Über den Einfluß von Zug auf die Bildung faserigen Bindegewebes¹⁾.

Zugleich ein Beitrag zur Kenntnis der Sehnenvernarbung.

Experimentelle Untersuchung

von

Dr. med. **Oscar Levy,**

Assistenten am anatomischen Institut der Universität Halle a. S.

Mit Tafel XI—XIII und 1 Figur im Text.

Eingegangen am 17. November 1903.

Die Entstehung der »Zweckmäßigkeit« in der Organisation der Lebewesen wurde durch DARWIN'S Prinzip der natürlichen Zuchtwahl zu einem Teile aufgedeckt. Neben der Auslese der Personen im Kampfe ums Dasein ließ DARWIN als wirksamen Faktor bei der Umwandlung der Arten den Gebrauch und den Nichtgebrauch der Organe gelten.

Man wendet heute diesem zweiten Punkte, dem LAMARCK'Schen Prinzip, vielfach eine erneute Aufmerksamkeit zu. Die Theorie, daß Gebrauch oder Nichtgebrauch der Organe ein Faktor bei der Umwandlung der Arten sein könne und sein müsse, stützt sich zu einem wesentlichen Teil auf die Hypothese der Vererbung der »vom Individuum« erworbenen, somatogenen Eigenschaften, die wohl zuerst von HIS ('74) und WEISMANN ('83, '92, '02), dann auch von andern mit Recht angegriffen wurde.

Solange dieses Problem der Vererbung vom Individuum erworbener Eigenschaften ungelöst ist, solange es mehr als unwahrscheinlich ist, daß Veränderungen, die auf rein lokaler Einwirkung auf Gewebe oder Organe des Körpers ohne gleichsinnige Affektion

¹⁾ Ein Teil der Resultate dieser Arbeit wurde der Anatomenversammlung zu Halle a. S. 1902 vorgetragen und demonstriert ('02).

des Keimplasmas beruhen, sich auf die Nachkommen übertragen, solange dürfen wir dem LAMARCKschen Prinzipie einen erklärenden Wert für die Umwandlung der Arten nicht beimessen.

Damit ist aber die Bedeutung der Funktion für die organische Gestaltung überhaupt nicht bestritten. Nur liegt sie an einer andern Stelle. Die gestaltende Wirkung der Funktion ist vorläufig nicht in der Phylogenese, sie ist in der Ontogenese zu suchen.

Die Art der Vermittlung der gestaltenden Leistungen der Funktion, ihre Wirkungsweise, erkannte zuerst W. Roux und legte sie in seiner Schrift: Der Kampf der Teile im Organismus ('81) nieder. Einige für die folgende Untersuchung wichtige Hauptpunkte dieser Schrift müssen hier kurz dargestellt werden.

Daß Muskeln und andre Organe bei vermehrter Arbeit hypertrophieren, ist schon lange bekannt. Die Erklärung für diese Erscheinung glaubte man in der Beobachtung gefunden zu haben, daß die Organe während und einige Zeit nach energischer Arbeit reichlicher als während der Ruhe mit Blut durchströmt werden. Man nahm an, daß durch diese funktionelle Hyperämie dem betreffenden Organe so reichliche Nährstoffe zugeführt würden, daß es wachsen müsse.

Roux zeigte dagegen auf Grund entwicklungsgeschichtlicher und vieler den Pathologen bekannter Tatsachen, daß diese Vorstellung sowohl mit unsern Kenntnissen von der Physiologie der Assimilation als auch mit den Tatsachen der Morphologie im Widerstreite steht.

Wir können den aktiv tätigen Geweben eines erwachsenen tierischen Organismus noch so reichliche Nahrung zuführen, sie werden davon zum Aufbau neuer Strukturteile kaum etwas mehr aufnehmen und verwenden, wenn nicht zugleich durch eine besondere Ursache ihre morphologische Assimilationsfähigkeit gesteigert wird. Ein muskelschwaches erwachsenes Individuum werde mit allen Stoffen, die für den Anbau neuer Muskelsubstanz nötig sind, überreichlich gefüttert, sein Blut also mit diesen Stoffen überschwemmt, trotzdem nehmen seine Muskeln, wenn nicht andre Faktoren hinzukommen, an kontraktile Masse nicht zu. Das ruhende oder schwach arbeitende Gewebe Erwachsener verwendet in vermehrtem Maße zugeführte Stoffe nicht in vermehrtem Maße zum Aufbau neuer Strukturteile, assimiliert sie nicht morphologisch. Die funktionelle Hyperämie an und für sich kann daher eine Hypertrophie nicht erklären.

Die ersten Gestaltungen im Ei und im Embryo entstehen bevor noch Blutgefäße vorhanden sind, sie entstehen also unabhängig von der Größe der Nahrungsverteilung.

Auch den feineren morphologischen Tatsachen steht die Hypothese von der gestaltenden Bedeutung der funktionellen Hyperämie ebenso machtlos gegenüber. ROUX ('81 und '83b) zeigte, daß dieselben Organe bei qualitativ verschiedenen Arbeitsleistungen in morphologisch verschiedener Weise hypertrophieren resp. atrophieren. Ein Muskel, der bedeutendere Lasten zu bewältigen hat, wird nur dicker, nicht aber länger, bei Vergrößerung oder Verkleinerung der mittleren Verkürzungsgröße nur länger resp. kürzer, wie dies auch STRASSER ('83), durch ROUXs Theorie angeregt, zu gleicher Zeit mit diesem prüfte und feststellte.

Diese und ähnliche Tatsachen veranlaßten ROUX zur Formulierung der Gesetze von der dimensionalen Aktivitätshypertrophie und von der dimensionalen Inaktivitätsatrophie. Die Erklärung der gestaltenden Wirkung der Funktion durch die funktionelle Hyperämie kann diesem Gesetze nicht gerecht werden. Wie sollte die Hyperämie, die z. B. in einem Muskel eine allgemeine ist, von sich aus eine solche dimensional beschränkte und verschiedene Wirkung haben?

Die Gewebe und Organe der Erwachsenen hypertrophieren nur in denjenigen Dimensionen, mit welchen sie gesteigerte Arbeit leisten, in den andern Dimensionen können sie gleichzeitig atrophieren. Diese Tatsachen führten zu einer neuen, besseren Erklärung des Geschehens bei der Gestaltung aktiv oder passiv fungierender Organe und Gewebe, und warfen ein helles Licht auf den ursächlichen Zusammenhang der äußern und innern Struktur der Organe mit ihrer Funktion.

Den Grundgedanken, der eine einheitliche Lösung der mannigfaltigen, offenbar von der Funktion abhängigen Gestaltungen ergab, gewann ROUX aus der Physiologie der morphologischen Assimilation, d. h. der rätselvollen Grundeigenschaft der lebenden Substanz, aus Stoffen, die ihr nicht gleichen, ihre eigne, sich im Lebensprozess verzehrende Masse mit ihren Struktureigentümlichkeiten wieder aufzubauen.

Statt in der funktionellen Hyperämie die Ursache der Aktivitätshypertrophie zu sehen, nimmt ROUX eine direkte elementare Beziehung zwischen Funktion und gestaltlicher Assimilation des fungierenden Gewebes resp. dessen Matrix an. Aus dieser einen Annahme können alle die im einzelnen so verschiedenen zweck-

mäßigen Gestaltungen der funktionellen Anpassung, selbst die der dimensionalen Hypertrophie, abgeleitet werden. Das ist das Wesen von Rouxs Theorie, die im folgenden noch etwas eingehender erläutert werden muß.

Bei der Assimilation überhaupt kann man drei Stufen unterscheiden. Erstens: es wird genau so viel assimiliert, wie bei dem Lebensprozess zersetzt wurde. Zweitens: es wird mehr assimiliert. Drittens: es wird weniger assimiliert als zersetzt wurde. Der erste Fall stellt die lebende Substanz in Gleichgewicht, der zweite im Wachsen, der dritte in der Involution dar. Nehmen wir den ersten Fall als gegeben an. Wird nun durch eine das Mittelmaß einige Zeit übersteigende Arbeitsleistung die Zersetzung gesteigert, so wird auch die Assimilation gesteigert, aber nicht allein bis zur Restitution des zersetzten Materials, wie bestenfalls in der Ruhe, sondern darüber hinaus. Das Assimilationsvermögen eines stark funktionierenden Lebensteilchens wird also durch die Ausübung der Funktion gesteigert, das Teilchen wächst dadurch über die anfängliche Größe hinaus. Die Ausübung der Funktion übt einen trophischen Reiz auf die fungierende Substanz oder auf seine Matrix aus.

Entsprechend verläuft der umgekehrte Prozeß. Unsre Gewebe brauchen nach ihrer Bildung ein gewisses Maß von Funktion, um sich im Stoffwechselgleichgewicht zu erhalten. Sinken die Ansprüche an Arbeitsleistung unter dieses Maß, so werden die Lebensteilchen in ihrem Assimilationsvermögen geschwächt, es kann nicht mehr so viel Stoff assimiliert werden, als durch den Lebensprozeß an sich verloren gegangen ist; diese Lebensteilchen atrophieren und schwinden schließlich ganz, wenn durch längeres Ausbleiben der Funktion das Assimilationsvermögen fortschreitend geschwächt wird.

Die Organe und Gewebe haben nun weiterhin ihre Arbeit nicht gleichmäßig nach allen Richtungen zu leisten, sondern in den meisten Fällen nach wenigen Richtungen allein oder am stärksten. Am besten erkennt man dies an den passiv fungierenden Organen, z. B. an den Knochen. Ein Knochen wird zumeist in ein und derselben Weise, also stets in denselben bestimmten Richtungen auf Druck und Zug beansprucht. Seine Funktion besteht darin, dieser Beanspruchung durch die Festigkeit seines Aufbaues und Materials Widerstand zu leisten.

Druck und Zug pflanzen sich in einem Körper bei gegebenen Aufnahme- und Übertragungsstellen nicht überall hin gleichmäßig fort, sondern es lassen sich bestimmte Linien feststellen, in welchen die

Hauptbeanspruchung stattfindet. In allen andern Richtungen ist die Beanspruchung geringer oder gleich Null. Diesen ersteren Hauptbeanspruchungslinien entsprechend werden die knochenbildenden Teilchen in ihrer Assimilation sehr gekräftigt, sie bauen also mehr Knochensubstanz an. In allen andern Richtungen, in denen sich der trophisch wirkende, funktionelle Reiz in geringerem Grade oder gar nicht verbreitet, werden sie weniger oder gar nicht gestärkt oder sogar geschwächt. Es tritt außerdem jetzt eine Art von Konkurrenz der Lebensteilchen um den trophischen Reiz der Funktion ein. Denn je mehr die in den Zug- und Drucklinien liegenden Teilchen in ihrem Stoffwechsel gekräftigt werden, und je mehr Knochensubstanz sie infolgedessen bilden, desto mehr wird diese in den Hauptbeanspruchungslinien angebaute Masse dem Druck und Zug Widerstand leisten, um so weniger können sich diese Beanspruchungen in den andern Richtungen verbreiten. Die in den letzteren liegenden Teilchen werden also entweder infolge der Inaktivität schwinden oder mindestens nach ihrem physiologischen Schwund nicht wieder aufgebaut werden. In beiden Fällen werden sie also durch die Hypertrophie der günstiger gelegenen Teile geschädigt.

Indem so in gewissen funktionell bestimmten Richtungen Stoff angebaut wird, in andern Richtungen Stoffe schwinden, bildet sich eine typische Struktur unter funktionell neuen Verhältnissen aus. Sie ist ein Abbild der Richtungen, in welchen die Funktion am stärksten ausgeübt wurde.

Diese durch Vermittlung des funktionellen Reizes gewonnene Struktur stellt sich als eine äußerst »zweckmäßige« oder, objektiver gesprochen, nach ROUX als eine »die Dauerfähigkeit des Individuums erhöhende« dar. Mit dem verwendeten Material wird dabei ein Maximum an Leistungsfähigkeit erreicht. Solche hochgradig an die Funktion angepaßte Strukturen nannte ROUX funktionelle Strukturen¹⁾.

So vermag diese Theorie der funktionellen Anpassung vieles, was uns als »zweckmäßig« imponiert, des teleologischen, rätselhaften Scheins zu entkleiden, wie es die DARWINsche Selektionstheorie mit vielen andern Erscheinungen getan, und an seine Stelle rein naturwissenschaftliche Vorstellungen zu setzen. Aber natürlich kann und

¹⁾ Die Bezeichnung »funktionelle Struktur« wird jedoch ohne Rücksicht darauf angewandt, ob dieselbe (wie es in funktionell neuen Verhältnissen geschieht) durch die Funktion selber ausgebildet wird, oder ob sie als typisch vererbte Struktur wesentlich durch andre gestaltende Wirkungsweisen hervorgebracht worden ist.

will sie nicht die letzten Rätsel des organischen Geschehens lösen. Sie analysiert bis zu einem zur Zeit unauflöslichen Rest. Dieser ist die morphologische Assimilation und deren Abhängigkeit von dem funktionellen Reize.

Die gestaltende Wirkung der Funktion während der Ontogenese kann natürlich erst eintreten, wenn die Organe und Gewebe beginnen, ihre Funktion auszuüben. Roux teilte daher und aus andern Gründen das Leben der Gewebe und Organe in zwei Perioden ein: erstens in die Periode der vererbten selbständigen, das soll heißen nicht von der Ausübung der Funktion abhängigen, Bildung und des in diesem Sinne selbständigen Wachstums, zweitens in eine Periode des funktionellen Lebens, in der das Wachstum, sowie die eventuelle Weiterbildung, und danach auch die bloße Weitererhaltung durch die Funktion befördert resp. ermöglicht wird. Zwischen beiden Perioden ist eine Übergangszeit, in der ein Organ zwar noch aus vererbten, sei es in ihm selber gelegenen, oder sei es von andern Teilen des Organismus ihm zugeführten, jedoch nicht funktionellen Ursachen wächst, aber andererseits doch schon durch kräftige Ausübung seiner Funktion zur Hypertrophie veranlaßt wird ('81, S. 180 und 181; '05a, I. S. 348, 804, II. S. 281 und '02).

Die Aufstellung dieser bezüglich der Ursachen verschiedenen Perioden ist an sich vollkommen unabhängig von der in der deskriptiven Entwicklungsgeschichte gemachten Einteilung des Entwicklungsgeschehens in die Perioden der Bildung der Keimblätter aus den Furchungszellen, der Organanlagen aus den Keimblättern, der geweblichen Differenzierung und der weiteren Ausbildung der Organe. Es wird viel Arbeit kosten, zu ermitteln, wie die Grenzen der Perioden ROUXS zu den Grenzen der letzteren Perioden dieser deskriptiven Einteilung liegen werden.

Aber nicht nur in der typischen, strikte normalen Entwicklung, auch bei vielen Änderungen in den Lebensbedingungen eines Organs oder Gewebes, bei mancher Störung zeigt sich die gestaltende Bedeutung der Funktion, indem sie einen ausgleichenden Umbau des Organs oder Gewebes verursacht. Die funktionelle Anpassung ist daher eine wichtige Art der morphologischen Selbstregulation der Lebewesen.

Es kann nicht die Aufgabe dieser Einleitung zu einer speziellen Untersuchung sein, auf die mannigfaltigen funktionellen Strukturen, wie sie am Blutgefäßsystem, den Muskeln, Drüsen, Knochen, bindegewebigen Organen usw. teils lange bekannt, teils in ihren feineren

Verhältnissen von JULIUS WOLFF, ROUX und andern beschrieben und analysiert worden sind, einzugehen. Wir wollen uns in dem Folgenden ausschließlich mit der funktionellen Anpassung des Bindegewebes befassen.

Das morphologische, zunächst nicht weiter zu zergliedernde funktionelle Element des faserigen Bindegewebes ist die Bindegewebsfibrille. Eine Anzahl nebeneinander liegender und durch eine geringe Menge Kittsubstanz verbundener Fibrillen bilden ein Fibrillenbündel oder eine Faser. Den Fasern sind in mehr oder weniger weiten Abständen voneinander angeschmiegt die fixen Bindegewebszellen, welche zur Entstehung der Fasern in einer noch nicht ausreichend aufgeklärten Beziehung stehen und vielleicht auch bei dem, jedenfalls nur geringen, Stoffwechsel der ausgebildeten Fasern irgendwie beteiligt sind. Die Fasern selbst können ihrerseits wieder zu Bündeln und Strängen zusammengefaßt und entweder zu verwirrten lockeren Geflechten oder zu regelmäßigen, mehr oder weniger festen Bildungen geordnet sein.

Die wesentliche Funktion der Bindegewebsfasern besteht darin, in ihrer Längsrichtung mechanischem Zug oder in der darauf senkrechten Richtung Druck Widerstand zu leisten. Dementsprechend besitzt die Bindegewebsfaser große Zugfestigkeit in ihrer Längsrichtung und eine (vielleicht etwas geringere) Druckfestigkeit in der queren Richtung. Druckfestigkeit in der Längsrichtung und Biegezugfestigkeit geht ihr fast vollkommen ab.

Um die ursächliche Bedeutung der Funktion bei der Bildung bindegewebiger Organe zu bestimmen, wird in erster Linie darüber Rechenschaft zu geben sein, ob und wie weit bindegewebige Organe in ihrem Aufbau Beziehungen zu der mechanischen Beanspruchung aufweisen. ROUX hat schon im »Kampf der Teile« seine Aufmerksamkeit auf diesen Punkt gerichtet und die Struktur einiger bindegewebiger Häute analysiert.

Die Fascien, von denen schon K. v. BARDELEBEN ('81) vermutete, daß ihre Fasern die Richtungen stärksten Zuges einnehmen, zeigen meist zwei annähernd rechtwinkelig aufeinander stehende Fasersysteme, von denen (abgesehen von den Gelenkgegenden) das eine in der Richtung des Muskelzuges, das andre quer zu derselben steht. Nur die letzteren faßt ROUX ('95, I. S. 180) als spezifische Fascienfasern auf, sie entsprechen den Richtungen stärkster Beanspruchung, welche der sich verdickende Muskel auf die umhüllende Haut ausübt, während das längsgerichtete System zumeist den Sehnen-

fasern gleichzusetzen ist. Es spricht sich hier, wie beim Knochen, eine Zerfällung der verschiedenen gerichteten Einwirkungen auf rechtwinkelige Komponenten stärkster Wirkung aus.

Eine Zerfällung vielfach gerichteter Beanspruchung auf zwei Richtungen stärkster Beanspruchung sieht ROUX auch in den beiden schräg sich kreuzenden Fasersystemen der Annuli fibrosi der Zwischenwirbelscheiben. Diese Fasern werden bei Torsion der Wirbelsäule nach rechts oder links abwechselnd gespannt, ferner bei der von ROUX erkannten Funktion der Zwischenwirbelscheibe als hydraulische Presse gleichzeitig beansprucht ('95a, I. S. 182).

Ferner deutet ROUX die im Perimysium internum beim Auseinanderziehen der Muskelfasern sichtbar werdenden, zwei spitzwinkelig sich kreuzenden Fasersysteme als Abscherungsfasern, weil sie einer Abscherung (Verschiebung) der Muskelfasern gegeneinander, wie sie bei nicht völlig gleichzeitiger und gleichmäßiger Kontraktion derselben stattfinden würde, Widerstand leisten ('95a, I. S. 182, 183).

Das Trommelfell zeigt in seinen beiden Hauptfasersystemen, dem radiären und dem zirkulären, bloß diejenigen Richtungen insubstantiiert, welche bei den Schwingungen desselben die stärksten Dehnungen auszuhalten haben. Im Bereich des Verlaufes des dem Trommelfell eingefügten langen Fortsatzes des Hammers ist das radiäre Fasersystem von der radiären Richtung rechtwinkelig zum Hammergriff abgelenkt, also in der günstigsten Richtung zur Übertragung der Schwingungen auf den Fortsatz, also wiederum in der Richtung stärkster Spannung, gleich wie bei den Radiärfasern, welche an das freie Ende des Fortsatzes sich anheften.

Die Sehnen und Bänder zeigen im großen und ganzen eine den Zugrichtungen entsprechende Anordnung ihrer Fasern. THÜRLER ('84) hat versucht, diesen Punkt genauer zu untersuchen. Doch ist hier noch eine feinere Analyse auf Grund der von ROUX aufgestellten Gesichtspunkte notwendig.

In den Semilunarklappen findet sich nach LUCHSINGER ('84) eine typische Anordnung der Bindegewebsfasern, die der mechanischen Beanspruchung entspricht.

Diese einfachen Fälle ließen sich noch häufen, und es ist gewiß eine dankbare Aufgabe, alle bezüglichen Bildungen auf ihre funktionelle Struktur genauer zu untersuchen und zusammenzustellen. Wir wollen jedoch hier nur noch auf das komplizierteste bindegewebige Organ hinweisen, das eine in wunderbarer Weise der überaus komplizierten Funktion vollkommen entsprechende Struktur besitzt. Es

ist dies die Schwanzflosse des Delphin, die von ROUX ('83a) in eingehender Weise analysiert worden ist.

