäure-Alkohol gefärbt wurden. Die zuerst angewendete Schnittrichtung war senkrecht zur Knorpeloberfläche, horizontal zur Körperachse.

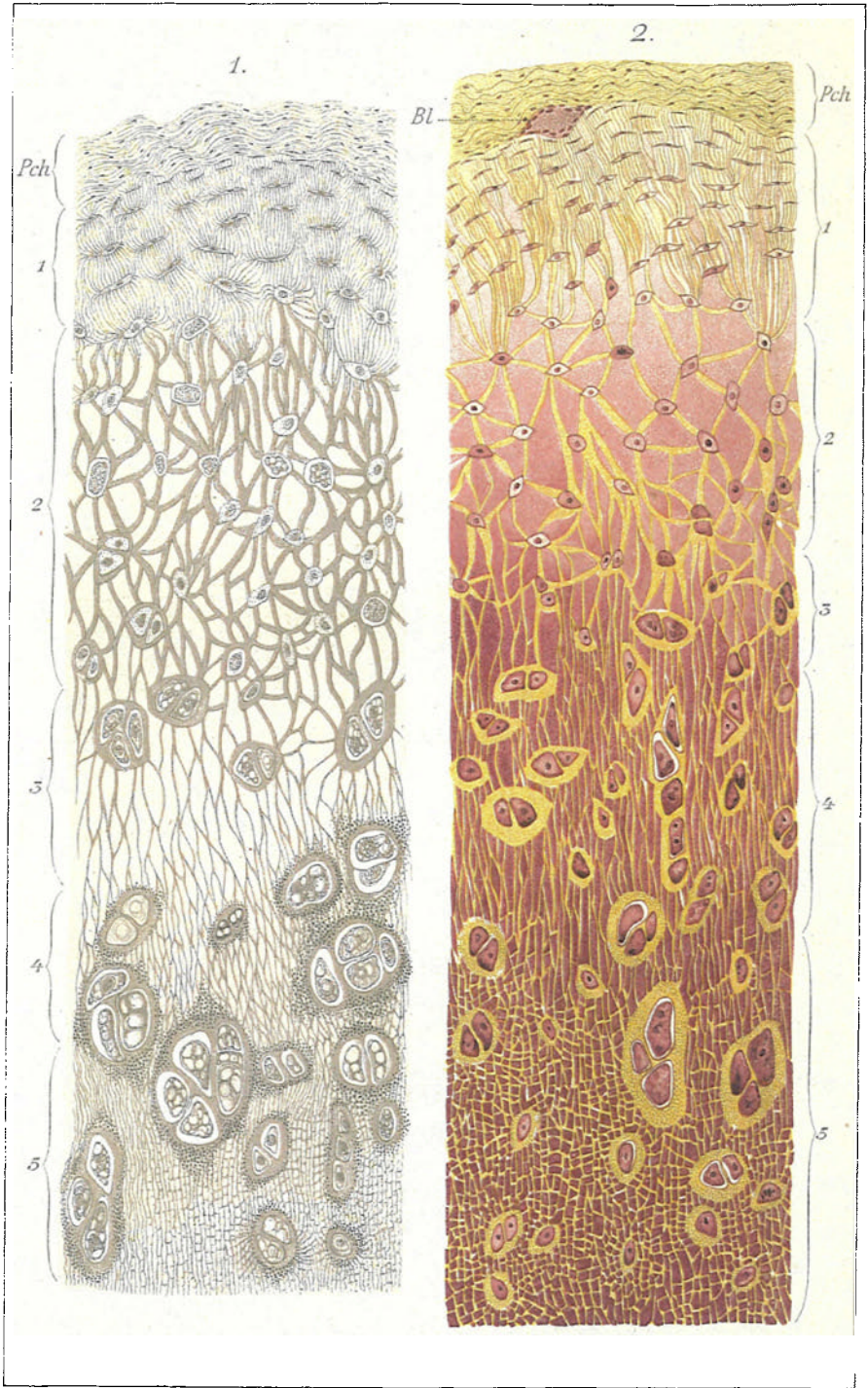
Die auf diese Weise hergestellten Präparate zeigten schon bei schwacher Vergrösserung ein eigenthümlich streifiges Aussehen, hervorgerufen dadurch, dass ein Theil der Substanz die Hämatoxylinfärbung zurückgehalten hatte und sich scharf von den durch Pikrinsäure gelb gefärbten Partien absetzte.

Bei näherem Zusehen erwiesen sich die gelb gewordenen Streifen als ein netzartiges Flechtwerk, welches inmer auf die Knorpelzellen als Knotenpunkte zulief. Die Zellen selbst waren augenscheinlich nur an ihrer Oberfläche gefärbt und zeigten daher bald tief dunkle Färbung, bald ganz helle, je nachdem der Schnitt oberflächliche oder centrale Partien getroffen. Im letzteren Falle waren die hellen Zellen von einer intensiv gefärbten Peripherie umgeben. Das Perichondrium war gelb gefärbt, die Kerne traten dunkel hervor.

Das ganze System von Streifen, das gelb gefärbt auf dem violetten Grunde sich abhob, war in seiner Hauptrichtung senkrecht zur Peripherie und liess 5 Zonen erkennen, wie die Abbildung Tafel XXV, 2 es darstellt.

1. Zone. Kleine, längliche Knorpelzellen, die der Peripherie parallel gerichtet liegen und keinen sich besonders auszeichnenden Hof zeigen, sind durch zarte gelbe Streifen verbunden, die meist nur an zwei entgegengesetzten Seiten der Zelle entspringen. Richtung: senkrecht zur Peripherie. Anastomosen sind unter diesen Streifen selten. Mitunter überspringen dieselben wohl eine Zelle, um zwischen zwei benachbarten durchgehend zu einer entfernteren zu ziehen.

2. Zone. Die Knorpelzellen sind mehr rundlich geworden. Ihre Richtung zur Peripherie ist keine konstante mehr. Die wenig zahlreichen Streifen sind bedeutend verbreitert und lassen grosse violettgefärbte Territorien zwischen sich. Die Richtung bleibt im allgemeinen senkrecht zur Peripherie, doch sind zahlreiche Anastomosen vorhanden und die Streifen treten von allen Seiten der Zellen ab zu den benachbarten. Die der dritten Zone nahe liegenden Zellen zeigen Anfänge der Bildung von besonders differenzirten Höfen.



3. Zone. Die Zellen sind grösser, haben deutliche Höfe, welche durch die Pikrinsäure, wie die Streifen, gelb gefärbt sind und liegen zu mehreren zusammen. Eine Richtung der Zellen zur Peripherie ist nicht mehr zu erkennen. Die Streifen sind zarter, das durch sie und ihre Anastomosen gebildete Netzwerk ist engmaschiger. Trotz der nach allen Richtungen von den Zellen abgehenden Streifen bleibt die Richtung im allgemeinen senkrecht zur Peripherie.

4. Zone. Die Zellen liegen, meist zu mehreren, in breiten, gelb gefärbten Höfen und haben an Grösse sehr bedeutend zugenommen. Sie sind nicht mehr zur Peripherie rangirt. Hier und da sind sie geschrumpft und füllen die Knorpelhöhlen nicht mehr ganz aus. Die Höfe besitzen theilweise, besonders an dem Uebergang zur folgenden Zone, körnige Kalk-Einlagerungen. Das Maschenwerk der Streifen ist enger geworden, doch lassen die zahlreichen Anastomosen die zur Peripherie senkrechte Richtung immer noch als hauptsächlichliche erkennen. Die Streifen treten an allen Seiten von den Höfen ab.

5. Zone. Die Zellen, in ihrer Grösse ungemein verschieden, liegen einzeln oder meist zu mehreren umgeben von breiten Höfen, welche die erwähnten körnigen Einlagerungen in grosser Verbreitung aufweisen. Das Netzwerk der Fasern zeigt nur noch undeutlich die prinzipielle Richtung radiär zur Peripherie. Die Anastomosenbildung ist eine ungemein reiche, die Maschen sind dementsprechend sehr enge. Während in den früheren Zonen die anastomosirenden Züge im spitzen Winkel abtraten, stehen dieselben jetzt fast senkrecht und ergeben so ein Netzwerk von eckigen Maschen, welches an die Struktur der Knochenspongiosa lebhaft erinnert. Die Fasern gehen von der ganzen Peripherie der Zelle resp. des Hofes aus.

Die gelben Streifen verbinden meist alle Zellen mit einander, nur wo die Streifenbildung überhaupt nachzulassen beginnt, bleibt hin und wieder eine Zelle in der violett gefärbten Grundsubstanz isolirt liegen.