»Die Flosse besteht«, wie ROUX ausführt, »in ihrem Grundstock aus drei Bindegewebschichten, jederseits einer äußeren von bestimmt gebogenem, im allgemeinen radiärem Faserverlauf und einer mittleren aus lauter Lamellen gebildeten, deren Lamellen sowohl rechtwinkelig zur Flächenausbreitung der ersten Schichten, als in ihrem Verlauf auch zugleich allenthalben rechtwinkelig zu der so mannigfach gebogenen Faserrichtung derselben stehen. Die Lamelle selber besteht wieder aus zwei rechtwinkelig sich kreuzenden Fasersystemen, deren Verlauf an verschiedenen Stellen derselben Lamelle in typischer Weise variiert; und zugleich sind diese Lamellen noch in ganz bestimmter Weise durch ihnen parallel verlaufende Faserpaare untereinander verbunden!« ROUX ermittelte sodann die Funktionsweise und Beanspruchung der Flosse und erörterte durch Bildung eines Modells, wie derselben mit dem so eigenartigen und beschränkt widerstandsfähigen Materiale der Bindegewebsfaser am besten zu genügen sei. »Es war mit Fasern, welchen bloß Zugfestigkeit in der Längsrichtung und Druckfestigkeit in dazu rechtwinkliger Richtung eigen ist, beim Fehlen jeder beanspruchbaren Druckfestigkeit in Längsrichtung und jeder Biegezugfestigkeit, ein Gebilde hervorzu bringen, welches gerade diejenige Kombination von Druck-, Zug- und Abscherungsfestigkeit besitzt, durch welche allein Biegezugfestigkeit hergestellt werden kann. Diese Aufgabe wurde gelöst, indem wir immer die Fasern mit der Richtung der bezüglichen größten Widerstandsfähigkeit in der Richtung der größten abgeleiteten Beanspruchung legten; und es entstand so eine Struktur, welche durchaus die Typen der in der Flosse gefundenen wiederholte!« Es ergab sich ferner, daß »die gefundenen mannigfachen Verlaufsrichtungen der Fasern in der Flosse allenthalben den Richtungen ‚stärkster‘ Beanspruchung entsprechen, daß somit die ganze Konstruktion mit dem verwendeten Material das Maximum an Widerstandsfähigkeit leistet«.

Auch die genaueste Beschreibung von typischen Strukturen, die in ihrem Aufbau der Funktion vollkommen entsprechen, kann für sich allein einen genügenden Aufschluß über die Ursachen ihrer Entstehung und über die hierbei tätigen Wirkungsweisen nicht geben. Es bleibt stets neben der Frage, ob sie durch die Funktion entstanden seien, die andre offen, ob sie nicht durch von der Funktion unabhängige vererbte Bildungsweisen hergestellt worden sind.

Ferner bleibt, selbst wenn man der Funktion eine ursächliche Bedeutung zuschreibt, das Problem zu lösen, wie die Einwirkung der Funktion vorzustellen ist. Die einfachen funktionellen Strukturen des Bindegewebes, die Fascien- oder Trommelfellstruktur, könnte man vielleicht durch einfache mechanische Umordnung der Fasern durch den Zug entstanden sich vorstellen. Diese Denkmöglichkeit fällt hingegen bei dem höchst komplizierten Aufbau der Delphinflosse fort.

Das genaueste Studium der Embryonalentwicklung wäre vielleicht im stande, hier einige Hinweise zu geben. Jedoch ist bisher bei den Untersuchungen über die Histogenese des Bindegewebes der causale Gesichtspunkt selten zur Anwendung gekommen.

Als Erster hat wohl HIS ('65, '68, S. 201, und '74, S. 128) auf die Bedeutung mechanischer Einflüsse bei der Ausbildung bindegewebiger Organe während der Ontogenese hingewiesen. Er nimmt an, daß aus dem indifferenten Parablast da, wo ungleichmäßiger Druck oder Zug seitens der archiblastischen Nachbarteile auf ihn ausgeübt werden, Bindegewebe, der Beanspruchung gemäß geordnet, entsteht, wo dies nicht der Fall ist, Knorpel.

V. v. EBNER ('97) hat gleichfalls seine Aufmerksamkeit hierauf gerichtet. Er kommt bei seinen Arbeiten über die Entwicklung der Chordascheide der niederen Fische zu dem Resultat, daß die Bildung der Fibrillen erst durch das Vorhandensein einer orientierten Spannung hervorgerufen werde, weil diese Annahme direkt begreiflich mache, daß die Bindegewebsfibrille sofort in einer der funktionellen Aufgabe entsprechenden Richtung in die Erscheinung tritt.

MAAS ('03) erwähnt im Anschluß an MOLLIER¹⁾, daß die scharf abschneidende Linie, die im erwachsenen Zustand den Muskel von der Sehne trennt, in der Entwicklung erst nach und nach entsteht. »Muskel- und Sehnenfaser entstehen aus einem kontinuierlichen Gewebe, jede Muskelfibrille geht kontinuierlich in eine Sehnenfibrille über; in einer ganzen Muskelfaser liegen aber diese Übergangsstellen zunächst nicht in gleicher Höhe, sondern in einer unregelmäßig gezackten Linie. Erst mit der weiteren Ausbildung bildet sich die scharfe Grenzlinie heraus. So läßt sich auch hier die gestaltende Wirkung der Funktion in die Ontogenese zurückverfolgen.«

Einige andre maßvergleichende Untersuchungen dringen tiefer in unser Problem.

---

¹⁾ Die von MAAS zitierte Stelle ließ sich bei MOLLIER nicht auffinden, da MAAS die betreffende Arbeit nicht angibt.

Roux erwähnt ('95a, I. S. 168), daß Sehnen und Gelenkbänder bei stärkerer Funktion dicker, jedoch nicht länger werden. Ferner fand er bei Muskelatrophie infolge von Ankylose des Kniegelenks eine starke Schrumpfung der Achillessehne ('95a, I. S. 629) und erkannte durch vergleichende Messungen in seiner Untersuchung über die Selbstregulation der »morphologischen« Länge der Skelettmuskeln des Menschen ('83b, '95 I.), daß die passende funktionelle Sehnenlänge sowie die Fiederung der Muskeln auf dem Wege der Selbstregulation ausgebildet werden können.

TRIEPEL ('02 und '03) fand in seinen Untersuchungen über den Querschnittskoeffizienten des Muskels, daß, wenn sich der Querschnitt eines Muskels ändert, sich der Querschnitt der zugehörigen Sehne in gleichem Sinne, aber in geringerem Grade ändert, daß der Querschnitt einer Sehne zum Teil von der Tätigkeit des zugehörigen Muskels abhängig ist, zum andern Teil von Vererbung.

Eine sichere Lösung des Problems von dem Anteil der gestaltenden Leistung und von der Wirkungsweise der Funktion bei der Ausbildung bindegewebiger Strukturen läßt sich nur vom Experiment erwarten. Ich wollte daher auf Anregung des Herrn Geheimrat Roux die gestaltende Wirkung des Zuges auf Bindegewebe und auf noch indifferente, dem Bindegewebe entstammende Blasteme prüfen und stellte eine Reihe von verschiedenen Versuchen an, über welche ich kurz auf der Anatomenversammlung zu Halle berichtet habe ('02).

Bei der Anordnung und Verarbeitung dieser Versuche ging mein Bestreben entsprechend den oben (S. 189) unterschiedenen Perioden dahin, die durch die Funktion bewirkten Gestaltungsvorgänge von denjenigen zu sondern, welche durch vererbte, von der Funktion unabhängige Mechanismen bedingt sind, sowie andererseits den »Sitz« der Gestaltungsursachen zu ermitteln, was von Roux in der Einleitung zu den Beiträgen zur Entwicklungsmechanik ('85, '95a II.) ganz allgemein als die nächste Notwendigkeit aller causal-morphologischen sive entwicklungsmechanischen Untersuchungen hingestellt worden ist. Das gilt sowohl für die typische Entwicklung, als auch für die regulatorische Entwicklung, in deren Gebiet unsre Versuche gehören.

Nach allerhand orientierenden Versuchen bin ich dazu gekommen, mit Tenotomiewunden zu experimentieren. Es zeigte sich aber auch dabei wieder, daß wir aus einem typischen Verlauf, hier der

Regeneration der Sehne, keine sicheren Schlüsse auf die Gestaltungsursachen, nicht einmal auf den Sitz derselben ableiten können, wie dies allgemein für jedes typische Gestaltungsgeschehen zutreffend ist.

Es erwies sich daher als notwendig, um sichere causale Schlüsse ableiten zu können, den Versuch der typischen Tenotomie mit verschiedenen andern Versuchen zu kombinieren, entsprechend dem Prinzip der Kombination verschiedener Experimente zur Ermittlung einzelner Gestaltungsursachen der Lebewesen (ROUX, '92, S. 440; '95a, II. S. 89 u. 1015; '95b, S. 14).

Zunächst haben wir von den bisherigen Arbeiten über die einfache Tenotomie und die sich daran anschließenden über Sehnenplastik Kenntnis zu nehmen.

Die Autoren, die sich bisher mit der »Regeneration« der Sehne befaßt haben, hatten vor allem festzustellen gesucht, von woher das Ersatzgewebe stammt. MARCHAND ('01) hat die Ergebnisse dieser Untersuchungen in seinem Buche über den Prozeß der Wundheilung übersichtlich dargestellt und kommt danach und nach eignen Experimenten (S. 266) zu der Ansicht, daß die Hauptmasse der neugebildeten Zellen von dem lockeren Bindegewebe zwischen den Fibrillenbündeln und den Sehnenscheiden stammt, welche nach Art eines zellenreichen Callus von allen Seiten in den Defekt eindringen und sich anfangs noch ziemlich scharf von den durchtrennten Sehnen abgrenzen. Bald beginnen jedoch auch die Sehnenzellen selbst sich an der Bildung des jungen Gewebes, wenn auch weniger stark, zu beteiligen, und es ist dann nicht mehr im besondern zu entscheiden, welche Elemente von dem lockeren Gewebe und welche von den Sehnenzellen selbst abstammen. SEGGEI ('03) hat in einer neueren Arbeit die Beteiligung der Sehnenzellen an dem Heilungsprozeß als besonders bedeutsam hervorgehoben. Er gibt an, daß zuerst der Bluterguß durch Wucherung vom Peritoneum externum und internum organisiert werde, vom 6. Tage an setze die Regeneration der Sehne ein. Dadurch werde sekundär das primäre Ersatzgewebe durch Sehnenregeneration völlig zum Verschwinden gebracht. In meinen eignen Versuchen konnte ich wohl eine, etwa am 6. oder 7. Tage auftretende Beteiligung der Sehnenzellen an der Bildung des neuen Gewebes erkennen, wie sie auch MARCHAND annimmt, jedoch eine Verdrängung des von der Fascie, des Peritoneum externum und internum stammenden Gewebes im Sinne SEGGEIS konnte ich nicht beobachten.

Die Frage, inwieweit bei der Ausbildung der »jungen Sehne« oder der »Sehnnarbe« der mechanische Zug eine Bedeutung besitzt, wurde von den meisten Autoren nicht, von einigen andern nur nebenher berücksichtigt.

VIERING ('91) äußert sich folgendermaßen: »Je mehr sich die Fragmente vereinigen, je mehr die Sehne wieder als Ganzes in Wirkung tritt, um so mehr ordnen sich in dem Callus die Zellen, und zwar zunächst in der Achse, dann in der Peripherie dieser Zugrichtung entsprechend in parallele Reihen. Je unvollständiger nach der Heilung die alte Spannung wieder hergestellt wird, um so mehr behält das Gewebe seine sternförmigen Zellen und seine unregelmäßige Anordnung zu durchkreuzten Bündeln bei.« Der letzte Satz ist aber, nach den vom Autor mitgeteilten Beobachtungen zu schließen, nur eine Vermutung.

ENDERLEN ('93) machte keine völlige Durchtrennung der Achillessehne, sondern nur Incisionen und berichtet darüber folgendermaßen: »Am 10. Tage weicht der Verlauf der jungen Fibrillen noch ziemlich von der Richtung der alten Sehne ab.« Eine Erklärung hierfür sucht ENDERLEN in dem Verhalten der Sehne nach der Trennung. Die durchgeschnittenen Enden retrahieren sich infolge der aufgehobenen Spannung, und je nach der Lage, welche sie einnehmen, wird auch die Richtung des von ihnen produzierten neuen Gewebes sein. Am 35. Tage findet er, daß die Bündel, welche von einem Ende kommen, die des andern in der Verlängerung kreuzen würden. Am 70. und 75. Tage entspricht die Richtung der jungen Bindegewebsfasern der Richtung der Sehnenfasern. Diese Umordnung setzt ENDERLEN, soviel zu ersehen, auf Rechnung des Zuges des Musc. gastrocnemius.

KÜMMEL ('96) ersetzte bei einem Menschen einen Sehnendefekt durch einen Seidenfaden. Wochen nach der Operation starb Patient an Aneurysma. Die mikroskopische Untersuchung der Sehnenplastik ergab einen den Seidenstrang umschließenden, die Sehnenstümpfe verbindenden, derben Bindegewebsstrang. Die Seidenfäden sind das Spalier, an welchem das Bindegewebe emporwächst. Die Richtung der Fasern wird nicht weiter beschrieben.

SCHRADIECK ('00) und mit ihm sein Lehrer RICKER ('01) beobachteten nach Tenotomie der Achillessehne zwar auch Proliferationerscheinungen, glauben aber, daß die grobe Masse, der Grundstock der neuen Sehne, von dem zwischen die Sehnenstümpfe gleich anfangs rein mechanisch durch den Zug des Muskels hineingezerrten fascialen und lockeren Bindegewebe geliefert werde. Die fibrilläre Substanz

dieses Gewebes vermehrt sich rasch durch Bildung neuer Fibrillen und Verdickung alter, unter dem Einfluß des dem Trauma folgenden Ödems.

Diese Ansicht von der untergeordneten und nebensächlichen Bedeutung der Zellproliferation steht mit vielen andern Untersuchungen über diesen Gegenstand und mit meinen eignen Beobachtungen im Widerspruch und ist schon von SEGEL ('03) zurückgewiesen worden.

SCHRADIECK beschreibt ferner folgenden Versuch: Der *Musculus triceps brachii* wurde an seinem Ansätze abgetrennt, »die Retraktion bei der Operation selbst betrug höchstens $\frac{1}{2}$ cm. Bei der Sektion, 83 Tage später, findet sich der Muskel in seiner Längsachse stark verkürzt . . .; dem letzten Drittel der Humeruslänge entspricht eine mit der Unterlage verwachsene und ihr reliefartig aufliegende, im übrigen völlig gut ausgebildete drehrunde Sehne von 2,5 cm Länge. Mikroskopisch betrachtet ist sie sehr zellarm und unterscheidet sich nur durch leichte Unregelmäßigkeiten und geringe Differenzen in der Dichtigkeit und Dicke der fibrillären Elemente von einer normalen Sehne. Hier ist also durch den Zug des sich retrahierenden Muskels eine normalerweise gar nicht vorhandene Sehne aus der bindegewebigen und fascialen Umgebung des Muskels herausdifferenziert worden.«

LANGE ('02) machte Sehnenplastiken bei Menschen, indem er Seidenfäden von einem Muskel zu einem Knochenpunkte führte und dort annähte. Er berichtet darüber: »Wenn 2—3 Monate nach der Operation der Gipsverband abgenommen wurde, fühlten sich die seidenen Sehnen zunächst gerade so dick an, wie unmittelbar nach der Operation; wenn der verpflanzte Muskel aber einige Wochen gearbeitet und die seidene Sehne angespannt hatte, wurde dieselbe dicker und dicker. Seidene Sehnen, die ursprünglich nur stricknadelstark waren, erreichten allmählich (NB. durch angelagertes junges Bindegewebe) die Stärke eines Bleistiftes oder kleinen Fingers. Der Einfluß der Funktion macht sich stets in ganz auffallender Weise geltend, und es wurde dadurch schon wahrscheinlich, daß eine seidene Sehne, die funktionell beansprucht wird, sich bei der Einheilung ganz anders verhält als eine seidene Ligatur, die doch stets ein toter Fremdkörper im lebenden Gewebe bleibt.«

LANGE konnte einmal die histologische Untersuchung des angebauten Gewebes $2\frac{1}{2}$ Jahre nach der Operation vornehmen. Es ergab sich, daß in den zentralen, dem seidenen Strang naheliegenden

Schichten der Aufbau des Gewebes identisch mit dem einer normalen Sehne war. Die Bindegewebsfasern waren parallel angeordnet; elastische Fasern und Gefäße fehlten fast völlig. In den peripheren Schichten sind die Zellen und Fasern die gleichen wie die einer Sehne; aber außerdem finden sich Gefäße und hier und da Fettzellen dazwischen eingesprengt.

SEGGEI ('03), dem meine Versuche unbekannt geblieben waren, hat sich ebenfalls mit der Bedeutung der Funktion für die Bildung der Narbe nach Tenotomie der Achillessehne beschäftigt. Er versuchte bei einigen Tieren durch einen Schienenverband, der bis zum Tode des Tieres belassen wurde, die Wirkung der Funktion auszuschalten. Obgleich er selbst zugibt, daß eine völlige Immobilisierung der Extremität nicht möglich war, zieht er doch ziemlich weitgehende Schlüsse aus seinem Befunde. Er fand bei einer 70 Tage alten Narbe, die bei Anwendung des Schienenverbandes entstanden war, einen geringeren Fibrillenreichtum wie in einer 70 Tage alten Narbe, auf welche während der letzten 40 Tage der normale Muskelzug eingewirkt hatte. Diesen quantitativen Unterschied bezieht er auf das Fehlen resp. Vorhandensein des Zuges. Aus seinen Versuchen schließt SEGGEI ferner, daß die Sehnenregeneration vollkommen unabhängig von der funktionellen Beanspruchung einsetzt und eine den Sehnenzellen absolut an und für sich von Anfang an innewohnende Eigenschaft sei. Die mechanischen Momente kommen erst bei der sekundären Ausbildung der neuen Sehne zu einem ihrer Funktion entsprechenden Organ in Betracht, vor allem in bezug auf die quantitative Vermehrung des einmal angelegten Gewebes. — Diese Folgerung ist wohl weniger stark zuungunsten der Funktion gemeint, als es auf den ersten Blick erscheint. Wahrscheinlich will wohl SEGGEI nur hervorheben, daß die Proliferation der Sehnenzellen und die Differenzierung der jungen Zellen unabhängig von mechanischer Beanspruchung ist. Ob er die Anordnung der neuen Fasern zu parallelen in der Zugrichtung liegenden Strängen von der Zugrichtung abhängig macht, wird nicht ganz klar; außerdem sind seine Versuche nicht zureichend, um diese Frage zu entscheiden. SEGGEI führte auch Sehnenplastiken aus, indem er ein Stück aus der Achillessehne herauschnitt und die Stümpfe durch einen Seidenfaden verband. Bei einigen Tieren blieb dabei die Retraktion der Stümpfe bestehen, sie bekamen einen Pappschienenverband bis zu ihrem Tode. Bei den andern wurden die Sehnenstümpfe durch den den Defekt ersetzenden Seidenfaden angespannt, ein Pappschienenverband wurde nur für die ersten 28 Tage angelegt.

In beiden Versuchsreihen fand SEGGELE Neubildung einer jungen parallelfaserigen Sehne. Auch hier kommt er zu dem Schluß, daß die Spannungsverhältnisse und der Einfluß der Funktion für die anatomische Gestaltung der Narbe im eigentlichen Sinne vollständig belanglos sind. Diese Momente könnten nur eine quantitative Änderung des Substrates, nicht den qualitativen Charakter desselben bedingen. Ob SEGGELE unter dem qualitativen Charakter auch die Richtung und Anordnung der Fasern versteht, ist auch hier nicht zu ersehen. Daß der Pappschienenverband die Funktion nur herabsetzen, nicht aber ausschalten kann, hat SEGGELE übersehen.

BORST ('03), der die letzte Arbeit über Sehnenregeneration geliefert hat, spricht sich folgendermaßen über die Bedeutung der Funktion bei diesem Prozesse aus: Die Reichlichkeit der Fibrillenbildung und vor allem auch die Ordnung der neugebildeten Faserbündel unterliegen mechanischen Einflüssen. Aber auch die topographische Verteilung des Neubildungsprozesses, die Intensität der Proliferation, die prozentuale Bestimmung der Bindegewebs- und Sehnenwucherung sind von mechanischen Bedingungen abhängig. — Diese Resultate lassen sich allerdings nicht mit genügender Sicherheit durch die mitgeteilten Tatsachen stützen und sind zum Teil mehr vermutungsweise gewonnen.

BORST sah ferner in einem Falle einen (offenbar lymphatischen) Spaltraum, der die operierte Sehne von dem umgebenden gewucherten Bindegewebe trennte. Die funktionelle Inanspruchnahme der verheilten Sehne dürfte nach BORST auch auf die Entwicklung dieses Spalt- raumes von Einfluß gewesen sein. Es kommt dadurch nach BORST also gelegentlich zur Bildung einer Art von Sehnenscheide.

Eigene Experimente.

A. Anatomie des Operationsgebietes.

Bevor wir uns zu der Besprechung der Experimente selbst, die sämtlich an Kaninchen ausgeführt wurden, wenden, müssen wir kurz die anatomischen Verhältnisse des Operationsgebietes schildern. Wir folgen dabei nicht der Darstellung KRAUSE ('84), auch nicht der SCHRADIECKS, die sich der KRAUSEschen Schilderung anschließt, sondern der sehr klaren Dissertation von KARL HAACK ('03).