Auf die fünfte, eben geschilderte Zone folgt unter allmählichem Verschwinden der gelben Streifen eine solche, in welcher in der violetten Grundsubstanz eine verschieden grosse Anzahl von grösseren und kleineren Kalkkrümmeln eingelagert sind, die sich durch ihre gelbe Farbe auszeichnen. Die gelben Höfe um

die Zellen sind noch vorhanden. Verschiebt man das Objekt weiter, so tauchen wieder Fasern auf und zwar die fünfte Zone, an welche sich dann successive rückwärts gehend die andern anschliessen bis zum Perichondrium.

Die geschilderten fünf Zonen sind nicht an allen Stellen der Schnitte und nicht überall gleich schön vorhanden. Es kommt vor, dass eine oder mehrere Zonen ausfallen, ja es kann die fünfte sofort an die erste anschliessen. Es folgt alsdann aber keine der anderen mehr. Niemals findet sich ein Durcheinanderwerfen der einzelnen Zonen, so dass es den Anschein hat, als wenn die fünf geschilderten das Schema bildeten, in welchem wohl eine oder die andere ausfallen, nie aber ihre Stellung zu den übrigen wechseln könne.

Auf Schnitten, die senkrecht zu den oben beschriebenen entweder senkrecht zur Knorpeloberfläche und gleichzeitig parallel der Körperaxe oder parallel der Knorpeloberfläche gemacht wurden, zeigten sich *mutatis mutandis* dieselben Bilder. Niemals — und das verdient besonders hervorgehoben zu werden — waren Bilder zu sehen, die als Querschnitte von cylindrischen oder prismatischen Gebilden zu deuten gewesen wären. Es ist dieser Umstand schwer zu verstehen, aber nur dahin zu deuten möglich, dass die gelben Streifen eben nicht cylindrische oder prismatische Gebilde sind, sondern der Ausdruck des Quer- resp. Schrägschnittes von mässig breiten Platten oder ähnlichen Bildungen. Vielleicht ist so auch das mitunter zu beobachtende plötzliche Auftreten von breiteren gelben Streifen zu erklären (Fig. 2, 2 unten); es würden die Platten dann mehr flächenhaft gesehen werden. Für eine plattenartige Ausdehnung spricht auch der Umstand, dass man die gelben resp. am Alkoholpräparat stark lichtbrechenden Streifen mit der Mikrometerschraube mehr oder weniger weit in die Tiefe des Schnittes zu verfolgen vermag, wobei man konstatiren kann, dass die Krümmung der Platten sich ändert. Auffallend ist es dabei immerhin, dass man nur selten ausgedehntere Platten wirklich der Fläche nach sieht, indessen kommt das doch vor, es erscheinen dann ev. die gelb gefärbten Partien breiter als die violetten. Wir würden es hier also mit einem Netz von plattenförmigen Zügen sich gelb färbender Substanz zu thun haben, die mit Höfen um die Zellen zusammenhängen. Wichtig zu bemerken ist noch, dass in der

Umgebung einiger in den Knorpel eintretender Blutgefässe ganz dieselben Bildungen hervortraten, wie in Bezug auf das Perichondrium.

Die geschilderten Strukturverhältnisse, die, wie leicht ersichtlich, eine ungemeine Aehnlichkeit mit den als Saftbahnen angesprochenen Bildungen haben, legten es nahe, die von Budge, Orth und anderen so warm empfohlene Darstellungsmethode durch Aether und Collodium in Anwendung zu ziehen. Schnitte von dem gleichen Knorpelstücke, 10 Minuten in Aether behandelt und in Collodium eingeschlossen, ergaben prinzipiell die gleichen Bilder, wie aus Figur 1, Tafel XXV zu ersehen ist.

Allerdings sind auch hier kleinere Differenzen. Ich sehe ab von den Breite-Unterschieden der einzelnen Zonen, die ja auf jedem Schnitte wechseln. In der Zone, welche dem Perichondrium zunächst liegt, erblickt man im Vergleich mit dem „Hämatoxylinbilde“ eine grössere Anzahl von Streifen, welche von allen Seiten der Zellen abgehen, obwohl auch hier die Hauptrichtung senkrecht auf die Peripherie geht. Ebenso zeigt die zweite Zone zahlreichere Anastomosen. Die Zellen haben in den unteren Partien deutliche Höfe, sind aber durch die Behandlung vielfach geschrumpft.