Der Hauptstrang der Achillessehne wird von den beiden Köpfen des Musculus gastrocnemius geliefert. Diesem Hauptstrang schließt

sich von vorn her die Sehne des *Musculus soleus* an, der, bedeckt vom lateralen *Gastrocnemius*kopf, am *Capitulum* und ersten Drittel der *Fibula* entspringt und im distalen Drittel des Unterschenkels in seine starke Sehne übergeht. Der *Achillessehne* liegt dicht an die zu ihr zu rechnende Sehne des *Musculus flexor dig. sublimis* (*Musculus palmaris* von KRAUSE). Der *Musculus flexor dig. sublimis* liegt als starker, fast spindelförmiger Muskel vor (ventral von) dem *Musculus gastrocnemius*. Er entspringt am *Condyl. lat. ossis femoris* und dem lateralen *VESALSchen* Sesambein und geht noch im ersten Drittel des Unterschenkels in seine Sehne über, die anfangs vor (ventral von) der *Achillessehne* liegt, dann hinter (dorsal) dieselbe tritt und zum *Calcaneus* geht; sie setzt sich dann als *Flexor dig. brevis* auf die plantare Fläche des *Metatarsus* fort. Die *Achillessehne* wird von der *Fascia cruris*, die den ganzen Unterschenkel einhüllt, bedeckt. Diese *Fascia cruris* sendet ein queres *Dissepiment* zwischen die *Achillessehne* und die tiefe *Flexorenmuskulatur*, so daß die *Achillessehne* in eine ringsum geschlossene Röhre zu liegen kommt. Sehr bedeutungsvoll ist für die folgenden Versuche, daß in diese *Fascie* einige kräftige Muskeln ausstrahlen. Der *Musculus biceps femoris* (im engeren Sinne) stellt einen breiten flachen, auf der lateralen Seite des Oberschenkels gelegenen Muskel von relativ geringem Dicken-durchmesser dar, welcher sich vom Sitzbein unter steter Verbreiterung nach unten erstreckt. Er entspringt mit zwei innig verwachsenen Köpfen am *Tuber ischii*, geht dann nach der lateralen Seite des Kniegelenks und der *Tibia* zu und läuft hier in eine breite *Aponeurose* aus, die mit der *Fascia lata* und *cruris* verschmilzt und am *Lig. rect. patellae*, an der *Patella* selbst und an der *Cristae tibiae*, sowie an der medialen Seite vom proximalen *Tibiadrittel* sich inseriert. Aus seinem caudalen Rand löst sich noch ein weiteres Sehnenblatt los, das sich, indem es ebenfalls mit der *Fascia cruris* verschmilzt, am *Tuber calcanei* inseriert und zur Unterstützung der *Achillessehne* beiträgt.

Der *Musculus abductor cruris post.* entspringt an den *Proc. transv.* des 1. und 2. Schwanzwirbels, zieht fußwärts über die laterale Fläche des *Musculus gastrocnemius lateralis* und verschmilzt mit dem *Musculus biceps femoris*, so daß er mit ihm verwachsen teils an die *Crista tibiae* geht, teils in die *Fascia cruris* ausläuft. Der *Musculus semitendinosus* (KRAUSES *Musculus semimembranosus*) entspringt bedeckt vom *Musculus biceps fem.* am lateralen und ventralen Rande des *Tuber ischii* und wendet sich zuerst auf die hintere, dann

auf die mediale Schenkelfläche; nachdem er über den medialen Kopf des *Musculus gastrocnemius* hinweggezogen, geht er in eine breite Sehne aus, die teils an der medialen Fläche der *Crista tibiae* endet, teils mit der Sehne des *Musculus gracilis* verschmilzt, in die Unterschenkel Fascie¹⁾ übergeht und durch diese in Form eines verdickten Fascienstranges am *Tuber calcanei* endet.

B. Die Versuchsreihen.

Um ein Urteil über die Bedeutung des mechanischen Zuges für die Bildung des Bindegewebes zu gewinnen, wurden folgende Versuchsreihen angestellt. Erstens: einfache Tenotomie bei Belassung des normalen Muskelzuges. Zweitens: Tenotomie mit Neurektomie des *Nervus ischiadicus*. Drittens: Tenotomie nach vorheriger Exstirpation resp. Excision der an die Achillessehne und die sie bedeckende Fascie ansetzenden Muskulatur. Viertens: Tenotomie und Muskelexstirpation wie sub 3, dazu: Anbringen eines queren Zuges auf das junge Keimgewebe zwischen den Sehnenstümpfen.

I. Einfache Tenotomie.

Es mag nach den erst jüngst erschienenen Arbeiten von SEGGER ('03) und BORST ('03) überflüssig erscheinen, die Entwicklung der Sehnennarben noch einmal zu studieren. Wenn die genannten Autoren auch die Bedeutung des Zuges für die Ausbildung der Narbe berücksichtigt haben, so stand ihnen dieser Gesichtspunkt doch nicht im Vordergrund, und seine theoretische Bedeutung lag ihnen gänzlich fern. Hier ist im Gegenteil das Augenmerk ausschließlich auf diesen Punkt gerichtet und gerade dadurch einige neue Tatsachen ermittelt worden. Die Frage nach der Herkunft der Zellen, die von SEGGER und BORST eben erst geprüft wurde, ferner das Mitosen-, das Spezifitätsproblem von Bindegewebs- und Sehnenzellen, das YAMAGIVA ('94) und BORST ('03) beschäftigte, werden wir nicht erörtern. Auch mit der Schlummerzellentheorie von GRAWITZ können wir uns nicht beschäftigen.

Versuchsanordnung.

Unter aseptischen Kautelen Längsschnitt durch die Haut an der lateralen Seite der Achillessehne. Die klaffenden Wundränder werden

---

¹⁾ Es ist hiernach klar, daß die *Fascia cruris* eher eine Aponeurose als eine Fascie (•Muskelbinde•) darstellt.

mit der linken Hand in querer Richtung auseinander gezogen, so daß die Achillessehne mit der sie deckenden Fascie von oben und von beiden Seiten sichtbar und zugänglich wird. Kleiner Längseinschnitt in die laterale Seite der Fascie. Durch die so geschaffene Öffnung wird eine Hohlsonde ventral unter die Achillessehne quer durchgeführt; die auf der medialen Seite wieder auf Fascie stoßende Hohlsonde wird durch eine kleine Gegenincision an dieser Stelle befreit und durch diese zweite kleine Fascienwunde herausgeschoben. Die auf diese Art abgehobene Achillessehne wird nun mitsamt der sie deckenden Fascie in querer Richtung durchschnitten. Das ventrale Fascienblatt wird ähnlich wie es SCHRADIECK tat, so weit, wie es ohne Verletzung der großen Gefäße und Nerven möglich ist, incidiert. Dann Hautnaht, die mit Jodoform-Kollodium bedeckt wird. Ein Verband wird nicht angelegt. Das Tier läuft sofort nach der Operation in seinem Stall umher.

Nach 3, 5, 8, 9, 10, 12, 15, 20, 30, 40, 50 und 60 Tagen wurden die Tiere getötet, die ganze Sehnenmarbe im Zusammenhang mit den Sehnenstümpfen herausgeschnitten und orientiert auf eine Korkplatte gesteckt. Die Fixation geschah durch Formol 4% mit oder ohne Nachbehandlung mit TELYESNITZKYscher Flüssigkeit (Kalium bichr. 3% 100,0, Eisessig 5,0). Die Objekte wurden unzerschnitten in Celloidin (2—3 Monate lang) eingebettet und unzerstückelt in 30—40 μ dicke Längsschnitte meist in frontaler, einige Male auch in sagittaler Richtung zerlegt. Nur bei den Objekten der älteren Stadien wurde vor dem Mikrotomieren eine quere Teilung in drei Stück vorgenommen. Zur Färbung wurde Hämatoxylin-Eosin angewendet.

Die unmittelbaren Folgen der Operation sind sehr sinnfällig:

Erstens: die Stümpfe der durchschnittenen Sehne ziehen sich ein bedeutendes Stück voneinander zurück, der obere Stumpf durch den Muskelzug, der untere durch das Herabsinken des Fersenhöckers beim Hocken und Laufen. Die Stumpfen der einzelnen Teilsehnen bleiben dabei nicht genau gleichmäßig in derselben Ebene. Es zeigt sich sowohl am oberen wie am unteren Stumpf eine ungleiche Retraktion derselben.

Zweitens: die durchschnittenen Fascie folgt nicht in entsprechender Weise. Sie besitzt noch feste Verbindung nach der Vorderseite des Unterschenkels (die Fascia cruris umhüllt ja den ganzen Unterschenkel), die sie nicht so weit zurückweichen läßt, wie die durchschnittenen Sehnenstümpfe es tun.

Drittens: in den Zwischenraum zwischen den beiden Stümpfen

erfolgt ein mäßiger Bluterguß. Wir wollen diese den Zwischenraum erfüllende Blutmasse nebst dem, was sich ihr beimengt und was in der nächsten Zeit in sie eindringt, so lange mit dem Worte »Zwischenmasse« bezeichnen, bis sie völlig oder fast völlig von Zellen verdrängt ist.

Viertens: es werden durchschnitten Fasern der Fascien in die Zwischenmasse hineinverlagert.

Im folgenden sollen die einzelnen Entwicklungsstadien der einfachen Sehnennarbe dargestellt werden.

3 Tage alte einfache Tenotomienarbe.

Auf einem frontalen Längsschnitt (Fig. 1) durch das ganze Objekt erkennt man, daß die Sehnenstümpfe um 22 mm auseinandergewichen sind. Die der Zwischenmasse zugekehrten Stumpfenenden sind nicht glatt, sondern unregelmäßig, entsprechend der oben beschriebenen ungleichmäßigen Retraktion der einzelnen Teilsehnen. Die Zellen der Sehnenstümpfe sind bedeutend vermehrt. Ein großer Teil dieser neu aufgetretenen, jungen Zellen ist den Sehnenfasern eng angeschmiegt und ihr Zellkörper in dem dichten Gewebe auf den $30\ \mu$ dicken Schnitten nicht deutlich in ihrer Form zu erkennen. Die Kerne sind länglich oval wie die typischen Kerne der Spindelzellen, und die Längsachsen dieser Kerne sind einander und den Sehnenfasern parallel gerichtet. Daneben sind aber auch in den Interstitien gröberer Sehnenbündel reichlich Häufchen oder mehr diffus verteilte Mengen von polymorphen¹⁾, nicht gerichteten Zellen vorhanden.

Die Fascie hat sich, wie man es in diesem Stadium auch auf dem Schnitte noch deutlich erkennen kann, bedeutend weniger weit zurückgezogen als die Sehnenstümpfe. Sie klappt von X zu X. Ihre Struktur, bestehend aus zwei rechtwinkelig sich kreuzenden Fasersystemen, ist auf manchen Schnitten, besonders da, wo die Fascie flächenhaft getroffen ist, noch deutlich. Auf dem in Fig. 1 abgebildeten Frontalschnitt ist an vielen Stellen durch die Auflockerung diese Struktur etwas verwischt. Die Längsfasern sind ohne Mühe

---

¹⁾ Die vielgestaltigen Zellen des Granulationsgewebes sind nach ihrem färberischen Verhalten und ihren feinsten Struktureigentümlichkeiten in verschiedene Klassen geteilt worden, zuletzt in sehr glücklicher Weise von MAXIMOW. Es war mit den für meine Arbeit gesteckten Zielen technisch nicht wohl vereinbar, eine färberische Analyse der jungen Zellen durchzuführen. Um nun die vielgestaltigen undifferenzierten Zellen des jungen Bindegewebes von den etwas differenzierteren Sternzellen und den weiter differenzierten Spindelzellen zu trennen, wurden sie »polymorph« genannt.

zu erkennen (bei *l.Ff.*), auch quergetroffene Querfasern sind an manchen Stellen (bei *q.Ff.*) gut zu sehen.

Die vier sich auf dem Schnitte darstellenden Fascienteile (oben-medialer, oben-lateraler, unten-medialer, unten-lateraler Fascienteil) zeigen eine Vermehrung ihrer Zellen, besonders die beiden oberen, weniger die beiden unteren. Die jungen Zellen sind zum größten Teil, besonders in dem oberen lateralen Fascienstück, Spindelzellen, die den Fasern parallel gerichtet sind. Daneben finden sich noch die bekannten vielgestaltigen, polymorphen Zellen des Wundgewebes. An den unteren beiden Fascienstücken kann man (bei *vert.F.*) beobachten, wie sich Fascienfasern mit dem freien durchschnittenen Ende in die Zwischenmasse hineingelegt haben.

Die Zwischenmasse besteht zum größten Teil aus einem Blut-coagulum. Man findet ausgebreitete Fibringerinnsel (*Fbr.*), die sich auf einem Schnitt als Netzwerk, auf der Schnittserie jedoch als vollständig oder unvollständig geschlossene Kapseln darstellen. In diesen Kapseln liegen Haufen von zusammengebackenen, zerfallenden roten Blutkörperchen (*Blk.*). In einige dieser Kapseln sind Scharen von polynucleären Leukocyten und polymorphe Zellen eingedrungen (bei *Z₁*).

Da wo die vier Fascienstücke voneinander klaffen, hat sich Blut-coagulum und lockeres subcutanes Gewebe in die Zwischenmasse gelegt; auch hier sind die Zellen vermehrt, vielgestaltig, stern- und spindelförmig (bei *Z₂*).

In dem weiteren Verlauf der Beschreibung werden wir es unterlassen, auf eine Reihe von konstant wiederkehrenden Erscheinungen hinzuweisen. So werden wir den weiten Abstand der Stümpfe nicht immer von neuem betonen. Es soll nur noch hier erwähnt werden, daß dieser Abstand in den verschiedenen Narben unregelmäßig um einige Millimeter variiert. So zeigt eine 5 Tage alte Narbe einen Abstand von 19 mm, eine 8 Tage alte Narbe einen solchen von 25 mm, eine 9 Tage alte Narbe einen solchen von 22 mm, eine 10 Tage alte Narbe einen solchen von 22 mm, eine 12 Tage alte Narbe einen solchen von 16 mm, eine 20 Tage alte Narbe einen solchen von 25 mm und so fort.

Ferner werden wir den Befund der Zellen in den Sehnenstümpfen nicht mehr berühren; denn es bleibt eine konstante Erscheinung, daß, wie es eben beschrieben wurde, die meisten neu auftretenden Zellen den Sehnenfasern dicht angeschmiegt sind und daß sie einen charakteristischen Spindeldern haben, dessen Achse den Sehnenfasern

parallel gerichtet ist, daß aber daneben, und zwar meist in den Interstitien größerer Sehnenbündel, diffus und in Häufchen polymorphe Zellen und Rundzellen vorkommen.

Schließlich sei hier ein für allemal hervorgehoben, daß in allen Stadien die Stumpfsenden der Teilsehnen nicht gleichmäßig nebeneinander stehen, sondern daß sie, wie oben schon gesagt, sich ungleichmäßig zurückziehen, und daß dabei oft ein überragendes Teilsehnenende sich über ein weiter retrahiertes lehnt und schräg in die Zwischenmasse hineinsieht (wie in Fig. 2 bei *u.St.*).

Wir kommen nun zu der Beschreibung der

5 Tage alten Schnennarbe.

Auf einem frontalen Längsschnitt eines solchen Objekts (Fig. 2) können wir schon einen merklichen Fortschritt beobachten. Das Blutcoagulum bildet zwar noch den größten Teil der Zwischenmasse, doch erscheint es geringer als in dem vorhergehenden Fall. Indessen soll hierauf der Schwerpunkt nicht gelegt werden; es mag ja sein, daß von Anfang an der Bluterguß geringer war. Das Coagulum stellt sich hier, wie in dem vorigen Fall, als ein System von unregelmäßigen, nicht immer völlig geschlossenen Fibrinkapseln dar (bei *Fbr.*), die feinkörnig geronnene Massen (auf der Figur nicht eingezeichnet) und rote Blutkörperchen (bei *r.Blk.*) enthalten. Außerdem finden wir polynukleäre Leukocyten und polymorphe Zellen in ihnen (bei *Z.*).

Die Fascie zeigt die ihr eigentümliche Struktur, wenn auch durch die Entspannung etwas verzerrt, an der lateralen Seite des äußeren Stumpfes flächenhaft getroffen sehr deutlich (*q.Ff.*). Die Längsfasern sind sowohl oben wie unten eine Strecke weit neben der Zwischenmasse zu erkennen (bei *l.Ff.*). In die Zwischenmasse hineinragende Fasern sind auf der medialen Seite etwas über dem unteren Stumpfe (bei *verl.F.*) zu sehen. Auch oben und lateral stoßen Längsfasern mit ihren durchschnittenen Enden gegen die Fibringerinnsel, indem sie sich leicht nach der Zwischenmasse hinneigen.

Die Fascie ist überall stark von jungen Zellen erfüllt. Die Zellen sind vorwiegend den Längsfasern gleichgerichtete Spindelzellen. Auch an den Querfasern der Fascie und zwischen ihnen sind diesen gleichgerichtete Spindelzellen in vermehrter Zahl vorhanden. Daneben finden sich in verschiedener Menge die dem Wundgewebe eigentümlichen Zellen. Die Durchtrennungsstelle der Fascie ist hier nicht mehr kenntlich. Offenbar haben sich die Fascienstücke weniger weit

zurückgezogen, und die Lücke hat sich mit längsgerichteten Spindelzellen ausgefüllt.

Es sind also jetzt auf dem Längsschnitte zu beiden Seiten der Zwischenmasse zwei ununterbrochene Stränge zu beobachten, zum größten Teil aus längsgerichteten Elementen bestehend — den Längsfasern der Fascie und den jungen neugebildeten, ihnen parallelen Spindelzellen — zu einem ganz kleinen Teil aus queren Elementen bestehend, den queren Fascienfasern und den ihnen gleichgerichteten vermehrten Spindelzellen. Diese Stränge sollen im folgenden »Seitenstränge« genannt werden.

Von besonderer Wichtigkeit ist es nun, das Grenzgebiet zwischen den Seitensträngen und der Zwischenmasse zu beobachten. An mehreren Stellen sieht man Spindelzellenbündel von den Seitensträngen in die Zwischenmasse einstrahlen, häufig in der Verlängerung von verlagerten Fascienfasern, aber auch unabhängig von solchen. Am unteren Stumpfe (Fig. 2) biegen sowohl an der medialen als lateralen Seite aus den Seitensträngen über das untere Stumpfende proximalwärts fort zwei zierliche Bündel von Spindelzellen (*p.w.*) in die Zwischenmasse hinein. Ähnlich verlaufen von oben nach unten, hier in der Fortsetzung der in der Zwischenmasse verlagerten Fasern (*verl.F.*), auf der medialen Seite distalwärts Spindelzellen in die Zwischenmasse (bei *d.w.*). Auf der lateralen Seite finden wir dicht unterhalb der Mitte Spindelzellen aus den Seitensträngen von oben schräg nach innen und unten gegen das Coagulum und weiter unten gegen den unteren Stumpf ausstrahlen (*d.w.*).

Diese aus den Seitensträngen in die Zwischenmasse einstrahlenden Spindelzellenbündel sind in den ersten Stadien, vom 5.—10. Tage etwa, konstante Erscheinungen. Man kann sie nach ihrer Verlaufsrichtung in zwei Typen teilen, in proximalwärts und distalwärts aus den Seitensträngen in die Zwischenmasse einstrahlende Bündel.

8 Tage alte Narbe.

Betrachten wir den frontalen Längsschnitt, der in Fig. 3 dargestellt ist. Das Blutcoagulum ist noch in bedeutender Masse vorhanden, doch reicht es nicht mehr bis an die Stumpfenden; aber es zeigt eine starke Ausdehnung in die Breite. Im übrigen trägt es dieselben Charaktere, wie sie oben beschrieben worden. Die Erfüllung mit polynukleären Leukocyten und polymorphen Zellen ist an einigen Stellen ziemlich bedeutend. Bei Z_1 und Z_2 liegen diese Zellen in

großen Haufen in einer unten nach dem Gewebe zu offenen Fibrinkapsel. In den andern Fibrinkapseln liegen zerstreut Sternzellen.

Die Fascie hat ihr Aussehen verändert. Sie ist nicht nur stärker mit jungen Spindelzellen erfüllt, sondern auch ihre Bindegewebsfasern werden mehr und mehr undeutlich. Längsfasern erkennt man nur noch an den äußeren Randpartien und an einigen Stellen, wo sie verlagert sind (*verl.F.*). Querfasern finden sich deutlich noch in der Nähe des oberen Stumpfes, lateral im Längs- und Querschnitt, medial im Querschnitt (bei *q.Ff.*₁, *q.Ff.*₂ und *q.Ff.*₃). Die alten Bindegewebsfasern schwinden mit dem Zunehmen der jungen Spindelzellenmasse. Die interessante Frage, wo sie eigentlich bleiben, ob sie zugrunde gehen und resorbiert werden, oder ob sie von den jungen Zellen an Ort und Stelle verarbeitet werden, können wir nicht beantworten. ENDERLEN hat an den Sehnenstümpfen eine ähnliche Verdrängung der alten Fasern beschrieben; wir werden hierauf weiter unten zurückkommen.

Die Seitenstränge sind in den mittleren zwei Dritteln gut als ziemlich breite Stränge dichter, im großen und ganzen längsgerichteter Spindelzellen ausgeprägt. In der Nähe des oberen Stumpfes sind, wie schon erwähnt, quere Fascienfasern in sie verwoben. Unten und lateral zeigt der Seitenstrang ein weniger festes Gefüge, wenige unterbrochene Längsfaserbündel (bei *l.Ff.*) und mehrere Querfaserbündel in Längs- und Querschnitt (bei *q.Ff.*₄). Wahrscheinlich hat hier bei der Operation eine eingreifendere Störung stattgefunden.

Aus den Seitensträngen ziehen reichlich proximalwärts und distalwärts strahlende junge Spindelzellenbündel in die Zwischenmasse (bei *p.w.* und *d.w.*) und durchflechten sich zum Teil. Ganz wenige kleine Spindelzellenbündel haben einen diesem Typus nicht entsprechenden unregelmäßigen Verlauf (bei *B*).

Bis hierhin ergab die Beschreibung einen Zustand ähnlich wie in dem vorhergehenden Fall, nur ausgeprägter. Es kommt jetzt als neu hinzu, daß aus den Sehnenstümpfen selbst Spindelzellbündel, wenn auch nur erst in geringem Umfange, in die Zwischenmasse ziehen. Diese Bündel halten im allgemeinen die Richtung der Sehnenbündel ein, aus welchen sie hervorgehen. Am oberen Stumpf ist dieser Vorgang schon ziemlich lebhaft und am unteren nur erst auf einen kleinen Strang beschränkt, an welchen sich eines der oben erwähnten unregelmäßigen Bündel (*B*) anschließt.

Die Zwischenmasse in der Nähe des unteren Stumpfes besteht, abgesehen von den besprochenen einstrahlenden Fasern, aus jungen Bindegewebszellen, die zum größten Teil keine regelmäßige Anord-

nung haben, sondern mit ihren Fortsätzen in beliebigen Richtungen liegen. Nur ein locker gefügtes, von unten nach oben verlaufendes Bündel paralleler Spindelzellen läßt sich zwischen ihnen erkennen (bei *gr.*). Die Zwischenmasse zwischen Bluterguß und oberem Sehnenstumpf besteht, abgesehen von den besprochenen einstrahlenden Zellbündeln, aus Sternzellen und polymorphen Zellen (bei Z_3).

Wenn in der Beschreibung dieses Falles von Spindelzellbündeln gesprochen wurde, so ist dem noch hinzuzufügen, daß diese Spindelzellen mit der Bildung junger Fibrillenbündel begonnen haben.

Die Durchflechtung der distalwärts und proximalwärts strahlenden Bündel kann noch bedeutend ausgeprägter sein als auf dem eben beschriebenen Schnitt, doch ist der Typus immer derselbe.

In der untersuchten 9 Tage alten Narbe zeigen sich sehr ähnliche, nur noch mehr vorgeschrittene Verhältnisse. Das Blutcoagulum ist hier nur noch unbedeutend. Es besteht aus Fibrinkapseln, in denen außer einigen wenigen Leukocyten Sternzellen in regelloser Anordnung liegen.

Die Seitenstränge sind gut ausgebildet, sie bestehen aus dichten Mengen längsverlaufender Spindelzellen und jungen, von diesen ausgeschiedenen Fibrillenbündeln. Die alten Fascienfasern sind nur noch hier und da zu erkennen.

Die Systeme der distalwärts und proximalwärts strahlenden Bündel sind reichlich vorhanden. Die Sehnenstümpfe selbst geben hier schon in ausgedehnterer Weise als in dem vorigen Fall jungen, meist längsverlaufenden Spindelzellbündeln den Ursprung. An beiden Stümpfen ist es oft nur ein mittlerer Strang, der die gerade Richtung nach unten eine kurze Strecke einhält, um dann ein wenig verbreitert auszustrahlen und sich zu verlieren. Die aus den seitlichen Randfasern der Sehnenstümpfe kommenden jungen Längsbündel biegen oft wie die ihnen anliegenden distalwärts strahlenden Bündel der Seitenstränge nach der Zwischenmasse zu um. Sagittalschnitte einer 9 Tage alten Narbe ergaben ähnlichen Befund.

In einer 10 Tage alten Narbe (Fig. 4) sind von dem Bluterguß nur noch geringe Reste vorhanden. Der ganze Raum ist von großen Mengen Spindelzellen mit jungen Fibrillen erfüllt. Aus den mächtigen Seitensträngen strahlen distalwärts und proximalwärts ziehende und sich stellenweise sehr innig verflechtende Bündel in die Zwischenmasse ein, die jetzt in der Nähe der Stümpfe nur noch aus durchflochtenen Spindelzellsträngen besteht. Aus den Sehnenstümpfen selbst wachsen kräftige Stränge heraus, annähernd in der Richtung von oben

nach unten oder umgekehrt. Doch kann man oft beobachten, daß die seitlichen Fasern der Sehnenstümpfe nach der Zwischenmasse umbiegende oder einstrahlende Bündel hervorgehen lassen, und daß aus verbogenen Sehnenbündeln auch an andern Stellen junge Fibrillenbündel in der Richtung dieser Verbiegung herauswachsen. Wir sehen somit in der 10 Tage alten Narbe einen sehr kompliziert geflochtenen Strang, dessen Elemente in ihrem Verlaufe entweder längsgerichtet sind oder von der Längsrichtung etwa um 30° – 40° abweichen.

Bei der 12 Tage alten Narbe wurde ein sehr wesentlicher Fortschritt nicht festgestellt; nur erschien die Verflechtung der Fasern weniger kompliziert und eine reine Längsrichtung deutlicher ausgesprochen.

Am 15. Tage kann man schon völlig parallelfaserige Narben finden, die nur einige Störungen dieser Struktur in der Nähe der Stümpfe aufweisen. Es konnten indessen noch ältere (bis 18 Tage alte) Sehennarben gefunden werden, die weniger weit entwickelt waren und den Typus der distalwärts und proximalwärts strahlenden Bündel deutlich zeigten.

Bei Narben vom 20.—60. Tage wurden nur ganz geringfügige Störungen einer sonst sehr regelmäßigen parallelfaserigen Struktur nachgewiesen.

Epikrise.

Das Ergebnis, das aus der Untersuchung der einfachen Sehennarben gewonnen wurde, kann folgendermaßen zusammengefaßt werden:

Nach der Durchtrennung der Achillessehne und der sie bedeckenden Fascie ziehen sich die Sehnenstümpfe weit, die Fascienlappen bedeutend weniger weit zurück. Der Zwischenraum erfüllt sich anfangs mit einem Blutcoagulum, in welches bald Leukocyten und polymorphe (s. Anm. S. 203) Zellen eindringen. Schon in den ersten Tagen tritt, im wesentlichen in der Fascie und dem Peritonium externum, eine bedeutende Vermehrung von Spindelzellen in die Erscheinung, die den alten, meist längsverlaufenden Fascienfasern gleichgerichtet sind, die Fascie stark verbreitern und als Längsbündel den zwischen den durchtrennten Fascienstücken klaffenden Raum ausfüllen. Aus diesen auf dem Schnitt sich als Seitenstränge darstellenden peripherischen Teilen der annähernd zylinderförmigen Narbe strahlen proximal- und distalwärts Bündel junger Spindelzellen, oft in der Verlängerung von alten in die Zwischenmasse hineingelagerten Fascienfasern, in die Zwischenmasse ein und durchflechten sich dabei innig

miteinander, wie es in nebenstehendem Schema dargestellt ist (Textfigur). Doch mußte bei der Beschreibung der Schnitte auffallen, daß nicht auf jedem derselben alle im Schema dargestellten Bündel in Vollständigkeit vorhanden sind. Erst wenn man viele Schnitte eines und desselben Objekts durchmustert, findet man sie schließlich sämtlich vertreten. Daneben zeigten sich einige wenige diesem Typus nicht entsprechende unregelmäßige Bündel.

Etwa vom 8. Tage wachsen auch aus den Sehnenstümpfen selbst junge Spindelzellbündel und zwar in annähernd gerader Richtung in

a.St. oberer Stumpf, *u.St.* unterer Stumpf,
S.Strg. Seitenstrang.

die Zwischenmasse oder sie strahlen, den distalwärts oder proximalwärts aus den Seitensträngen ziehenden Bündeln angeschlossen, schräg von oben nach unten resp. umgekehrt in die Zwischenmasse ein. Das Blutcoagulum wird mehr und mehr resorbiert. Doch solange noch die mehr oder weniger geschlossenen Fibrinkapseln vorhanden sind, finden sich in ihnen polymorphe Zellen, Sternzellen und Spindelzellen ohne bestimmte Anordnung. Schließlich entsteht am 10. Tage ein aus Spindelzellen und jungen Fibrillen gebildeter, kompliziert geflochtener Strang, dessen Bündel in ihrem Verlauf zum Teil in der Längsrichtung liegen, zum Teil um 30° – 40° von ihr abweichen. Dieser kompliziert geflochtene Strang wandelt sich danach (ungefähr bis

zum 20. Tage) in einen regelmäßigen, aus parallelen, den Sehnenfasern gleichgerichteten Elementen bestehenden Strang um, der nur noch hier und da Abweichungen von dieser regelmäßigen Struktur zeigt.

Es ergibt sich nun die Aufgabe festzustellen, inwieweit die in den verschiedenen Stadien geschilderten Strukturen der bei der Muskelkontraktion und der Lokomotion eintretenden Beanspruchung der entstehenden Narbe entsprechen.

Bei der Streckung des Fußes kontrahieren sich Gastrocnemius, Soleus, Flex. dig. subl. (Plantaris) und ziehen an dem oberen Stumpf der durchtrennten Achillessehne und könnten einen gerade von oben nach unten gerichteten Zug auf zwischengelagertes Gewebe ausüben. Wird der Fuß wieder dorsal flektiert, so bewegt sich der Fersenfortsatz und damit der untere Sehnenstumpf distalwärts und könnte so auf zwischengelagertes Gewebe einen Zug von unten nach oben ausüben.

Ferner kontrahieren sich bei der Streckung des Fußes die beiden mächtigen lateralen und medialen Fascienspanner, Biceps und Semitendinosus, und ziehen an den Längsfasern des oberen Fascienstücks. Wird der Fuß wieder dorsalwärts flektiert, so wird durch diese Bewegung der Fersenfortsatz nach distal geführt und das an sein Periost befestigte untere Fascienstück in seinen Längsfasern gespannt.

Ziehen wir nun in Betracht, daß in der ersten Woche junges Gewebe fast ausschließlich von der Fascie und dem mit ihr verschmolzenen Peritoneum ext. gebildet wird, daß die Sehnenstümpfe nur eine beginnende Auflockerung und noch keine Verschmelzung mit dem ihren Durchtrennungsflächen distal- resp. proximalwärts anliegenden geringen Zellmengen zeigen und daher auch keinen Angriffspunkt an diesem noch spärlichen Gewebe haben können, so müssen wir anfangs von Zugkräften, die sich durch die Sehnenstümpfe selbst fortpflanzen, absehen. Denn sie können noch gar nicht einwirken, weil die Stumpfen mit der (spärlichen) Zellenmenge, die in ihrem Bereiche, d. h. an ihrer Durchtrennungsfläche liegt, noch nicht verschmolzen sind und daher nicht an sie angreifen können.

Es kommen also für die erste Woche nur die Zugkräfte in Frage, welche durch die Längsfasern der durchtrennten Fascie vermittelt werden. Bei der Kontraktion des Biceps und Semitendinosus pflanzt sich der Zug hauptsächlich in der Längsrichtung des oberen Fascienstücks fort, und wenn dieses mit dem unteren durch Zellmassen verklebt ist, in derselben Richtung auch in dem unteren fort.

Dieser Zugrichtung entsprechen auf unsern Schnitten die Seitenstränge mit den längsgerichteten Elementen.

Sodann müssen bei dem in Rede stehenden Zug schräge, etwas weniger intensive Zugkräfte von den Seitensträngen nach der Zwischenmasse von oben nach unten zu einstrahlen, besonders wenn durchtrennte Fascienfasern in diese Richtung gezerzt wurden. Diesen Zugkräften entsprechen die von oben nach unten, distalwärts, in die Zwischenmasse einstrahlenden Bündel.

Bewegt sich nun bei der Dorsalflexion des Fußes der Fersenfortsatz distalwärts, so pflanzt sich zunächst in dem unteren Fascienstück, und wenn es durch Zellenmassen mit dem oberen verklebt ist, auch in diesem, ein Zug in der Längsrichtung von unten nach oben fort. Ferner strahlen aber auch wieder Zugkräfte schräg von unten nach oben, zumal wenn verlagerte Fascienfasern in dieser Richtung liegen, in die Zwischenmasse ein. Diesen letzteren entsprechen die von unten nach oben, proximalwärts, einstrahlenden Bündel.

Damit ist erläutert, daß die festgestellten und im Schema veranschaulichten Verlaufsrichtungen der jungen Spindelzellbündel den zeitigen Zugkräften entsprechen.

Die geschilderten Zugkräfte können sich nicht in die meist allseitig geschlossenen starren Fibrinkapseln fortsetzen. Andererseits sahen wir, daß gerade hier in diesen Fibrinkapseln die eingedrungenen Bindegewebszellen eine bestimmte Anordnung und Differenzierung entbehren.

Da die Fascie nicht bloß medial und lateral, sondern auch dorsal und ventral die Achillessehne umhüllt, und da die Fascienspanner auch auf diese Teile einwirken, müssen die beschriebenen Zugkräfte sich auf einem gedachten frontalen Schnitt ebenso verhalten wie auf einem sagittalen. Dem entspricht, daß dieselben Strukturen, die für die Frontalschnitte beschrieben wurden, auch auf den sagittalen Längsschnitten zu finden sind.

In dem weiteren Verlauf der Entwicklung produzieren die Sehnenstümpfe selbst reichlich junge Zellen und kehren, wie schon ENDERLEN zeigte, in eine Art Jugendzustand zurück, indem die alten starren Fasern jungen Fasern Platz machen, welche mit den Zellen der Zwischenmasse ohne scharfe Grenze verschmelzen. Jetzt kann sich durch die Sehnenstümpfe selbst ein gerade von oben nach unten und von unten nach oben gerichteter Zug in die Zwischenmasse fortpflanzen.

Dem entspricht der Übergang aus der kompliziert verflochtenen in eine längsgerichtete parallelfaserige Struktur.

Es ist noch zu bemerken, daß auch an den Querfasern der Fascie diesen gleichgerichtete Spindelzellen auftreten. Wenn man nun bedenkt, daß die durchtrennten Fascienlappen durch Verklebung mit der Zwischenmasse wieder einen festen Halt bekommen, und daß sie mit der Fascia cruris, die sich nach vorn über den Unterschenkel schlägt, fest zusammenhängen, so muß es klar werden, daß bei der Dorsalflexion des Fußes, wobei die Achillessehne nach dorsalwärts

drängt, die wenn auch verzerrten Querfasern gespannt werden. Dieser Querspannung entsprechen die quergestellten Spindelzellen¹⁾.

War es schon früheren Autoren, die den parallelfaserigen Bau der Narbe erkannten, wahrscheinlich, daß diese Struktur ursächlich auf die mechanische Beanspruchung zurückzuführen sei, so wird jetzt durch die Ermittlung eines in seinem Aufbau den derzeitigen mechanischen Verhältnissen entsprechenden Zwischenstadiums diese Wahrscheinlichkeit noch erhöht.

Es wurden oben die Befunde ENDERLENS zitiert, der nach Incisionen der Achillessehne anfangs eine unregelmäßige Anordnung der Fasern in der Narbe beobachtete und erst in einem späten Stadium, am 30. und 35. Tage, eine bestimmte, am 70. und 75. Tage eine definitiv regelmäßige Struktur konstatierte. Es stimmt dieser Befund mit dem unsrigen bei der Annahme einer richtenden Wirksamkeit des Zuges wohl überein. Da ENDERLEN nur Incisionen, nicht völlige Durchtrennungen vornahm, konnte sich ein wesentlicher Teil der Zugkraft durch die nicht durchschnittenen Fasern der Sehne fortpflanzen und mußte so für die Bildung der Narbe unwirksam bleiben. In unsern Versuchen jedoch, bei welchen die Sehne ganz durchschnitten wurde, wirkte die ganze Kraft der Muskulatur auf die junge Narbe ein; daraus würde sich die bei der einfachen vollständigen Tenotomie zu beobachtende größere Beschleunigung der Umarbeitung erklären.

Aber es bleibt immerhin zu beachten, daß es in den ersten Entwicklungsstadien auch einige wenige Spindelzellbündel gibt, deren Richtung mit der Richtung der von uns ableitbaren Zugkräfte nicht in Verbindung zu bringen ist.

Doch gesetzt, es sei die Wirksamkeit des Zuges erwiesen, so bliebe noch die schwierige Frage offen, in welcher Weise denn der Zug auf das junge Gewebe richtend einwirkt. Handelte es sich bloß um ein rein mechanisches Umordnen von gebildeten Fasern, oder genügt eine solche Deutung nicht, und müssen wir auf kompliziertere, auf vitale Vorgänge zurückgreifen? Diese Frage kann nicht eher ihre Beantwortung finden, als bis die erste Frage, inwieweit überhaupt der Zug in einer ursächlichen Beziehung zu der Bildung der beschriebenen Struktur steht, durch weitere Versuche beantwortet ist.

Diesem Zwecke dienen die drei folgenden Versuchsreihen.

---

¹⁾ Es ist hier jedoch noch eine andre Deutung möglich. Die jungen Zellen, die zwischen den queren Fascienfasern entstehen, müssen sich den ihnen zur Verfügung stehenden Spalträumen (zwischen den Fasern) anpassen, nehmen daher Spindelform an und sind den queren Fascienfasern gleichgerichtet.

II. Tenotomie nach Ischiadicus-Neurectomie.

Versuchsanordnung.

Der Nervus ischiadicus wurde an seinem Austritt aus dem Becken unter dem Musculus glutaeus maximus aufgesucht, in allen seinen Fasern durchschnitten, und es wurden einige Millimeter aus ihm excidiert; darauf Tenotomie der Achillessehne in der oben beschriebenen Weise, Hautnaht, schließlich Gipsverband, der den gestreckten Fuß und Unterschenkel umfaßte und das Talocrural-Gelenk feststellte.

Die Tiere wurden am 5., 8., 10., 15., 20., 60. Tage getötet, die junge Narbe wie früher im Zusammenhang mit den Sehnenstümpfen herausgenommen, auf Kork aufgesteckt und in Formol 4% fixiert.

SEGGER ('03) gibt an, daß er versucht habe, Sehnenplastik nach Resektion des Nervus ischiadicus auszuführen, daß ihm diese Versuche aber wegen der eingetretenen Ernährungsstörungen nicht gelungen seien. Bei den vorliegenden Tenotomien nach Neurectomie sind Ernährungsstörungen in einer den Versuch störenden Weise nicht aufgetreten. Daß aber z. B. der Muskel fettig degenerierte und schrumpfte, ist ja selbstverständlich.

Die unmittelbaren Folgen der Operation sind ähnlich wie die nach der einfachen, unkomplizierten Tenotomie: Die Sehnenstümpfe retrahieren sich, jedoch in bedeutend geringerem Maße als nach einfacher Tenotomie, die durchschnittene Fascie zieht sich etwas, aber nicht soweit wie die Stümpfe zurück. Der Zwischenraum erfüllt sich mit Blut.

In einem 5 Tage alten Objekt finden wir folgendes: Die Stümpfe stehen in der verhältnismäßig sehr geringen Entfernung von 5 mm voneinander. Ein sehr bedeutsames Blutcoagulum nimmt den Zwischenraum ein und drängt die durchschnittene Fascie nach medial und lateral stark ab. Die Struktur der letzteren ist an vielen Stellen gestört, sowohl durch den mechanischen Eingriff, als auch durch die Erfüllung mit Blut.

Die Sehnenstümpfe zeigen dieselben Verhältnisse wie nach einfacher Tenotomie: Vermehrung der Zellen, welche zum kleineren Teile die polymorphen Charaktere des jungen Granulationsgewebes tragen, zum weitaus größeren Teil Spindelzellen zu sein scheinen mit ihren, den Sehnenfasern gleichgerichteten Spindelkernen. In der Fascie finden wir lebhaft Zellproliferation. Neben zahlreichen jungen poly-

morphen Zellen sind viele, den Bindegewebsfasern der Fascie gleichgerichtete Spindelzellen zu beobachten.

In das Blutcoagulum sind Leukocyten in großen Haufen und auch vereinzelt eingewandert. Aus der Fascie und dem Peritonium ext. dringen gegen das Coagulum junge Bindegewebszellen vor, und zwar sternförmige und polymorphe Zellen, auch einige Spindelzellen ohne bestimmte Anordnung. Bündel von bestimmt gerichteten Spindelzellen sind hier nicht vorhanden.

Eine 8 Tage alte Narbe zeigt einen wesentlich größeren Abstand der Stümpfe voneinander. Er beträgt 10 mm. Bezüglich der Zellen bieten die Sehnenstümpfe dasselbe Aussehen dar wie im vorhergehenden Fall.