Intensiv tritt schon in der vierten Zone die körnige Kalk-einlagerung in den Höfen und ihrer Umgebung auf, während auch hier die Zellen stark geschrumpft erscheinen. Die Mittelzone ist ohne Streifung, zart granuliert.

Trotz dieser leichten Differenzen wird man nicht anstehen, die Identität beider durch verschiedene Methoden gelieferten Bilder anzuerkennen.

Vergleicht man die von anderen Autoren früher gegebenen Bilder mit den vorliegenden, so kommt man zu dem Schlusse, dass dieselben mit einzelnen Zonen unverkennbare Aehnlichkeit haben. So ist z. B. die Abbildung von Zuckerkandl und Spina mit der Zone 1 fast übereinstimmend u. s. f. Gleichwohl ist bisher ein solches den ganzen Knorpel durchsetzendes Streifensystem noch nicht dargestellt worden.

Behandelte man die Schnitte nach der von Spronck angegebenen Chromsäure-Methode, so traten die Streifen genau in derselben Weise sehr klar hervor, dagegen fehlten die Höfe; die Streifen gingen entweder bis an den Rand der Knorpelhöhle heran oder — da, wo schon Kalkablagerungen vorhanden waren

— endigten an der Peripherie der Ablagerungen. Es muss daraus geschlossen werden, dass die Spronck'sche Flüssigkeit noch anders wirkt, als die beiden anderen Methoden, und dass die Höfe und Streifen von einander verschieden sind, trotz der Uebereinstimmung bei Färbung und Behandlung mit Collodium.

Was die Deutung der Bilder angeht, so ist dieselbe eine ungemein schwierige, die wohl auch nur bis zu einem gewissen Punkte positiv sicher sein kann. Ich greife zu diesem Zwecke zurück auf die im Vorhergehenden gemachten kurzen Angaben über die bisher ausgesprochenen Ansichten.

Fortsätze der Knorpelzellen habe ich an meinen Präparaten niemals gesehen und kann daher nicht annehmen, dass es sich im Vorliegenden um protoplasmatische Netze handle, die von den Zellen ausgehen, abgesehen davon, dass auch die Form der Streifensysteme durchaus nicht für solche spricht. Die Zone 1 könnte vielleicht noch am ersten einen solchen Eindruck machen. Bei den anderen Zonen ist das nicht mehr der Fall. Irgendwelche darauf hindeutende Strukturen (Poren etc.) in den Höfen, wie Arnold und Vogel sie beschrieben, sind ebenfalls nicht vorhanden. Auch würde es nicht verständlich sein, weshalb die Zelle das Hämatoxylin annehmen und zurückhalten sollte, das protoplasmatische Netzwerk aber nicht.

Als elastische Fasern können die gelben Streifensysteme sicher auch nicht gedacht werden. Es spricht alles dagegen und nichts dafür.

Dass die erste Zone grosse Aehnlichkeit mit einer Abbildung von Zuckerkandl hat, ist bereits erwähnt. Doch stimmen seine übrigen Bilder, welche Faserzüge von einer Zelle zur andern verlaufend darstellen, nicht zu meinen Befunden, die überhaupt keine Faserung in den gelben Streifen ergaben. Eine solche trat auch nicht im Alkoholbilde hervor, wie Fig. 1 es zeigt. Es erscheinen die Streifen und Höfe hier einfach, homogen und stärker lichtbrechend (daher in der Zeichnung dunkler wiedergegeben). Die grösste Aehnlichkeit mit meinen Bildern hat eine Abbildung in Spina's letzter Arbeit. Seiner Annahme indessen, dass es sich um zwei verschiedene Knorpelsubstanzen, weissen und gelben, handle, von denen der erste eine spätere Differenzierung des letzteren sei, vermag ich mich nach meinen Präparaten nicht anzuschliessen. Das massenhafte Auftreten der gelben