Das Blutcoagulum ist weniger breit, erstreckt sich aber der Länge nach noch von einem Stumpf zum andern. Es besteht hauptsächlich aus Fibrinkapseln, wie sie früher beschrieben wurden, und einigen Häufchen roter Blutkörperchen. Eingewanderte Leukocyten finden sich nur spärlich. Hingegen kann man in den Fibrinkapseln zerstreut polymorphe Zellen, Stern- und Spindelzellen in regelloser Anordnung beobachten.

Die Fascie ist durch Einlagerung von Zellen zwischen die Fasern und Anlagerung von Zellen nach innen zu verbreitert. Diese jungen Zellen sind überwiegend Spindelzellen und mit ihrer Achse den Bindegewebsfasern der Fascie gleichgerichtet. Die Fasern der Fascie sind an manchen Stellen schon wenig deutlich zu erkennen, schwinden also auch hier unter der Fülle junger Zellen, ebenso wie bei der einfachen Tenotomie. Die Spindelzellen beginnen in diesem Stadium mit der Fibrillenbildung.

Die Schnittstelle der Fascie ist nicht mehr mit Sicherheit festzustellen, da sie mit längsgerichteten Spindelzellen ausgefüllt ist.

Demnach haben sich also in diesem Stadium dieselben Seitenstränge ausgebildet, wie wir sie bei der schon 5 Tage alten einfachen Tenotomienarbe beschrieben haben.

Die Systeme der distalwärts und proximalwärts einstrahlenden Bündel finden wir auch hier vorhanden, jedoch sind die Bündel so kurz, daß man nur von einer Andeutung dieser Struktur sprechen kann. Von den Sehnenstümpfen selbst gehen keine Spindelzellbündel aus.

Eine 10 Tage alte Narbe zeigt ein weiteres Auseinanderrücken der Sehnenstümpfe. Ihr Abstand beträgt 12 mm. Charakter und Richtung der jungen Zellen in den Sehnenstümpfen sind wie in den bei-

den vorigen Fällen. Das Blutcoagulum hat sich bedeutend vermindert. Es sind zwar noch Massen roter Blutkörperchen und Fibrinkapseln in der Mitte der Narbe vorhanden, aber an den Stümpfen schwindet das Coagulum. In den Fibrinkapseln selbst sehen wir zerstreut Sternzellen und polymorphe Zellen ohne besondere Anordnung.

Die Seitenstränge haben sehr an Masse zugenommen. Sie bestehen aus dicht gedrängten, längs- und einander parallel gerichteten Spindelzellen mit jungen Fibrillenbündeln. Distalwärts und proximalwärts strahlende Bündel sind in etwas ausgeprägterer, jedoch keineswegs nennenswerter Form, vorhanden als in dem vorigen Fall. Zu so innigen Verflechtungen, wie bei den einfachen Tenotomienarben kommt es hier nicht, weil die einstrahlenden Bündel stets nur kurz sind.

Aus den Sehnenstümpfen wachsen jetzt auch in diesem Stadium Spindelzellstränge, wenn auch noch nicht in sehr bedeutendem Maße, gerade von oben nach unten resp. umgekehrt in die Zwischenmasse hinein.

Eine 15 Tage alte Narbe zeigt einen Fortschritt insofern, als hier schon bedeutendere Bündel längsgerichteter Spindelzellstränge aus den Sehnenstümpfen herauskommen.

In einer 20 Tage alten Narbe beträgt der Abstand der Stümpfe 13 mm. Die junge Narbe besteht jetzt gänzlich aus längsgerichteten parallel verlaufenden Spindelzellen mit jungen Fibrillenbündeln, die mit nur geringen Störungen eine völlig regelmäßige Struktur darstellen. Von Verflechtungen sieht man hier und da nur Andeutungen. Der ganze Befund ist, abgesehen von dem Abstand der Stümpfe, kaum von dem der 20 Tage alten einfachen Tenotomienarbe zu unterscheiden.

Das Auseinanderweichen der Stümpfe schreitet in der folgenden Zeit fort. Eine 60 Tage alte Narbe zeigte schließlich einen Abstand der Stümpfe von 37 mm. Der Querschnitt hingegen unterliegt einem starken Schwund. Er beträgt am 60. Tage nur noch den fünften Teil des Querschnitts einer ebenso alten einfachen Tenotomienarbe.

Epikrise.

Die Entwicklung einer Tenotomienarbe nach der Neurectomie des Nervus ischiadicus nimmt also einen Verlauf, der auf den ersten Blick dem der Entwicklung der einfachen Tenotomienarbe sehr ähn-

lich ist. Es bilden sich zuerst längsfaserige Seitenstränge; später ziehen auch von den Sehnenstümpfen selbst längsfaserige Bündel in die Zwischenmasse und schließlich entsteht so eine fast völlig parallelfaserige regelmäßige Narbe wie bei der einfachen Tenotomie.

Vergleicht man jedoch die einzelnen Entwicklungsstadien der Objekte bei den Versuchsreihen miteinander, so treten immerhin einige erhebliche Verschiedenheiten klar hervor. Am 5. Tage sind nach der einfachen Tenotomie bereits kräftige Seitenstränge mit zahlreichen jungen Spindelzellen gebildet. Bei gleichzeitiger Neurectomie aber haben sich zur selben Zeit die durchschnittenen Fascienstücke noch nicht zu Seitensträngen vereinigt. In der Fascie selbst finden sich zwar hier auch schon reichlich längsgerichtete Spindelzellen, aber die von der Fascie her gegen das Coagulum zu dringenden Bindegewebszellen, also die Zellen in der Zwischenmasse, zeigen Sternform, polymorphen Charakter, hier und da auch Spindelform, doch ohne jede bestimmte Anordnung. Die Zellmasse erscheint hier auch bedeutend geringer.

Bei einer 8 Tage alten einfachen Tenotomienarbe finden wir bereits ein höchst kompliziertes, auf einen bestimmten Typus zurückführbares Geflecht von proximal- und distalwärts in die Zwischenmasse einstrahlenden jungen Bündeln. In der entsprechenden Narbe nach Ischiadicusneurectomie sind von diesen Systemen nur Spuren vorhanden und sie gewinnen auch in den späteren Stadien nie annähernd die Ausbildung wie bei der einfachen Tenotomienarbe.

Auch die Bildung jungen Gewebes von den Sehnenstümpfen selbst und damit die gänzliche Erfüllung der Zwischenmasse mit Zellen tritt nach Neurectomie etwas später auf als bei der einfachen Tenotomie.

Eine 10 Tage alte einfache Tenotomienarbe ist schon völlig celluliert und aus den Sehnenstümpfen kommen kräftige Bündel her. In einer 10 Tage alten Narbe nach Neurectomie ist noch ein bedeutender Rest des Coagulums vorhanden, und von den Sehnenstümpfen her beginnt eben erst das Einwachsen von Zellen.

Am 20. Tage hingegen scheint, abgesehen von dem Abstand der Stümpfe, eine völlige Übereinstimmung des Befundes vorzuliegen, sowohl was die Menge der jungen Zellen und Fibrillenmasse, als auch was ihre parallelfaserige Struktur betrifft. Erst in der weiteren Entwicklung macht sich wieder ein bedeutsamer Unterschied geltend. Die einfache Tenotomienarbe wird anscheinend nicht kürzer und nicht länger. Nach Neurectomie tritt eine bedeutende Verlängerung ein, ferner ein starker Schwund im Querschnitt.

Wir kommen nun zu der Frage, welcher Art die durch die Neurectomie geschaffenen Bedingungen sind. Man hat sich in jüngster Zeit mehrfach mit dem Einfluß der Nerven auf die Regeneration beschäftigt und ist noch zu keinem abschließenden Urteil gekommen. Nach den jüngsten Untersuchungen von BARFURTHS Schüler, RUBIN, der die Regeneration der Extremitäten nach Nervendurchschneidung bei Amphibien studierte, zeigt sich bei dem im übrigen bedeutsam beeinflussten Regenerationsprozeß die Neubildung von Bindegewebe kaum beeinträchtigt ('03).

Aus dem Umstand, daß bei unsern Versuchen am 20. Tage nach Tenotomie mit Neurectomie anscheinend ebenso reichliche Zell- und Fibrillenmassen den Defekt ausfüllen wie am 20. Tage nach der einfachen Tenotomie, geht wohl mit Wahrscheinlichkeit hervor, daß ein trophischer Einfluß von Nerven auf die Produktion des jungen Keimgewebes hier nicht existiert. Die Produktion ist ja allerdings um einige Tage verzögert, aber wenn die Nerven einen trophischen Einfluß auf sie ausübten, so wäre nicht zu verstehen, warum sie dann überhaupt unabgeschwächt vor sich geht, zu einer Zeit, wo von einer Regeneration der Nerven noch nicht die Rede sein kann.

Mit der Durchschneidung des Ischiadicus haben wir jedoch eine Reihe sympathischer Fasern durchschnitten und damit vasomotorische Störungen gesetzt. Ferner haben wir die an der Bildung der Achillessehne beteiligten Muskeln und die Fascienspanner gelähmt. Die Wirkung der Extensorenmuskulatur auf den Fuß haben wir durch den Gipsverband aufgehoben. Es wurde also durch die Neurectomie eine sehr wesentliche funktionelle Störung bewirkt. An den Verschiedenheiten der 5 Tage alten Tenotomienarbe nach Neurectomie von der 5 Tage alten einfachen Tenotomienarbe könnten also sowohl die vasomotorischen als auch die funktionellen Störungen oder beide vereint schuld sein, und es läßt sich wohl nicht für alle Erscheinungen eine sichere Entscheidung fällen. So ist es sehr leicht möglich, daß die relativ geringe Bindegewebszellenproliferation und die verzögerte Resorption des Blutergusses in der 5 Tage alten Narbe auf Kosten der vasomotorischen Störung zu setzen ist.

Betreffs der funktionellen Beeinträchtigung sollte man auf den ersten Blick meinen, daß es sich um völlige Aufhebung des Zuges handelt. Indessen wenn der Zug an den Sehnenstümpfen und Fascienstücken gleich Null wäre, die Muskeln völlig erschlafft wären, dann müßten sich, da der Fuß ja gestreckt ist, die Stümpfe fast berühren.

Das tun sie aber nicht, sondern sie stehen bei der 5 Tage alten Narbe nach Neurectomie in einer Entfernung von 5 mm. Es muß also eine leichte Schrumpfung der entspannten und des Nerveinflusses beraubten Muskulatur jetzt schon eingetreten sein. Auch von dem unteren Fascienstück, das nicht mehr im Zusammenhang mit dem Fascienspanner steht, müssen wir eine leichte Verkürzung annehmen; denn es ist nach ROUX anzunehmen, daß früher gespannt gewesene Bindegewebsfasern so lange schrumpfen, bis sie ihre Spannung wieder erreicht haben.

Der Zug ist daher selbst am 5. Tage nicht völlig aufgehoben; dem entspricht die Bildung von Spindelzellen, die den Fascienfasern gleichgerichtet sind¹⁾. Der Zug ist jedoch sehr stark abgeschwächt.

Betrachten wir nun weiter den Befund der 5 Tage alten Sehnenarbe nach Neurectomie, so finden wir, daß, wie schon erwähnt, an den Stellen, wo wir einen gelinden Zug als wirkend anzunehmen haben, entlang den Fasern der Fascie ihm entsprechend gerichtete Spindelzellen sich finden, daß aber an denjenigen Stellen noch junge polymorphe und sternförmige Zellen und einige Spindelzellen ohne regelmäßige Anordnung liegen, wohin der noch schwache Zug nicht zu dringen vermag, d. i. in der Zwischenmasse an dem Blutcoagulum. Wir können hieraus im Vergleich mit dem Befund der gleich alten einfachen Tenotomienarbe mit einiger Wahrscheinlichkeit schließen, daß bei der einfachen Tenotomie der Zug die Umwandlung von anfangs polymorphen Zellen in bestimmt gerichtete Spindelzellen bewirkt.

In der nächsten Zeit nimmt die Schrumpfung der Muskeln und des Fascienbindegewebes immer mehr und mehr zu. Das spricht sich einmal in dem stetig wachsenden Abstand der Sehnenstümpfe aus, sondern auch in den Maßen der Muskel- und Sehnenfasern selbst. Bei den Fällen vom 5.—10. Tage wurden Messungen der Muskelfasern nicht vorgenommen, weil die Aufmerksamkeit auf diesen Punkt bei der Tötung der betreffenden Tiere noch nicht gerichtet war. Bei dem am 15. Tage abgeschlossenen Experiment ergaben sich folgende Maße: Medialer Gastrocnemius vom Ursprung einer Sehnenfaser am Femur bis zum Übergang der entsprechenden Muskelfaser in die Sehnenfaser

¹⁾ Die Tatsache, daß die jungen Zellen zwischen den Fascienfasern Spindelform annehmen und sich mit diesen ausrichten, ist auch noch einer andern Deutung zugänglich: Die Zellen müssen sich in ihrer Form dem ihnen zu Gebote stehenden Raume anpassen.

der Achillessehne auf der operierten Seite 45 mm, auf der gesunden Seite in entspanntem Zustande 57 mm. Es ergibt sich also eine Schrumpfung von 12 mm.

Bei dem am 20. Tage abgeschlossenen Experiment ergab sich, in derselben Weise gemessen, ebenfalls ein Unterschied von 12 mm, am 60. Tage ein solcher von 16 mm. Diese Zahlen geben ungefähr eine Anschauung, wie stark der Schrumpfungszug allmählich wird.

Daß der Zug trotzdem an Intensität gewaltig hinter dem normalen intermittierenden Zug zurückbleibt, ist klar. Er pflanzt sich in denselben Richtungen fort, wie der Zug bei der Lokomotion. Denn es schrumpfen ja alle die Teile, die sich auch bei der Bewegung nach der einfachen Tenotomie anspannen. Die Systeme der proximalwärts und distalwärts strahlenden Bündel bilden sich in der Tat entsprechend den erschlossenen Zuglinien aus. Sie sind aber bedeutend weniger ausgeprägt, als in der normalen Tenotomienarbe, die sich unter einer mächtigen funktionellen Beanspruchung entwickelt. Auch dies spricht wieder für die Bedeutung des Zuges.

Ob die Verzögerung des Auswachsens von jungem Gewebe aus den Sehnenstümpfen selbst auf Rechnung der vasomotorischen oder der funktionellen Störungen zu setzen ist, konnte nicht entschieden werden.

Der am 60. Tage beobachteten Verlängerung der Narbe darf eine besondere Bedeutung nicht beigelegt werden. Es ist nicht etwa eine Überdehnung der Narbe, es ist vielmehr wohl nur eine scheinbare Verlängerung der Narbe, d. h. des neugebildeten Gewebes. Vom 20.—60. Tage beträgt die Verkürzung der Ursprungssehne plus Muskelfaser nur 4 mm, die scheinbare Verlängerung der Narbe aber 24 mm! Die starke Verlängerung kann also nicht auf Kosten des Schrumpfungszuges gesetzt werden, sondern sie wird wohl nur durch eine Atrophie oder Degeneration der Sehnenstumpfenden vorgetäuscht; die Stumpfenden verlieren wohl auf weitere Strecken ihren sehnigen Glanz und werden dann bei der Messung fälschlich zu dem Narbengewebe selbst gerechnet. Doch wurde dieser Punkt nicht genauer untersucht.

Sehr interessant ist aber die starke Atrophie im Querschnitt. Sie zeigt uns, daß der konstant wirkende Schrumpfungszug nur eine sehr geringe trophische Bedeutung hat und illustriert uns zugleich, daß das Erhaltenbleiben der Querschnittsgröße bei der einfachen Tenotomienarbe dem kräftigen, bei der Lokomotion ausgeübten intermittierenden Zug zuzuschreiben ist.

III. Tenotomie nach Muskelexstirpation.

Versuchsanordnung.

In Bauchlage des Tieres Längsschnitt über Ober- und Unterschenkel. Darauf dorsale Spaltung der starken Unterschenkelfascie in der Längsrichtung, und zwar von der Kniekehle bis zum Anfang der Achillessehne, aber nicht weiter. Danach wird die gesamte in die Achillessehne übergehende Muskulatur, die beiden Gastrocnemiusköpfe, die *Musculi flexor digit. subl. (Plantaris)* und *Soleus* bei ihrem Übergang in die Achillessehne auf der Hohlsonde quer durchtrennt (wobei die Hauptstämme des *Nervus tibialis* und *peroneus* geschont wurden), und dann nahe an ihrem Ursprung abgeschnitten, also exstirpiert. Die *Musculi biceps* und *semitendinosus*, deren Sehnen sich mit der Unterschenkelfascie verweben, werden in derselben Höhe wie die vier exstirpierten Muskeln durchschnitten, nach oben hin bis zur Mitte des Oberschenkels umgeschlagen und dort abgeschnitten.

So bleibt nur noch die Achillessehne stehen, an deren proximalem Ende ein kleiner Rest von Muskelfasern ansitzt. Diese so isolierte Achillessehne wurde nun in derselben Weise tenotomiert, wie wir es oben bei der einfachen Tenotomie beschrieben haben. Der obere Sehnenstumpf wird in seiner Lage durch den Rest der Unterschenkelfascie gehalten, die ja bei der oben erwähnten Längsspaltung der Fascie im Bereich der Achillessehne geschont wurde, und sich wie ein ringförmiges Band um den oberen Stumpf der tenotomierten Achillessehne herumlegt und seine Dislokation verhindert.

Die Operation schließt mit Hautnaht. Das Bein wird endlich mit gestrecktem Fuß in einen Gipsverband gelegt, der bis zum Knie heraufreicht.

Die Tiere wurden am 10., 15., 16., 20., 25. und 30. Tage nach der Operation getötet, die beiden Sehnenstümpfe im Zusammenhang mit der sie verbindenden Narbe und der bedeckenden Haut herausgelöst, auf ein Korkplättchen aufgesteckt und in Formol fixiert. Es sind einige Fälle vorgekommen, bei denen eine Infektion der großen Wundhöhle in der Kniekehle eingetreten war. Diese Fälle zeigten keine Verbindung der Sehnenstümpfe durch ein junges Gewebe und kamen nicht zur mikroskopischen Untersuchung.

Auf Fig. 5 ist ein Schnitt aus einer

10 Tage alten Narbe

dargestellt. Die Sehnenstümpfe stehen ziemlich nahe beieinander, in einer Entfernung von 2 mm. Sonst zeigen sie dasselbe Aussehen

wie bei der gewöhnlichen Tenotomie. Sowohl am oberen als am unteren Stumpf beobachtet man lebhaftes Zellproliferation. Der größte Teil dieser jungen Zellen zeigt einen spindeligen Kern, der der Richtung der Sehnenfaser parallel gerichtet ist und wohl Spindelzellen angehört. In den Interstitien zwischen den Sehnenfasern sind außerdem polymorphe Zellen und Leukocyten vorhanden, die aber gegenüber den vielen untereinander und den Sehnenfasern parallel gestellten Kernen verschwinden.

Die Fascie ist ebenfalls durch viele junge Zellen aufgelockert. Ihre faserige Struktur ist durch den Bluterguß streckenweit zerstört, aber zu beiden Seiten der Sehnenstümpfe wohl erkennbar. Auf dem abgebildeten Schnitt sind die Längsfasern der Fascie (bei *l.Ff.*₁₋₄) deutlich erkennbar. Im Bereich dieser Längsfasern zeigen die jungen Zellen spindelige Gestalt und sind mit ihrer Längsachse den Längsfasern gleich gerichtet. Da aber, wo die faserige Struktur zerstört ist, finden wir bei Z_1 und Z_2 polymorphe und sternförmige Zellen ohne bestimmte Anordnung.

Die Zwischenmasse besteht zum größten Teil aus noch nicht resorbiertem Blut, aus blassen roten Blutkörperchen (bei *r.Blk.*) und feinen Fibringerinnseln (bei *Fbr.*). Zum andern kleineren Teile setzt sie sich aus jungen undifferenzierten polymorphen Bindegewebszellen, unter denen sich auch Leukocyten finden, zusammen. Dieses junge Keimgewebe wuchert aus der Fascie und aus den Sehnenstümpfen hervor und dringt (bei *X*) gegen das Blutcoagulum vor.

An einer Stelle auf der medialen Seite ist eine kleine Gruppe von bestimmt gerichteten Spindelzellen zu bemerken. Sie liegen quer zur Richtung der Sehnenfasern und schließen sich an einige alte, wahrscheinlich aus der Fascie (oder dem subcutanen Gewebe) in die Zwischenmasse in querer Richtung verlagerte Bindegewebsfasern (*verl.F.*) an.

Eine zweite 10 Tage alte Narbe nach Muskelexstirpation ergibt im wesentlichen dasselbe Resultat. Die Sehnenstümpfe zeigen dasselbe Bild. Die Fascie und die Zwischenmasse sind erfüllt von dichten Gerinnselkapseln, Blutkörperchen und jungen polymorphen undifferenzierten Zellen.

15 Tage alte Narbe.

Betrachten wir die Fig. 6, die einen Schnitt aus einer 15 Tage alten Narbe darstellt. Die Sehnenstümpfe stehen in einer Entfernung von 6 mm voneinander. Sie proliferieren lebhaft, und die jungen

Zellkerne sind wieder zum größten Teil spindlig und den Sehnenfasern parallel gerichtet. In den Interstitien zwischen den Sehnenfasern finden sich daneben auch polymorphe Zellen.

Die Fascie ist auf beiden Seiten hin eine lange Strecke unterbrochen, es legen sich hier größere Faserbündel der Subcutis an und strecken sich zum Teil in die Zwischenmasse hinein. Die Fascie selbst zeigt ziemlich bedeutende Zellneubildung. Diese jungen Zellen zwischen den alten Fasern der Fascie sind spindelförmig und liegen mit ihren Längsachsen den Fasern parallel. Die Zwischenmasse besteht in der oberen Hälfte aus einigen gröberen Fibringerinnenseln (bei *Fbr.*), einem Haufen von Blutkörperchen (bei *r.Blk.*) und einer von Kapillaren durchzogenen lockeren Masse junger, zum Teil polymorpher, zum Teil sternförmiger Zellen (bei Z_{1-3}), die ohne bestimmte Anordnung durcheinander liegen und den Eindruck eines reticulären cytogenen Zwischengewebes erwecken. Jedoch ist ein kleiner Strang längsgerichteter Spindelzellen mit jungen Fibrillen zu erkennen (bei $+$). Er entspringt aus dem oberen Sehnenstumpf, zieht in gerader Richtung ein kleines Stück nach unten, um sich sehr bald zu verlieren. Auch noch auf andern Schnitten finden sich hier und da kleine junge Fibrillenbündel, in der einen oder andern Richtung aus der Fascie in die Narbe einstrahlen.

Ob die sternförmigen Zellen in oder an ihren Fortsätzen Fibrillen gebildet haben, läßt sich bei den relativ dicken Schnitten schwer entscheiden, weil feine Fibrinfäserchen sich überall durch die Zellenmasse ausbreiten. Doch läßt sich das wohl aus den Untersuchungen von ZIEGLER (31), MARCHAND (11, 12) und MAXIMOW (15) schließen, die Granulationsgewebe in Spalträumen von Fremdkörpern einwachsen ließen und die Abscheidung von Fibrillen im Zellprotoplasma schon in frühen Stadien beobachteten. Bindegewebsfasern, d. h. deutlich über eine längere Strecke zu verfolgende, von zugehörigen Zellen abgesonderte Fibrillenbündel sind bis auf den erwähnten kleinen Strang nicht vorhanden. In der unteren Hälfte sehen wir vorwiegend alte Bindegewebsfasern ohne bestimmte Anordnung, die sich aus der Subcutis, vielleicht zum Teil auch aus der Fascie hier hineingelegt haben. In den Maschen dieser Fasermasse finden wir reichlich junge polymorphe Zellen.

20 Tage alte Narbe.

Betrachten wir jetzt den in Fig. 7 dargestellten Schnitt einer 20 Tage alten Narbe. Die Sehnenstümpfe stehen in einer Entfernung von etwas über 3 mm und bieten im übrigen denselben Anblick, wie

alle bisher betrachteten Sehnenstümpfe. Die Zellen sind stark vermehrt, der größte Teil der neuen Zellen hat einen spindligen Kern, der mit seiner Längsachse den Sehnenfasern parallel liegt.

Die Fascie zeigt eine bedeutende Unterbrechung, die durch das angelagerte subcutane Bindegewebe verdeckt wird. Die Fascie selbst ist in ihrer längsfaserigen Struktur zu seiten der Sehnenstümpfe deutlich erkennbar; am unteren Stumpfe, an der lateralen Seite, hat sie sich in die Zwischenmasse hineingelegt (bei *verl.F.*) und stößt mit den Enden ihrer Fasern an ein Fibringerinnsel (*Fbr.*). Die Zellen der Fascie sind stark vermehrt. Im wesentlichen sind es Spindelzellen, die den Bindegewebsfasern parallel gerichtet sind.

In der Zwischenmasse finden wir einige Fibringerinnsel (bei *Fbr.*), alte Bindegewebsfasern aus der Fascie und dem subcutanen Gewebe hier hinein verlagert. In der Hauptsache aber besteht sie aus polymorphen und Sternzellen, ohne typische Anordnung (bei *Z.₁₋₃*). Bezüglich der Fibrillenbildung in dem Protoplasma der Sternzellen gilt das gleiche wie in dem vorigen Fall. Junge geordnete Fibrillenbündel, also Bindegewebsfasern, sind nur in einigen wenigen Stellen vorhanden. So sehen wir (bei *+*) vom unteren Stumpf ein kleines und kurzes Bündel von Spindelzellen mit jungen Fibrillen herkommen und sich an die einstrahlenden Fascienfasern anlegen. Auch auf den andern Schnitten sehen wir gelegentlich ein Bündel von jungen Fibrillen ausgebildet.

Es sei schließlich noch einer

25 Tage alten Narbe

gedacht. Sie gibt im großen und ganzen dieselben Resultate wie die beiden oben geschilderten. Nur sind von dem Blutcoagulum noch bedeutendere Residuen in Form von Fibrinkapseln vorhanden, die zusammen mit alten aus der Subcutis und aus der Fascie verlagerten verwirrten Bindegewebsfasern einen wesentlichen Bestandteil der Zwischenmasse darstellen. Die wenigen jungen in die Zwischenmasse eingedrungenen Bindegewebszellen sind polymorph oder sternförmig ohne typische Anordnung. Auf einigen Schnitten nur strahlen kurze Bündel von Spindelzellen in der Fortsetzung von Fascien- oder Subcutisfasern, die mit einem Ende in die Zwischenmasse hineinragen, in die Zwischenmasse ein.

30 Tage alte Narbe.

Auf Fig. 8 ist ein Schnitt aus einer 30 Tage alten Narbe dargestellt. Die Stümpfe stehen in einer Entfernung von etwa $1\frac{1}{2}$ mm

und zeigen im übrigen die bekannten Charaktere. Die mit Spindeln erfüllte Fascie strahlt von unten nach oben in die Zwischenmasse ein. Die Zwischenmasse selbst besteht aus zellreichen, jungen Bindegewebsfasern, die sich in drei gröberen Strängen durcheinander flechten. Strang 1 stammt aus dem lateralen Fascienteil des oberen Stumpfes und diesem selbst. Er zieht gerade von oben nach unten. Strang 2 kommt aus den stärker retrahierten lateralen Sehnenfasern des unteren Stumpfes und läuft bogenförmig medialwärts um den Rest des unteren Stumpfes und verflechtet sich mit Strang 1. Strang 3 hat denselben Ursprung wie Strang 2, strahlt aber nach der andern Seite schräg gegen die Subcutis aus.

Auf Fig. 9 ist ein Schnitt aus einer andern ebenso alten Narbe abgebildet. Wir haben im wesentlichen denselben Befund. Die Narbe besteht aus jungen zellreichen Bindegewebsfasern, die man wieder in mehrere gröbere, unregelmäßig verlaufende Stränge zerlegen kann. Strang 1 entspringt an der lateralen Seite des oberen Stumpfes, zieht zum Teil bogenförmig medialwärts um den oberen Stumpf herum, strahlt zum andern Teil in den Strang 2 hinein; dieser verläuft gerade von oben nach unten. Er ist nicht bis zu seinem Ursprung verfolgbar, weil er nicht in ganzer Länge getroffen ist. Auf andern Schnitten sieht man, daß er vom unteren Stumpfe kommt. Strang 3 stammt aus dem lateralen unteren Fascienstück und breitet sich fächerartig gegen Strang 1 aus. Strang 4 liegt ähnlich auf der andern Seite, kommt aus dem medialen unteren Fascienstück und verflechtet sich mit Strang 2. Schließlich ist als Strang 5 ein kleines Bündel zu erwähnen, das quer an dem unteren Stumpfe hinläuft.

Es sind jetzt noch zwei Fälle, eine 16 und eine 20 Tage alte Narbe zu erwähnen, die in ihrem Bau mehr den beiden letztbeschriebenen 30 Tage alten Objekten ähneln, als den vorhin beschriebenen drei Fällen vom 15.—25. Tage. Sie zeigen eine bedeutendere Entwicklung von jungen Bindegewebsfasern; das 16 Tage alte Objekt enthält daneben noch größere Mengen polymorpher Zellen, das 20 Tage alte jedoch besteht fast ganz aus jungen Bindegewebsfasern. Diese neu gebildeten Bindegewebsfasern zeigen keine typische Anordnung, sondern verflechten sich in regelloser Weise miteinander. Die 20 Tage alte Narbe zeichnet sich vor allen andern Narben nach Muskelexstirpation durch den weiten Abstand der Sehnenstümpfe aus, der 9 mm beträgt. Der weiteste Abstand aller übrigen Narben dieser Versuchsreihe beträgt nur 6 mm. Die 16 Tage alte Narbe weist einen Abstand der Stümpfe von 6 mm auf.

Epikrise.

Die Entwicklung der Tenotomienarbe nach Muskelexstirpation läßt sich nach den beschriebenen Fällen folgendermaßen zusammenfassen:

Das Blutcoagulum, das den Zwischenraum zwischen den beiden wenig auseinander gewichenen Stümpfen ausfüllt, weicht sehr langsam vor einer Masse junger Bindegewebszellen zurück, die sogar am 10. Tage fast ganz aus völlig undifferenzierten polymorphen (s. Anm. S. 203) Zellen besteht. (Nur an einer Stelle, wo Bindegewebsfasern aus der Umgebung in die Zwischenmasse hineinragen, fanden sich einige bestimmt gerichtete Spindelzellen.)

In den folgenden 10 Tagen schwindet der Bluterguß meist erheblich, die jungen Zellen, die in der Zwischenmasse angetroffen werden, sind polymorphe Zellen und Sternzellen, die ihre Fortsätze ohne eine bestimmte Anordnung einander entgegenstrecken. Daneben bilden sich kleine Bündel von Spindelzellen und Fibrillen aus.

Gewöhnlich gegen Ende des Monats differenzieren sich die jungen Zellen weiter und bilden ein unregelmäßiges Geflecht von Bindegewebsfasern aus. Doch wurden zwei Fälle beobachtet, bei welchen diese Differenzierung schon am 16. resp. 20. Tage eingetreten war.

Schon diese kurze Zusammenfassung macht den Unterschied zwischen der Ausbildung der einfachen Tenotomienarbe und der Tenotomienarbe nach Muskelexstirpation einigermaßen klar. Es ist aber für eine deutlichere Einsicht notwendig, die einzelnen gleichaltrigen Stadien nebeneinander zu halten und zu vergleichen.

Eine 10 Tage alte Tenotomienarbe nach Muskelexstirpation zeigt danach einen wesentlich andern Zustand als eine 10 Tage alte Narbe nach einfacher Tenotomie.

- 1) Der Abstand der Stümpfe ist um ein Vielfaches geringer.
- 2) Der Bluterguß ist hier noch zum großen Teile nicht resorbiert, während die einfache gleichaltrige Tenotomienarbe nur noch geringe Reste des Coagulums enthält.
- 3) Die jungen Bindegewebszellen des neu entstandenen Keimgewebes sind hier in der Zwischenmasse sternförmig oder polymorph, also wenig differenziert, und zeigen keine Ausscheidung von Fibrillenbündeln. Sie bieten (bis auf die Ausnahme einer kleinen Zellengruppe) keine erkennbare Regelmäßigkeit der Anordnung dar. In der gleichaltrigen einfachen Sehnennarbe finden wir hingegen die ganze Zwischenmasse

erfüllt mit typischen Spindelzellen, die im Differenzierungsprozeß schon bis zur Bildung von Bindegewebsfibrillen fortgeschritten sind. Ferner sind diese Spindelzellen in typischer Weise gelagert.

In einem Punkte zeigt die 10 Tage alte Narbe nach Muskel-exstirpation Ähnlichkeit mit der einfachen Tenotomienarbe. Überall, wo junge Zellen zwischen alten Bindegewebsfasern entstehen, also in den Sehnenstümpfen und zwischen den Fascienfasern, nehmen sie die Gestalt von Spindelzellen an und richten sich mit diesen Fasern aus.

Sowohl nach Differenzierungsgrad als auch Anordnung der einzelnen Elemente zeigt die 10 Tage alte Narbe nach Muskelexstirpation eine ganz niedrige, die gleichalte einfache Sehnennarbe hingegen eine sehr hohe Entwicklungsstufe.

Selbst eine 3 Tage alte einfache Sehnennarbe zeigt einen bedeutenderen Ausbildungsgrad, als die 10 Tage alte Narbe nach Muskelexstirpation, wie ein Blick auf die entsprechenden Figuren zeigt.

Vergleichen wir die 10 Tage alte Narbe nach Muskelexstirpation mit der gleich alten und der 8 Tage alten Narbe nach Neur-ectomie, so ist auch hier ein ganz bedeutendes Zurückstehen der ersteren gegen die letzteren in der Differenzierung zu konstatieren. Aber die 5 Tage alte Narbe nach Neurectomie zeigt eine in den wesentlichen Punkten gleiche Stufe wie die 10 Tage alte Sehnennarbe nach Muskelexstirpation. Hier wie da zeigen die jungen Bindegewebszellen in der Zwischenmasse einen noch undifferenzierten und ungeordneten Zustand, die Zellen zwischen den Fasern und Sehnenfasern haben Spindelform und eine parallele Anordnung.

In drei Fällen vom 15.—25. Tage fanden wir locker gefügte junge Bindegewebszellen von polymorphem und sternförmigem Charakter ohne besondere Anordnung, und es erschien wahrscheinlich, daß sie in ihrem Protoplasma Fibrillen abgeschieden haben. Daneben fanden sich ganz vereinzelt junge Spindelzell- und Fibrillenbündel aus den Sehnenstümpfen oder der Fascie in die Zwischenmasse einstrahlen.

Die gleichalten einfachen Tenotomienarben hingegen zeigten eine dicht gefügte parallelfaserige, regelmäßige Struktur von jungen Bindegewebsfasern ohne nennenswerte Reste des Blutergusses. Es ist also bei den drei Tenotomienarben nach

Muskelexstirpation ein bedeutendes Zurückstehen in der Quantität des jungen Gewebes, in dem histologischen Differenzierungsgrade und der Anordnung der Elemente gegen die einfache Tenotomienarbe festzustellen.

Die 30 Tage alte Tenotomienarbe nach Muskelexstirpation zeigt ein unregelmäßiges Geflecht von Bindegewebsfasern, die 30 Tage alte einfache Tenotomienarbe eine parallelfaserige Struktur, die der der Sehne gleicht.

Es ist jetzt zu erörtern, welche Bedingungen mit der Muskelexstirpation geschaffen werden. Man könnte meinen, daß eine wesentliche Ernährungsstörung besonders in dem oberen isolierten Stumpfe veranlaßt wird. Es ist dem indessen nicht so. Offenbar übernehmen die im ventralen Fascienblatt liegenden großen Gefäße die Versorgung der Sehnenstümpfe und Fascienstücke mit jungen Blutgefäßen sehr bald nach der Operation, denn die Vermehrung der Zellen in den Sehnenstümpfen erscheint recht lebhaft. Wäre eine tiefer greifende Ernährungsstörung eingetreten, so würde wohl keine Zellvermehrung eintreten, vielmehr würden die Sehnenstümpfe degenerieren. In den Versuchen, die für das folgende Kapitel angestellt und bei denen ebenfalls Muskelexstirpationen vorgenommen wurden, trat allerdings einmal ein Degenerationsherd in dem unteren Stumpf auf. Die Kerne färbten sich im Bereiche dieses Herdes nicht mehr, die Faserung wurde undeutlich und die Grundsubstanz färbte sich mit Eosin tief rot. Das ist jedoch nur eine Ausnahme, die zudem bei den vorhin geschilderten Fällen gar nicht vorkam.

Wesentliche vasomotorische Störungen sind nicht anzunehmen, denn die Hauptnervenstämme blieben erhalten.

Mit der Muskelexstirpation und dem Gipsverband in Streckstellung des Fußes wurden natürlich die funktionellen Bedingungen ganz erheblich verändert. Die Annahme liegt sehr nahe, daß der Zug überhaupt gänzlich aufgehoben sei. In der Tat ist der Zug in den ersten 10 Tagen fast völlig aufgehoben; jedoch ist wiederum an den Zug zu denken, der durch die Schrumpfung des entspannten Bindegewebes der Fascie und der Sehnenstümpfe entsteht. Dieser Schrumpfungszug beginnt vermutlich leise und verstärkt sich erst allmählich mehr und mehr in den Richtungen, in denen die Bindegewebsfasern liegen. In der Tat finden wir in der Richtung dieser gelinden Zugkraft zwischen den Fasern der Fascie spindelförmige, den Fasern gleichgerichtete Zellen, in der Zwischenmasse des Defekts jedoch, in welche sich jener schwache Zug nicht

fortpflanzen kann, polymorphe Zellen. Nur an einer Stelle, wo einige alte Bindegewebsfasern der Fascie quer in die Zwischenmasse hineinragen und ebenfalls einen Schrumpfungszug ausüben müssen, strahlen einige in derselben Richtung angeordnete Spindelzellen in die Zwischenmasse ein. Auch die regelmäßige Anordnung der jungen Zellen zwischen den Sehnenfasern könnte man zu dem beginnenden Schrumpfungszug in Beziehung bringen. Aber hier liegt es wohl näher daran zu denken, daß die jungen Zellen sich den engen Spalträumen zwischen den Sehnenfasern in ihrer Form anpassen müssen. (Vielleicht gilt dieser Grund auch für die Richtung der Spindelzellen zwischen den Fascienfasern.)

Da nun unter den normalen Zugverhältnissen bei der einfachen Tenotomie am 10. Tage schon reichliche Mengen Fibrillenbündel gebildet und nach einem Typus geordnet sind, hier jedoch bei fast aufgehobenem Zug ohne wesentliche vasomotorische oder Ernährungsstörungen die Zellen der Zwischenmasse undifferenziert und ungeordnet sind, können wir wohl schließen, daß der mechanische Zug nicht nur einen richtenden, sondern auch einen bedeutsamen Einfluß auf die Differenzierung der Bindegewebszellen ausübt. Es soll damit nicht behauptet werden, daß ohne Zug eine Bindegewebszelle überhaupt keine Fibrillen abscheiden kann. Hiergegen sprechen die Versuche von ZIEGLER ('76), MARCHAND ('87, '88), MAXIMOW (02), die sahen, daß in den Spalträumen von Fremdkörpern, also fern von mechanischer Beanspruchung, die eingewanderten Bindegewebszellen Fibrillen abscheiden. Die junge Bindegewebszelle ist fähig zur Selbstdifferenzierung. Da aber einerseits unter Wirkung eines kräftigen Zuges eine Masse von Fibrillenbündeln gebildet und geordnet wird, während andererseits an derselben Stelle im Organismus zu derselben Zeit bei bedeutender Abschwächung des Zuges die jungen Bindegewebszellen noch völlig undifferenziert sind, ist es wohl erlaubt zu sagen: mechanischer Zug befördert die Differenzierung.

Auch die Masse der produzierten Zellen ist geringer als bei der gleich alten einfachen Tenotomienarbe. Das scheint die Bedeutung des Zuges noch nach einer andern Richtung zu beleuchten und darauf hinzudeuten, daß der Zug auch für den Grad der Proliferation nicht ohne Belang sei, wie das BORST ('03) vermutet hat. Jedoch, wenn wir auch oben zurückweisen konnten, daß wesentliche Ernährungsstörungen durch die Operation stattgefunden haben, so ist doch daran zu denken, daß vielleicht der Blutstrom in den Gefäßen nicht so

lebhaft ist, wie ohne Exstirpation der gesamten an die Achillessehne und die Fascie ansetzenden Muskulatur. Darum läßt sich aus diesem Versuch nicht mit Sicherheit auf eine Bedeutung des Zuges für die Proliferationsgröße schließen.

Die drei Fälle vom 15., 20. und 25. Tage, die ebenfalls noch einen wenig differenzierten Zustand der jungen Zellen in der Narbe aufweisen, lehren uns Ähnliches. In dem vorigen, 10 Tage alten Falle konnten wir mit Bestimmtheit die Abwesenheit von jungen Fibrillen feststellen. Hier erscheinen junge Fibrillenbündel in ganz spärlicher Weise. Zum größten Teil haben wir es aber mit sternförmigen Fibroblasten zu tun, die (wahrscheinlich) nur in ihrem Protoplasma Fibrillen enthalten.

Diese Sternzellen stellen, trotz der Fibrillen in ihrem Protoplasma, niedriger differenzierte Bindegewebszellen dar, als die Spindelzellen, welche, zusammenwirkend mit andern Spindelzellen, lange, von dem Protoplasma der Zelle sich isolierende Fibrillenbündel gebildet haben. Insofern können wir also von den meisten Zellen dieser Narbe sagen, sie seien weniger differenziert als die Zellen der gleich alten einfachen Tenotomienarbe. Wir dürfen also auch aus diesen Versuchen schließen, daß der mechanische Zug die Differenzierung der Bindegewebszellen, die Bildung des faserigen Bindegewebes begünstigt.

Wie in den Fällen vom 10. Tage sind auch hier die gebildeten Zellenmengen relativ gering, und doch können wir, wie oben, hieraus nicht mit Sicherheit schließen, daß der Zug die Proliferation selbst begünstige.