Streifen (Spina's „weissem“ Knorpel) dicht am Perichondrium spricht schon gegen seine Annahme, die ausserdem im ganzen mehr als eine Umschreibung der Thatsachen, denn als eine Erklärung anzusehen sein dürfte. Mitunter habe auch ich Zellen gesehen, die nur in der violetten Substanz lagen, doch waren dieses entschieden Ausnahmen und befanden sich dieselben immer in solchen Partien, an denen im ganzen eine Abnahme der Menge der gelben Streifen zu beobachten war. Desshalb aber Zellen des gelben und des weissen Knorpels anzunehmen, wie Spina es thut, scheint mir nicht hinreichend begründet zu sein. Protoplasmatische Fortsätze und Netze, welche von solchen in den beiden Knorpelarten, wie Spina will, gebildet werden, habe ich, wie schon mehrfach erwähnt, niemals auch nur in irgendwelchen Andeutungen gesehen. Am meisten scheint mir die Beschreibung von Spronck, der leider in seiner Arbeit keine Abbildung gegeben hat, mit meinen Befunden zu stimmen. Er betont, dass das von ihm gefundene Netzwerk senkrecht zu dem Perichondrium verlaufe und sich in dieses verliere. Er nimmt an, dass die Fasern, die er als solide Körper auffasst, von einer eiweisshaltigen Substanz gebildet seien, dass sie die Kapseln durchbohren und die Zellen untereinander verknüpfen und glaubt, dass sie die Bahnen des Ernährungsstromes seien. Spronck hat Querschnitte der soliden Fasern gesehen, die stärker lichtbrechend waren, als die Umgebung.

Wie oben erwähnt, habe ich auf meinen Schnitten niemals Querschnitte gesehen, die annehmen liessen, dass es sich um prismatische oder cylindrische Fasern handle; in dieser Hinsicht vermag ich also Spronck nicht beizustimmen.

Die von Solger für die Alkoholbilder versuchte Erklärung, dass es sich dabei um Schrumpfungen und dadurch bedingte Wellen im Verlaufe der Knorpelfibrillenbündel handle, ist für meine Bilder absolut nicht verwendbar; einmal würde sie zur Erklärung der Alkoholbilder nicht ausreichen und zweitens würde es nach ihr nicht zu erklären sein, wie die verschiedene Färbung zu Stande kommt.

Fassen wir alles zusammen, so haben wir also in einem bestimmten Bezirke eines menschlichen Kehlkopfknorpels ein die Knorpelgrundsubstanz durchsetzendes System von eigenthümlichen, platten, mit einander anastomosirenden Bildungen gefunden, das

sich durch Alkohol resp. Collodium, durch die Methode von Spronck und durch eine besondere Färbemethode leicht darstellen lässt. Dasselbe zeigt ganz bestimmte Beziehungen zu den Zellen und zu dem Perichondrium, zu dem die Verlaufsrichtung senkrecht ist. Die Bildungen, die diesem System zu Grunde liegen, können weder als einfache Schrumpfungserzeugnisse aufgefasst werden, noch als elastische Elemente, noch als Ausdruck der Knorpelfibrillenbündel oder als Zellfortsätze. Die Annahme zweier Knorpelarten (Spina) ist an sich keine Erklärung und stimmt auch nicht mit den Thatsachen. Der ganze Verlauf dieser Bildungen, ihre Beziehungen zu den Zellen, ihre Veränderlichkeit, ihr eventuelles Aufhören spricht dagegen noch am meisten für die Annahme, dass es Saftbahnen sind. Dieselben würden — und darin würde ich mich in Uebereinstimmung mit der Anschauung von Herrn Prof. Schiefferdecker befinden — so aufzufassen sein, dass der Saftstrom, der den Knorpel durchsetzt, die Grundsubstanz auf beliebigen Wegen durchzieht, welche nur durch das Prinzip der Wahl des geringsten Widerstandes bedingt werden. So erklärt sich leicht der Wechsel der Bahnen in verschiedenen Schichten bei Veränderung der Beschaffenheit der Grundsubstanz, so wären die sehr feinen Bahnen im jüngsten Knorpel zu verstehen, so würde die eigenthümliche plattenartige Form, wenn auch auffallend, doch verständlich sein. Welche Bedeutung die durch zwei Methoden darstellbaren Höfe haben, müsste erst durch weitere Untersuchung klargelegt werden. Hervorzuheben wäre, dass sich in diesen Höfen später zuerst Kalkablagerungen finden, wobei noch besonders darauf hinzuweisen ist, dass — wie die vorliegenden Bilder lehren — die Ablagerung zuerst nicht im Hofe, sondern an dessen Peripherie ausserhalb vor sich geht und erst bei stärkerer Zunahme in den Hof hineintrifft. Wie weit diese Höfe mit dem zusammenfallen, was man als „Knorpelkapseln“ zu bezeichnen pflegt, ist durchaus nicht zu sagen.