Die beiden andern Fälle vom 16. und 20. Tage mit der frühzeitigen Bildung von Bindegewebsfasern können die bisher gewonnenen Schlüsse nicht ungültig machen. Es ist klar, daß der Schrumpfungszug in den verschiedenen Fällen verschieden stark und zu ungleichen Zeiten eintreten kann, weil wir die Versuchsbedingungen nicht bis in die Einzelheiten in der Hand haben. Daß hier wirklich ein stärkerer Schrumpfungszug frühzeitig eingetreten ist, dafür spricht vielleicht, daß in der 20 Tage alten Narbe die Stümpfe so ungewöhnlich weit (9 mm) auseinandergewichen sind. Dieses starke Auseinanderweichen kann ja wohl kaum auf etwas anderm als Schrumpfung beruhen.

IV. Tenotomie mit Muskelexstirpation und quерem Zug an einem in die Wunde eingeheilten Faden

Versuchsanordnung.

Die Aufgabe, die mit dieser Versuchsreihe zu erledigen war, bestand darin, einen Zug auf das junge, nach Tenotomie entstehende Bindegewebe auszuüben, der quer zu dem nach einfacher Tenotomie wirkenden Muskelzug gerichtet ist.

Zu diesem Zweck wurde anfangs folgende Methode angewendet: Zunächst wurde die Muskelexstirpation und die Tenotomie ausgeführt; dann wurde ein Faden quer zur Achse des Unterschenkels in die Sehnenwunde so eingeführt, daß das eine Ende etwa mitten zwischen den beiden Stümpfen zu liegen kam, während das andre beträchtlich aus derselben herausragte. Die Haut wurde dann mit Vorsicht genäht, so daß das eine Ende des eingeführten Fadens an seiner Stelle liegen blieb, während das andre Ende frei aus der Hautnaht hervorragte. Ein darüber gelegter Gipsverband in Streckstellung des Fußes schützte die Narbe vorläufig vor jeder Beanspruchung. Nach 5 bis 7 Tagen wurde der Gipsverband vorsichtig eröffnet, unter Vermeidung jeder Bewegung im Talocruralgelenk. Das aus der Wunde heraushängende Ende des Fadens wurde nun an ein kleines Hölzchen angeknüpft. Dieses Hölzchen wurde quer auf den distalen Abschnitt des Unterschenkels mit einer Unterpolsterung aufgelegt — es lag stets dem unteren Sehnenstumpf auf — und so lange gedreht, bis sich der an ihn angeknüpfte, aus der Wunde herausragende Faden anspannte. In dieser Lage wurde das Hölzchen gehalten, während ein Assistent einen neuen Gipsverband anlegte, der das Hölzchen mit dem angespannten Faden und dem gestreckten Fuß fixierte. Nach weiteren 15—20 Tagen wurden die Tiere getötet, der Gipsverband vorsichtig geöffnet und der Spannungszustand des Zugfadens geprüft. Als Faden wurde sowohl Gummi wie Seide benutzt. Gummi erwies sich als ganz unbrauchbar, da es kaum eine nennenswerte Verbindung mit dem Gewebe eingeht, auch später beim Mikrotomieren große Schwierigkeiten bereitet. Die Seide bewährte sich gut.

Zwei dieser Versuche gelangen gut¹⁾. Das Resultat war das folgende: Die Sehnenstümpfe standen sehr nahe beieinander, viel näher als bei den Versuchen mit Tenotomie und Muskelexstirpation allein. Der schmale, zwischen ihnen bleibende Raum wurde auf allen Schnit-

---

¹⁾ Diese Versuche wurden 1902 auf der Anatomenversammlung demonstriert.

ten von einem Strange Spindelzellen mit neugebildeten Bindegewebsfasern eingenommen, der quer zur Richtung der Sehnenfasern verlief.

Dieser Strang schloß sich zu einem Teil an Fasern des subcutanen Bindegewebes, die ihrerseits durch junge Zellen mit dem Zugfaden verkittet waren, an; zum andern nicht unbedeutenden Teil bog er nach oben oder unten in die Fascie um.

Dieser Umstand ließ den Verdacht aufkommen, wie später näher erörtert werden wird, daß die Versuchsbedingungen nicht rein gewesen seien, daß bei dem Wechsel des Gipsverbandes am 5.—7. Tage versehentlich ein Aneinanderschieben der Stümpfe vorgekommen sei.

Es wurde daher eine neue Versuchsreihe begonnen. Die Muskel-exstirpation und Tenotomie wurden wie gewöhnlich ausgeführt. Bei der Tenotomie wurde aber, um den Zwischenraum der Stümpfe zu vergrößern, ein etwa 2—3 mm großes Stück von dem unteren Sehnenstumpf abgeschnitten. Der Seidenfaden wurde wie oben in die Sehnenwunde gebracht. Das heraushängende Fadenende wurde gleich nach der Operation an einen besonders konstruierten Apparat angeknüpft. Eine rhombische Metall- oder Elfenbeinplatte von $3\frac{1}{2}$ cm Länge und 1 cm Breite hat in der Mitte ein für einen Seidenfaden passierbares Loch. Die beiden schmalen Seiten des Rhombus tragen je ein Klötzchen, von denen das eine von einem Muttergewinde in der Längsrichtung des Apparates, das andre von einem ebenso gerichteten und ebenso weiten Kanal durchbohrt ist. Durch den letztgenannten Kanal wird ein an einem Ende mit einem Gewinde, an dem andern mit einem Knopf versehener Stift eingeführt und in dem gegenüberliegenden Muttergewinde eingeschraubt. Das aus der Wunde heraushängende Fadenende wird nun, ohne jeglichen Zug an dem in der Wunde steckenden Teil, durch das in der Platte befindliche Loch durchgesteckt und an einer gekerbten Stelle in der Mitte des Stiftes angebunden. Der gut unterpolsterte Apparat liegt dem Unterschenkel stets an der medialen Seite an (es geschah regelmäßig beim Anbringen, daß er etwas weiter distalwärts zu liegen kam als beabsichtigt war, so daß der Zugfaden ebenfalls etwas nach distal zeigte) und wird jetzt durch einen Gipsverband, der auch hier das Talocruralgelenk in Streckstellung feststellte, in seiner Lage gehalten. In den noch frischen Gipsverband wird schließlich an der Stelle des Stiftknopfes ein Loch geschnitten, so daß dieser bequem für eine grobe Pinzette zugänglich ist. Es konnte so der Faden zu einer beliebigen Zeit durch Drehen des Stiftknopfes angespannt

werden, ohne daß der Gipsverband abgenommen oder sonst verändert zu werden brauchte.

Der Apparat ist unvollkommen genug. Trotz einer am Stiftknopf angebrachten Marke hat man keine genügende Herrschaft über die Quantität der Drehung. So ist es denn in einem Falle vorgekommen, daß ein übermäßiger Zug den Faden herausgerissen und einen neuen, das junge Gewebe zerstörenden Bluterguß hervorgerufen hat. Für eine Fortsetzung dieser Versuche sind exakter arbeitende Apparate wünschenswert.

Der geringe Druck des gut mit Verbandgaze unterpolsterten Apparates hat keine Schädigung oder Entzündung hervorgerufen. Nur muß man den Apparat an die mediale Seite anbringen, denn die Tiere liegen meistens auf der lateralen Seite des eingegipsten Beines.

Vier von den Versuchen, die mit diesem Apparate in der beschriebenen Weise ausgeführt wurden, sind wohl gelungen und sollen in folgendem beschrieben werden.

Versuch 1.

6 Tage nach der Operation wurde zum ersten Male an dem Faden gezogen. 9 Tage darauf, also 15 Tage nach der Operation, wurde der Zug durch nochmaliges Drehen an dem Stiftknopfe etwas vermehrt. Nach weiteren 11 Tagen, also 26 Tage nach der Operation, wurde das Tier getötet. Der Faden zeigte deutliche Spannung.

Die mikroskopische Untersuchung ergab im wesentlichen denselben Befund wie die vorhergehende, mit Wechsel des Gipsverbandes verbundene Versuchsreihe.

Auf Fig. 10 ist ein frontaler Längsschnitt durch die Narbe dargestellt. Die Sehnenstümpfe stehen sehr nahe beieinander, obgleich bei der Operation ein Stück Sehne excidiert worden war. Der schmale zwischen ihnen bleibende Raum ist ausgefüllt von einem quer verlaufenden Strange junger zellreicher Bindegewebsfasern. Nach lateral (d. h. auf der dem Zugfaden gegenüber liegenden Seite) und oben verbindet er sich (bei Z.b.) mit jungen Fasern, die von den Sehnenfasern an der lateralen Seite des oberen Stumpfes herkommen und nach medial umbiegen. Nach lateral und unten strahlt der quere Strang (bei +) in die Fascie ein.

Nach medial und unten (d. h. auf der Zugfadenseite) geht er (bei Strg.) in einen starken Strang von alten Bindegewebsfasern mit vermehrten Zellen über, der in der Subcutis liegt, schräg distalwärts nach

der Haut zieht und sich bei *Z.F.* dem Zugfaden anschließt. Der Zugfaden *Z.F.* ist aus der Sehnenwunde selbst heraus in die Subcutis gezogen worden, es steckt nur noch sein Ende in dem Gewebe; es ist stark aufgefaserst und mit Rundzellen dicht infiltriert.

Der an den Zugfaden angeschlossene eben erwähnte Strang von Fasern der Subcutis geht nur zu einem Teil in den queren Strang zwischen den Sehnenstümpfen über. Zum andern größeren Teil strahlt er (bei *str.*₁ und *str.*₂) schräg gegen den oberen und den unteren Stumpf aus.

Aus den Sehnenfaserbündeln der Stümpfe kann man an mehreren Stellen deutlich Bündel von Spindelzellen herauskommen sehen; manche von diesen Bündeln schließen sich dem queren Strang an, indem sie nach medial, also in die Zugrichtung umbiegen (bei *Z.b.*). Nicht selten sieht man aber auch andre (zum Beispiel bei *g.Z.b.*), die nach lateral, also entgegen der Zugrichtung, in den queren Strang umbiegen. Auch die Sehnenbündel selbst der Sehnenstümpfe sind mit ihrem Ende bald in der Zugrichtung, bald entgegen der Zugrichtung des Zugfadens verbogen.

Die bei *N*₁, *N*₂ und *N*₃ gezeichneten resp. angedeuteten Seidenfäden gehören der ziemlich tief liegenden Hautnaht an. Zwischen *N*₂ und *N*₃ erstreckt sich ein nicht unbedeutender parallelfaseriger Strang jungen zellreichen Bindegewebes.

Nicht auf allen Schnitten der Serie bleibt das Bild dasselbe. So sehen wir Schnitte, bei welchen der Spaltraum zwischen den Stümpfen so eng ist, daß vielleicht nur zwei oder drei Spindelzellen nebeneinander Platz haben. Der quer verlaufende Strang, der sich in der ganzen Narbe auf jedem Schnitte findet, ist hier sehr fein, setzt sich nach lateral zwischen den sich nach der Narbe einsenkenden Fascienlappen bis in die Subcutis in querer Richtung fort. Nach medial und unten verhält sich der quere Strang wie in dem vorhin geschilderten Schnitt, d. h. er biegt in den nach dem Zugfaden führenden Bindegewebsstrang um. Nach medial und oben jedoch setzt er sich in die nach der Narbe umbiegende Fascie fort.

Versuch 2.

Es wurde an dem Zugfaden das erste Mal 5 Tage, ein zweites Mal 8 Tage nach der Operation gezogen. Das Tier wurde am 23. Tage nach der Operation getötet. Der Faden war deutlich fühlbar gespannt. Der Zug hatte 18 Tage gewirkt.

Die frontalen Längsschnitte dieser Narbe lassen sich in zwei

Gruppen teilen. Die erste Gruppe enthält den Zugfaden und gehört der ventralen Schicht der Narbe an. Ein Schnitt hieraus ist auf Fig. 11 dargestellt. Die Stümpfe stehen ziemlich nahe, wenn auch lange nicht so nah wie in dem vorigen Fall beieinander, und zwar in einer Entfernung von $1\frac{1}{4}$ mm. Der zwischen ihnen bleibende Raum ist von einem quer verlaufenden Strang von jungen zellreichen Bindegewebsfasern ausgefüllt. Dieser Strang biegt lateralwärts, d. h. auf der dem Zugfaden gegenüber liegenden Seite nach oben und unten in die Fascie um (bei *Z.b.*₁ und *Z.b.*₂); medialwärts schließt er sich zu einem Teil nach distal an den Zugfaden *Z.F.* an und an zellreiche Fasern der Subcutis (bei *Strg.*), die dem Zugfaden eng anliegen. Zum andern Teil biegt er nach oben in die Fascie um und geht auch zum Teil in die Subcutis über.

Auch hier findet man junge Fibrillenbündel aus den Sehnenstümpfen herauskommen, die zum Teil in der Richtung des Zugfadens, zum Teil entgegen dieser Zugrichtung sich dem neugebildeten queren Strang anschließen.

In der zweiten Gruppe von Schnitten, die einer dorsalwärts von der oben genannten Schicht entsprechen, ist von dem Zugfaden nichts mehr zu sehen. Die Narbe trägt hier, wie Fig. 12 zeigt, einen völlig verwirrt faserigen Charakter. Von medial und lateral strahlen aus der Fascie oben und unten junge Bindegewebsfasern schräg ein und verflechten sich miteinander und mit andern jungen Fasern, die in verschiedenen Richtungen aus den Sehnenstümpfen selbst herkommen.

Versuch 3.

Der Zugfaden wurde nur einmal und zwar 5 Tage nach der Operation angespannt, das Tier am 25. Tage nach der Operation getötet. Es war dies einer der ersten Versuche, die mit dem Zugapparat angestellt wurden, bei welchem die Lage des Zugfadens in der Sehnenwunde eine besondere Sicherung zu erfordern schien. Die Schlinge der fortlaufenden Hautnaht, die dem Zugfaden an der Stelle seines Durchtritts durch die Haut begegnete und ihn umfaßte, sollte ihn zugleich in seiner Lage fixieren und wurde deshalb tief durch das subcutane Gewebe und die Fascie gelegt, dann fest angezogen und damit unbeabsichtigt vom ersten Tage an ein querer Zug auf das Blutcoagulum und in dasselbe verlagerte alte Bindegewebsfasern ausgeübt.

Auf Fig. 13 ist ein Schnitt aus dieser Narbe abgebildet, in welchem die besprochene Schlinge der Hautnaht bei *N*₁ und *N*₂

teilweise getroffen, der Zugfaden selbst aber noch nicht getroffen ist. Daß N_1 und N_2 nicht der Zugfaden sind, sondern ein der Hautnaht angehörender Nähfaden, ergibt die Reihe der Serienschritte.

Die Sehnenstümpfe stehen in größerem Abstände voneinander als in den vorhergehenden Fällen, in einer Entfernung von $2\frac{3}{4}$ mm. Der distale Teil des zwischen ihnen bleibenden Raumes ist (bei *Q.Strg.*) von einem quer verlaufenden Strang junger zellreicher Bindegewebsfasern erfüllt. Nach lateral, d. h. auf der der Zugseite gegenüber liegenden Seite, erstreckt er sich noch ziemlich weit in das subcutane Bindegewebe hinein (bei *str.*). Nach medial schließt er sich an den Teil N_1 der Hautnahtschlinge und an Bindegewebsfasern der Subcutis (bei *Strg.*) an, die in derselben Richtung der Strecke N_1 der Fadenschlinge eng anliegen. Ein kleines Bündel biegt bei + etwas nach unten ab, um sich der Strecke N_2 der Fadenschlinge anzulegen. Hier an dem unteren Stumpf konnten über denselben in die Zwischenmasse hineingelagerte Fascienfasern nicht beobachtet werden.

Über die aus dem unteren Sehnenstumpf hervorkommenden, dem queren Strang sich anschließenden jungen Fibrillenbündel ist hier dasselbe zu sagen wie schon in den Fällen vorher. Ein Teil biegt in der Zugrichtung, ein anderer Teil aber entgegen der Zugrichtung in den neugebildeten queren Strang um. (Es ließ sich dies bei der Kürze der Bündel auf dem Bilde nicht klar darstellen.)

Der obere Teil der Narbe besteht zum Teil aus lockerem, alten, wahrscheinlich aus der Subcutis hineinverlagerten Bindegewebe, zum Teil aus jungen Bindegewebssträngen, die aus dem oberen Stumpf entspringen und eine kurze Strecke weit von lateral und oben nach medial und unten verlaufen, ohne den queren Strang zu erreichen. Nur ein kleines Bündel (bei ++) ist im Zusammenhang mit der Strecke N_1 der Hautnaht.

Auf dem Schnitt, der in Fig. 14 abgebildet ist, ist von der Strecke N_2 nur ein Querschnitt zu bemerken. Die Strecke N_1 ist längs getroffen und stark mit Rundzellen angefüllt. Die Sehnenstümpfe stehen wie auf dem vorigen Schnitt nicht sehr nahe beieinander. Im unteren Teil des Zwischenraumes ist wiederum der quere Strang (*Q.Strg.*) zu sehen, der sich größtenteils der Strecke N_1 der Hautnahtschlinge anschließt.

Bei *Z.F.* ist der Zugfaden selbst getroffen, er steht der Sehnenwunde nicht genau gegenüber, sondern mehr dem unteren Sehnen-

stumpf. Von ihm und in seiner Fortsetzung erstreckt sich ein Strang junger Bindegewebsfasern, der sich dem unteren Rande des eben beschriebenen queren Stranges anschließt, bis zur Narbe, ohne sich weit in sie fortzusetzen.

Der obere Teil der Narbe ist wieder größtenteils aus verwirrt faserigen alten, in die Narbe verlagerten Bindegewebsfasern ausgefüllt.

Versuch 4.

Der Zugfaden wurde am 7. Tage nach der Operation ganz wenig angespannt; am 23. Tage nach der Operation wurde das Tier getötet. Der Faden war in Spannung.

Die Sehnenstümpfe stehen nicht sehr nahe beieinander, in einer Entfernung von 6 mm. Der Zugfaden hat eine äußerst ungünstige Lage. Er erstreckt sich durch die ganze Breite der Sehnenwunde von medial und dorsal schräg nach lateral und ventral, während in den andern Fällen der Faden nicht mehr im Zwischenraum zwischen den Sehnenstümpfen selbst, sondern medial (und distal davon) in der Subcutis lag. Trotzdem ist doch auch dieser Fall nicht ganz ohne Interesse. Denn auch hier setzt sich der Faden in einen jungen, zunächst queren Bindegewebsstrang fort, der allerdings sogleich aus der queren Richtung in die Längsrichtung der Fascie nach oben umbiegt.

Epikrise.

Aus dem vorstehenden ergibt sich also: In allen sechs Fällen, in denen wir einen quer gerichteten Zug durch einen Seidenfaden auf das junge Keimgewebe der Tenotomie-wunde ausgeübt haben, hat sich ein querer Strang junger, parallel geordneter Bindegewebsfasern ausgebildet. Ein solcher rein querer Strang konnte bei der Tenotomie mit Muskelexstirpation ohne queren Zug in keinem Falle beobachtet werden. Dieser quere Strang ist stets mit einem Teil seiner Fasern, meist durch Vermittlung von strangartig geordneten Subcutisfasern, mit dem Zugfaden in Verbindung. Zu einem andern, oft nicht unbedeutenden Teil geht er (auf der medialen Seite, der Seite des Zuges) in die Fascie über, die sich mit ihren durchschnittenen Fasern, um den Sehnenstumpf herumbiegend, in die Zwischenmasse hineingelegt hat.

Es fiel ferner besonders bei den ersten beiden auf der Anatomen-versammlung 1902 demonstrierten Fällen, bei welchen am 6. Tage nach der Operation der Gipsverband gewechselt worden war, auf,

daß die Sehnenstümpfe so sehr dicht beieinander stehen. Von den später angestellten vier Versuchen, die ohne Wechsel des Gipsverbandes zu Ende geführt wurden, bei denen sogar einige Millimeter von den Stümpfen excidiert worden waren, zeigte einer wieder eine sehr bedeutende Näherung (Versuch 1), ein anderer ein weniger starkes, aber immerhin noch auffallend nahes Zusammenstehen (Versuch 2). Die beiden letzten Fälle hingegen zeigten einen Abstand wie im allgemeinen die Fälle nach Muskelexstirpation ohne queren Zug.

Schließlich hatten wir festzustellen, daß die aus den Sehnenstümpfen herauswachsenden jungen Fibrillen bald in der Zugrichtung, bald ihr entgegen sich an den queren Strang anschließen.

Danach stellt sich die Frage: Ist der quer zu der Richtung der Sehnenfasern laufende Strang in seiner bestimmt gerichteten parallel-faserigen Ausbildung durch den eingelegten und angespannten Zugfaden bestimmt worden?

Nach meiner Demonstration der Bilder der zwei zu Anfang dieses Kapitels dargestellten Versuchsergebnisse auf der Anatomenversammlung zu Halle (1902) fragte Herr WALDEYER, ob auch Kontrollversuche mit Gipsverband ohne Fadeneinlage gemacht worden seien, indem er darauf hinwies, daß die betreffenden Zeichnungen der Präparate mit eingelegtem Faden die Sehnenenden stark einander genähert zeigten. Möglicherweise könnte daraus die quere Faserrichtung der Sehnennarbe erklärt werden.