Es würde aus dieser Annahme natürlich folgen, dass diese Saftbahnen weder eigene Wandungen haben, noch überhaupt Kanälchen oder Hohlräume darstellen; es sind nur stärker mit Flüssigkeit durchtränkte Partien der Grundsubstanz. Man müsste hierzu die weitere, zunächst hypothetische Annahme machen, dass diese so durchtränkten Partien das Hämatoxylin nicht so stark

aufnehmen resp. es nicht so festhalten, wie die übrige Grundsubstanz, so dass sie in Folge dessen die Pikrinsäure aufnehmen, welche ja eine diffuse Färbung aller der Theile ergiebt, aus denen das Hämatoxylin herausgeht. Diese Annahme würde indessen wohl einigermassen wahrscheinlich sein. Wir wissen, dass die Grundsubstanz des Knorpels an sich eine ausgeprägte Neigung hat, sich mit Hämatoxylin zu färben und dass es besonderer Veränderungen derselben bedarf, wenn diese Färbung nicht eintreten soll. An solchen Stellen nun, an denen die Grundsubstanz in relativ geringer Menge vorhanden ist wegen der sie durchtränkenden Flüssigkeit, wird sie die Farbe auch nicht so stark zurückhalten können, daher dann die Streifenfärbung, daher auch die überhaupt schwache Färbung in der Nähe des Perichondriums, woselbst die Grundsubstanz noch nicht so stark entwickelt ist, wie weiter im Innern des Knorpels.

Nun wäre noch die Frage zu beantworten, warum die eigenthümlichen Bildungen sich auf einen bestimmten Bezirk dieses einen Knorpels beschränkten. Meiner Meinung nach kann man da nur annehmen, dass es sich an dieser Stelle um eine besonders lebhafte Saftströmung handelte, und dass diese wieder bedingt war durch den ersten Anfang der Umwandlung des Knorpels in Knochen. Es war ja Verkalkung schon vorhanden, wenn auch noch nicht sehr hochgradig, und ebenso fanden sich bereits einzelne (nur wenige) Blutgefässe im Knorpel. In der Umgebung dieser verhielt sich, wie oben schon gesagt, das hypothetische Saftbahnsystem ganz so wie am Perichondrium. Es würde demnach nur in einem ganz bestimmten Zeitpunkte der Knorpel solche deutliche Saftbahnen aufweisen. Dieser Zeitpunkt stimmt mit dem von Chievitz für den Beginn der Verknöcherung angenommenen. Auch Spina hat seine beiden Knorpelformationen besonders gut in der Umgebung von Knorpelgefässen gesehen und Spröneck giebt an, dass nur an einer ganz bestimmten Zone des Gelenkknorpels am Femurköpfchen des Frosches sich seine ev. Saftbahnen gut ausgebildet vorfanden, wo aussen schon Perichondrium, innen ein breiter Knochenring war. Es würde jetzt also darauf ankommen, bei günstig erscheinenden Objekten weiter nach ähnlichen Befunden zu suchen, um so aus einer grösseren Anzahl das Wesentliche ableiten und daraus noch nähere Schlüsse auf die ev. Bedeutung ziehen zu können. Dazu fehlt mir augenblicklich leider, wie

oben angegeben, die Zeit und daher habe ich schon jetzt diese kurze Mittheilung veröffentlicht.

Litteraturangabe.

- Arnold, Die Abscheidung des indigoschwefelsauren Natrons im Knorpelgewebe. Virch. Arch. Bd. 13, 1878.
Barth, Medic. Centralblatt 1869, Nr. 40.
Boll, Beiträge zur vergl. Histologie des Molluskentypus. Arch. für m. A. 1869.
Brückner, Ueber Eiterbildung am hyalinen Knorpel. Dissertation Dorpat, 1873.
Bubnoff, Sitzungsber. d. k. Acad. d. W. in Wien, Bd. 57.
Budge, Die Saftbahnen im hyalinen Knorpel. Arch. f. m. A. Bd. 14 u. 16.
Chievitz, Arch. für Anat. u. Phys. 1881.
Cohnheim, Untersuchungen über d. embol. Process. Berlin, 1872.
Colomiatti, Sulla stuttura delle cartilagine ialini e fibroelastica reticolata. Gazzetta cliniche di Torino 1873. V. H. Jahresber. 1874.
Deutschmann, Ueber die Entwicklung der elast. Fasern im Netzkorpel. Dissert. Erlangen, 1873.
Flesch, Ueber Ernährungswege und Resorptionsvorgänge im hyalinen Knorpel. Württembg. naturw. Zeitschrift 1877.
Flesch, Untersuchungen über die Grundsubstanz des hyal. Knorpels. Würzburg 1880.
Frommann, Untersuchungen über normale und patholog. Anatomie des Rückenmarkes. Jena, 1867.
Fürbringer, Ueber die Gewebe des Kopfkorpels der Cephalopoden. Morphol. Jahrb. 1877.
Gegenbaur, Untersuchungen über den Bau und die Entwicklung der Gewebe. Arch. f. m. A. VII u. VIII.
Gerlach, Ueber das Verhalten des indigoschwefelsauren Natrons im Knorpelgewebe lebender Thiere. Erlangen, 1876.
Hénocque, Structur des cartilages. Gaz. médic. 1873.
Hertwig, Ueber die Entwicklung und den Bau des elastischen Gewebes im Netzkorpel. Arch. f. m. A. IX.
Heitzmann, Studien am Knorpel u. Knochen. Wiener med. Jahrbücher 1872.
Hoffmann u. Langerhans, Ueber den Verbleib des in der Circulation eingeführten Zinnobers. Virch. Arch. Bd. 48.
Hutob, Untersuchungen über Knorpelentzündung. Wiener med. Jahrbücher 1871.
Kölliker, Entwicklungsgeschichte der Cephalopoden. Zürich, 1844.
— Handbuch der Gewebelehre. Leipzig, 1889.
Langerhans, v. Hoffmann.

- Leydig, Beiträge zur mikroskop. Anatomie d. Rochen und Haie. Leipzig, 1852.
- Zur Anatomie und Histologie der Chimaera monstros. Müller's Arch. 1881.
- Lehrbuch der Histologie. Frankfurt, 1857.
- Maass, Ueber das Wachsthum und die Regeneration der Röhrenknochen. Langenbeck's Arch. XX.
- Nycamp, Beitrag zur Kenntniss der Structur des Knorpels. Arch. f. m. A. 1877.
- Noris, Studien aus dem Institut für exper. Patholog. 1870.
- Orth, Cursus d. normalen Histologie.
- Ponfick, Studien über das Schicksal körniger Farbstoffe. Virch. Arch. Bd. 48.
- Petrone, Sulla struttura normale e pathologica dello cartilagine. Annali universali Giugno pag. 507, 1874.
- Queckett, Catalogue of the histological series in the Museum of the Royal College of Surg. 1856.
- Reitz u. Stricker, Sitzungsber. d. k. Acad. d. W. in Wien, Bd. 55.
- Retzius, Beitrag zur Kenntniss des Knorpelgewebes. Nord. med. arkiv. IV, 1872.
- van der Stricht, Recherches sur le cartilage hyaline. Archives de Biologie Tom VII.
- Socolow, Ueber den Bau des Nasenknorpels etc. V. H. Jahresber. 1870.
- Solger, Die Wirkung des Alcohols auf den hyalinen Knorpel. Leipzig, 1887.
- Schrumpfungerscheinungen am hyalinen Knorpelgewebe des Menschen und deren Beziehungen zu den Fibrillen. Arch. f. m. A. Bd. XXXI.
- Spina, Ueber die Saftbahnen d. hyalinen Knorpels. Sitzungsber. d. Acad. d. Wiss. Wien, 1879.
- Beiträge zur Histologie des Hyalinknorpels. Wiener med. Jahrbücher 1886.
- Spronck, Zur Kenntniss der Struktur des Hyalinknorpels. Anat. Anz. Bd. II, pag. 259.
- Tillmanns, Ueber die fibrille Structur des Hyalinknorpels. Arch. f. A. X. Bd., 1877.
- Vogel, Die Saftbahnen des hyalinen Knorpels. Dissert. Bern, 1883.
- Waldeyer, Jahresber. V. H. 1875.
- Zucker кандl, Beiträge zur Lehre von dem Bau des hyalinen Knorpels. Sitzungsberichte der Acad. d. Wiss. Bd. 91, 1885.