Herr ROUX äußerte dazu, daß die Kontrollversuche zwar vorliegen, daß ihm aber dies letztere Bedenken auch gekommen sei. Da aber der Gipsverband in diesen beiden, zur Zeit vorliegenden Versuchen schon am 5.—7. Tage nach der Operation gewechselt worden war, also zu einer Zeit, in welcher erst lauter polymorphe Zellen vorhanden sind, so konnte eine richtende Einwirkung der beim Verbandwechsel eventuell genäherten Stümpfe nicht im mechanischen Umbiegen schon vorhandener Spindelzellen oder gar Bindegewebsfasern bestanden haben; aber es wäre andererseits doch nicht sicher auszuschließen, daß vielleicht noch eine uns nicht bekannte Einwirkung stattgefunden habe, weshalb weitere Experimente zur Aufklärung der besonderen Verhältnisse der geschilderten Befunde nötig seien.

Ich habe deshalb die oben erwähnte neue Versuchsanordnung mit einem Zugapparat gewählt, bei der ein Verbandwechsel nicht erforderlich war. Das junge Gewebe, das einmal im Entstehen war, blieb also unter den Bedingungen, wie sie bei der Operation geschaffen und durch Anspannen des Zugfadens gesetzt wurden.

Aber es ist nicht unmöglich, daß von vornherein bei dieser Versuchsreihe in den beiden Versuchen 1 und 2, die eine auffallende Näherung der Sehnenstümpfe zeigten, gleich nach der Operation durch das einmalige Anlegen des Gipsverbandes der obere Stumpf nach unten geschoben worden sei. In dem Falle 1, wo der Zwischenraum nur spaltförmig ist, könnte dies allerdings verhängnisvoll gewirkt haben, indem sich hier die jungen Zellen legten, wie es ihnen der Raum erlaubte. Oder man könnte annehmen, daß dauernd vom ersten Tage an ein Druck von oben her auf die Zwischenmasse gewirkt hätte. Dann hätte die Bildung des queren Stranges mit dem ausgeübten Zug nichts zu tun. Wie kommt es aber, daß ein Teil der jungen Fasern des queren Stranges durch Bündel subkutaner Fasern Anschluß an den Zugfaden haben? Es müßte also mindestens ein Anschluß der aus anderer Ursache in dieser Richtung gebildeten Fasern an den Faden stattgefunden haben, wenn nicht, wie ich auf Grund von andern Experimenten vermute, der Wirkung des Zugfadens ein Anteil an der Ausbildung des queren Stranges zukommt. Da die Versuchsbedingungen des Versuch 1 indessen nicht eindeutig sind, soll auch dieser Versuch für die theoretischen Schlüsse nicht verwertet werden.

In dem Versuch 2 jedoch ist der Zwischenraum zwar nicht sehr weit, er ist aber keineswegs ein so enger Spaltraum, daß die Zellen in ihm gezwungen wären, sich in der queren Richtung anzuordnen. Man könnte aber auch hier noch glauben, daß dauernd vom ersten Tage ein Druck von dem oberen Stumpf auf die Zwischenmasse ausgeübt worden wäre. Wenn nun wirklich der Druck von oben die Ursache der queren Anordnung der jungen Fasern wäre, dann wäre nicht einzusehen, warum hier nicht durch die ganze Narbe hindurch auf allen Schnitten der quere Strang zu beobachten ist. Wir haben aber gerade bei dieser Narbe gesehen, daß der quere Strang gerade auf den Schnitten ausgebildet ist, in denen auch der Faden, und zwar an den queren Strang angeschlossen, liegt. In den Schnitten, in welchen der Zugfaden nicht mehr vorhanden ist, ist eine verwirrt faserige Struktur entstanden.

Die Tatsache, daß ein querer Strang zu einem wesentlichen Teil im Anschluß an den gespannten Faden ausgebildet wurde, gegenüber dem Befunde einer verwirrt faserigen Anordnung in derselben Narbe, da wo der Faden fehlt, läßt wohl mit großer Wahrscheinlichkeit hervorgehen, daß hier der Zug und nicht der Druck des eventuell herabgedrückten oberen Stumpfes den queren Strang hat

entstehen lassen. Aber es bleibt noch zu erklären, wie es kommt, daß ein ebenfalls bedeutender Teil der queren Fasern sich auf der Zugfadenseite nicht an den Faden anschließt, sondern in die Fascie umbiegt. Erinnern wir uns dazu an die Art und Weise der Operation. Es wurde der Faden von medial her in die Sehnenwunde gesteckt, dabei mußte es fast immer geschehen, wenn nicht ein glücklicher Zufall es verhinderte, daß die durch den Operationsschnitt gebildeten Fascienstücke von medial in die Wunde hineingeschoben wurden. Die wenigen Millimeter, die der Faden am 6. Tage bei der Spannung herausgezogen wurde, konnten nicht genügen, dies wieder rückgängig zu machen. Diese quer in die Zwischenmasse verlagerten Fascienfasern müssen aber schrumpfen und auf das junge Keimgewebe, den Zug des Fadens unterstützend, einwirken. Und so kommt es, daß ein Teil der Fasern des queren Stranges auf der medialen Seite in die Fascie übergehen. Daß auf der lateralen, also auf der dem Zug gegenüberliegenden Seite, die Fascie oben und unten sich manchmal geradezu trichterförmig in den queren Strang einsenkt, ist vielleicht zu einem Teil auf Rechnung des Zuges zu setzen. Andererseits darf man aber nicht vergessen, daß die losen Fascienstücke ohnedies die Neigung haben, sich in die Sehnenwunde zu legen.

In den beiden letzten Versuchen kann von einem Herunterschieben des oberen Sehnenstumpfes von vornherein nicht die Rede sein. Denn hier ist der Abstand der Stümpfe normal weit. Zudem ist bei dem Versuch 3 am unteren Stumpf, über dessen Ende der junge quere Strang vorbeizieht, von der Zugseite her die Fascie nicht in die Zwischenmasse hineingelagert. Hier ist dementsprechend nun auch der quere Strang ausschließlich an die angespannte Fadenschlinge resp. an dieser angeklebte Subcutisfasern angeschlossen. Auch der von dem eigentlichen Zugfaden ausgehende junge Bindegewebsstrang stellt einen eindeutigen Befund dar. Hier ist also von zwei Zugkräften aus je ein junger Bindegewebsstrang in der Richtung dieser Kräfte, rechtwinkelig zu der Richtung des normalerweise bei einfacher Tenotomie sich bildenden Längsstranges, entstanden.

Daraus geht hervor, daß dem mechanischen Zuge eine wesentliche Bedeutung bei der Ausbildung dieser Bindegewebsstrukturen zukommt.

Um das Ergebnis nochmals zu prüfen und noch reiner zu gewinnen, werde ich in den nächsten Versuchen den Zwischenraum

zwischen den Sehnenstümpfen durch Annähern des proximalen Stumpfes mit seinem proximalen Ende an der äußeren festen Umgebung so weit erhalten, daß der von dem Zugfaden ausgehende Faserstrang besser isoliert von den von der Fascie aus umbiegenden Fasern verlaufen kann. Ferner werde ich in einigen Versuchen einen Faden quer einlegen, an welchem nicht gezogen wird.

Es muß schließlich noch an einen Befund erinnert werden, der uns zeigt, daß nicht bloß der mechanische Zug allein richtungsbestimmend bei der Bildung der Bindegewebsfasern ist. Wir hatten gesehen, daß aus den Sehnenfasern der Stümpfe einige junge Fibrillenbündel herkommen, die sich in der dem Zuge entgegengesetzten Richtung dem queren Strang anschließen, die also statt nach medial, wohin der Zug wirkte, nach lateral umbogen, sich also in eine Richtung legten, in der sie durch den Zug entspannt werden müssen.

Diese Beobachtungen können angesichts der oben gegebenen Befunde und Beweisführungen nicht imstande sein, das gewonnene Resultat von der Bedeutung des mechanischen Zuges umzuwerfen. Wohl aber deuten sie darauf hin, daß, wie ROUX bereits auf der Anatomenversammlung 1902 bei der Diskussion erwähnte, außer dem mechanischen Einfluß noch andere uns zur Zeit unbekannte Faktoren die Lage und Richtung der Bindegewebsfasern bei ihrer Bildung bestimmen können. Darauf deuteten auch die Beobachtungen, daß bei der einfachen Tenotomienarbe in den ersten Stadien außer den distalwärts und proximalwärts strebenden Bündeln einige, wenn auch sehr wenige Bündel in abweichender, unregelmäßiger Weise verlaufend, in der Zwischenmasse vorkommen.

Schlußepikrise.

Unsre Versuche haben bis zu einem hohen Grade von Wahrscheinlichkeit erwiesen, daß die Beanspruchung eines jungen Bindegewebeblastems, d. h. also mechanischer Zug, die Differenzierung der Bindegewebsfasern begünstigt, ferner die typische Anordnung der Elemente wesentlich beeinflußt und schließlich lebenerhaltend auf die Fasern wirkt.

Es bleibt uns jetzt noch zu erörtern übrig, wie die Wirkungsweise dieser Beanspruchung in unsern Versuchen vorzustellen ist. Die Begünstigung der faserigen Differenzierung und die Erhaltung der produzierten Fasermassen finden ihre beste Deutung durch die am Anfang dieser Arbeit geschilderte Theorie Rouxs von der trophi-

schen Wirkung des funktionellen Reizes. Danach regt der funktionelle Reiz, in unserm Falle der mechanische Zug, die gestaltliche Assimilation der Zellen, welche er trifft, an, er veranlaßt sie zu energischer Betätigung ihrer plastischen Fähigkeiten, und diese besteht bei den hier in Rede stehenden Zellen in der Bildung von Bindegewebsfasern. Auch die Erhaltung der Lebensfähigkeit der Fasern bei funktioneller Beanspruchung, die starke Atrophie im Querschnitt bei qualitativ ungenügendem (in unserm Falle konstantem statt intermittierend wirkendem) Zug finden eine ungezwungene Erklärung in der Theorie vom trophischen Reize und sind daher geeignet, diese allgemeine Theorie auch als für das Bindegewebe gültig zu festigen. Die von ROUX angeführte Atrophie einer nicht funktionierenden Sehne, die von LANGE beobachtete Hypertrophie eines Bindegewebsstranges nach Sehnenplastik, die von SCHRADICK beschriebene Bildung einer dauernd funktionstüchtigen festen Sehne aus dem mehr lockeren Bindegewebe der Umgebung eines Muskels, der an einem Ende vom Knochen gelöst worden war, die von SEGSEL angegebene Beobachtung, daß bei Abschwächung der Funktion weniger Fibrillen sich vorfinden, geben ihr in demselben Sinne eine weitere Stütze.

Weit schwieriger ist es zu entscheiden, wie in unsern Versuchen die Bestimmung der Richtung der Fasern durch den Zug stattgefunden hat. Auf den ersten Blick erscheint die Frage ja vielleicht sehr einfach. Der bestimmt gerichtete Zug könnte die Fasern in die bestimmte Richtung zerren, und so die typischen Strukturen entstehen lassen. In erster Linie ist nun aber zu bedenken, daß in unsern Versuchsanordnungen der Zug seine richtende Wirkung geltend machte, bevor überhaupt eine faserige Differenzierung stattgefunden hatte. Bei der einfachen Tenotomie setzt er sofort, bei der Tenotomie nach Ischiadicusneurectomie sehr bald ein, bei den Versuchen mit Muskelexstirpation, kombiniert mit querer Spannung, begann er ebenfalls frühzeitig, in einem Falle, in welchem der Zug durch die Nahtschlinge ausgeübt wurde, am 1. Tage, in den andern Fällen¹⁾ am 5. bis 8. Tage nach der Operation, bevor eine Differenzierung stattgefunden hat. Der Einfluß des Zuges macht sich also auf die Zellen geltend, bevor überhaupt Fasern, die zurecht gezerzt werden könnten, da sind. Seine Wirkung spricht

---

¹⁾ Nur bei Versuch 1 wurde später, am 15. Tage nach der Operation, zum zweiten Male an dem Faden gezogen. Am 15. Tage können allerdings schon Fasern abgeschieden worden sein. Der Versuch 1 ist aber schon aus andern Gründen von der theoretischen Verwertung ausgeschlossen worden.

sich aber gleichwohl darin deutlich aus, daß in der Zugrichtung bestimmt geordnete Bündel von Spindelzellen auftreten. Die jungen Bindegewebszellen, die durch die lebhaftete Proliferation ohne Einwirkung des Zuges gebildet worden sind, sind gar nicht alle spindelförmig; es sind zum großen Teil sternförmige und polymorphe Zellen (s. Anm. S. 203), unter denen nur zum geringen Teile auch Spindelzellen sich finden, wie dies aus meiner dritten Versuchsreihe hervorgeht. Diese sternförmigen und polymorphen Zellen nehmen also unter dem Einfluß des Zuges Spindelform an.

Es handelt sich einmal um einen geweblich-differenzierenden Einfluß des funktionellen Reizes, die Umwandlung polymorpher und sternförmiger Zellen in Spindelzellen, der dem richtenden voraus oder mit ihm Hand in Hand gehen muß. Wenn die Zellen erst langgestreckte zweipolige Gebilde sind, könnte man wohl ein rein mechanisches passives Ordnen derselben sich als möglich denken, obgleich es schwer vorstellbar ist, wie der konstante Zug des Seidenfadens eine solche rein mechanische Ordnung bewirken soll.

Aber auch noch andre Tatsachen sind dieser Deutung schwer zugänglich. Eine 8 oder 10 Tage alte einfache Tenotomienarbe zeigt eine innige, einem bestimmten Typus folgende Verflechtung ihrer jungen Fasern. Sie nimmt aber, wie wir oben gesehen, in der weiteren Entwicklung eine regelmäßig parallelfaserige Struktur an. Diese Umwandlung läßt sich kaum durch rein mechanisches Zurechtziehen vorstellen, denn die Durchflechtung der Fasern ist eine zu komplizierte und feste. Rouxs Annahme von der trophischen Wirkung des funktionellen Reizes wird der Aufgabe besser gerecht. Sobald die Sehnenstümpfe selbst an das junge Gewebe angreifen können, wird der Hauptzug in der Längsrichtung gerade von oben nach unten und von unten nach oben ausgeübt. Alle Zellen und Fasern, welche nicht in dieser Richtung liegen, werden stärker gespannt als die nicht in ihr gelegenen, letztere werden also weniger stark von dem trophischen Reize getroffen, sie werden daher gegenüber den in der neuen Zugrichtung liegenden und gekräftigten Zellen und Fasern geschwächt, minderwertig und müssen, in dieser Konkurrenz mit den in der Zugrichtung liegenden Elementen um den trophischen Reiz, zugrunde gehen. Es kann aber die Möglichkeit nicht geleugnet werden, daß gleichzeitig der Zug, den geschilderten Prozeß unterstützend und abkürzend, auch rein mechanisch ordnend wirkt, indem er minder fest verflochtene Bündel in die Längsrichtung zieht.

Zusammenfassung.

1) Die Aufgabe war experimentell zu prüfen, welchen Einfluß mechanischer Zug auf die Bildung faserigen Bindegewebes ausübt. Zu diesem Zweck wurden vier Versuchsreihen angestellt.

2) In der ersten Versuchsreihe mit einfacher Tenotomie der Achillessehne wurde die Entwicklung jungen, keimenden Bindegewebes unter dem steten Einfluß des kräftigen intermittierenden Zuges der Muskulatur untersucht und festgestellt, daß in den ersten 10 Tagen eine kompliziert verflochtene, aber, wie ich erkannte, nach einem bestimmten, den zeitigen mechanischen Verhältnissen entsprechenden Typus gebaute Narbe entsteht, daß diese aber weiterhin zu einer regelmäßigen längs- und parallelfaserigen Struktur umgearbeitet wird.

3) In der zweiten Versuchsreihe wurde die Entwicklung desselben, nach Tenotomie der Achillessehne auftretenden Keimgewebes, bei gleichzeitiger Neurectomie des Nervus ischiadicus (an seinem Austritt aus dem Becken), untersucht. Es ergab sich, daß die Differenzierung der Bindegewebszellen, unter dem Einfluß des anfangs stark abgeschwächten Zuges, etwas verzögert wird, daß später aber mit zunehmendem Schrumpfungszug der der Nerven beraubten Muskulatur und der entspannten Bindegewebsfasern, wie bei der einfachen Tenotomie, eine regelmäßige längs- und parallelfaserige Narbe entsteht. Dieselbe erleidet weiterhin einen starken Schwund im Querschnitt.

4) In der dritten Versuchsreihe wurde die Entwicklung desselben Gewebes, das aber hier dem Einflusse des Muskelzuges durch Exstirpation der gesamten an die Achillessehne ansetzenden Muskulatur völlig entzogen war, verfolgt. Dabei wurde beobachtet, daß eine bedeutende Verzögerung der Differenzierung der jungen Bindegewebszellen statthabte, und daß die später gebildeten Bindegewebsfasern in atypischer, regelloser Weise miteinander verflochten sind.

5) In der vierten Versuchsreihe wurde auf dasselbe nach Exstirpation der Muskulatur entstehende Keimgewebe ein quer gerichteter, konstant wirkender Zug durch einen eingeseilten Seidenfaden ausgeübt, der zu einer Zeit einsetzte, wo Bindegewebsfasern noch nicht abgeschieden sein konnten. Es ergab sich, daß sich ein quer gerichteter Strang junger Bindegewebsfasern ausbildete, dessen Entstehung bei einigen Versuchen mit Sicherheit ursächlich auf den Zug des Seidenfadens zurückgeführt werden konnte.

6) Aus der Gesamtheit dieser Versuche wurde geschlossen, daß

mechanischer Zug die Differenzierung faserigen Bindegewebes begünstigt, einen wesentlichen Einfluß auf die Richtung der Bindegewebsfasern ausübt und lebenserhaltend auf die gebildeten Fasern wirkt.

7) Zum Schlusse wurde versucht, dem Wesen dieser Wirkungsweisen etwas näher zu treten und dabei die Ansicht gewonnen, daß die auf der trophischen Wirkung des funktionellen Reizes beruhende Theorie ROUXS den Tatsachen am besten gerecht wird.

Am Schlusse dieser Arbeit ist es mir eine angenehme Pflicht, meinem verehrten Chef, Herrn Geheimrat Professor Dr. ROUX, meinen herzlichsten Dank für die Anregung zu dieser Arbeit und für die bedeutsame Förderung bei ihrer Ausführung auszusprechen.

Literaturverzeichnis.

- '65. HIS, W., Die Häute und Höhlen des Körpers. Acad. Programm. Basel 1865, cit. nach ROUX, Ges. Abh. '95, S. 212 u. 228.
- '68. — Untersuchungen über die erste Anlage des Wirbelthierleibes. Leipzig 1868.
- '74. — Unsere Körperform und das physiologische Problem ihrer Entstehung. Leipzig 1874.
- '76. ZIEGLER, E., Untersuchungen über pathologische Bindegewebs- und Gefäßneubildung. Würzburg 1876.
- '80. ROUX, WILH., Ueber die Leistungsfähigkeit der Principien der Descendenzlehre zur Erklärung der Zweckmäßigkeiten des thierischen Organismus. Breslau 1880. Auch Gesammelte Abhandl. über Entwicklungsmechanik. Bd. I. 1895.
- '81. — Der züchtende Kampf der Theile oder die »Theilauslese« im Organismus, zugleich eine Theorie der funktionellen Anpassung. 1881. Auch in: Ges. Abh. Bd. I. S. 135—437.
- '81. BARDELEBEN, K., Muskel und Fascie. Jen. Zeitschr. f. Naturw. Bd. XV. S. 390. 1881. (S. auch ROUX, Ges. Abh. Bd. I. S. 180.)
- '83a. ROUX, WILH., Structur eines hochdifferenzierten bindegewebigen Organes (der Schwanzflosse des Delphin). 1883. Ges. Abh. Bd. I. S. 458.
- '83b. — Ueber die Selbstregulation der »morphologischen« Länge der Sceletmuskeln des Menschen. 1883. Ges. Abh. Bd. I. S. 575.
- '83. STRASSER, H., Zur Kenntniss der functionellen Anpassung der quergestreiften Muskulatur. Stuttgart 1883.
- '83. WEISMANN, AUG., Über die Vererbung. Jena 1883.
- '84. KRAUSE, W., Die Anatomie des Kaninchens. Leipzig 1884.
- '84. LUCHSINGER, B., Zur Architectur der Semilunarklappen. PFLÜGERS Archiv f. d. ges. Phys. Bd. 34. S. 291. 1884.
- '84. THÜRLEER, LOUIS, Studien über die Function des fibrösen Gewebes. Diss. inaug. Zürich 1884.

- '85. ROUX, WILH., Einleitung zu den Beiträgen zur Entwicklungsmechanik des Embryo. Zeitschr. f. Biol. Bd. XXI. München, Juli 1885. Ges. Abh. '95. S. 1.
- '87. MARCHAND, F., Ueber den Einheilungsprozess von Fremdkörpern. Tagebl. d. 60. Vers. deutsch. Naturforscher in Wiesbaden. S. 270. 1887.
- '88. ——— Untersuchung über die Einheilung von Fremdkörpern. ZIEGLERS Beitr. z. path. Anat. u. allg. Pathologie. Bd. IV. 1888.
- '91. VIERING, W., Experimentelle Untersuchung über die Regeneration des Sehngewebes. VIRCHOWS Arch. f. path. Anat. u. Physiol. u. f. klin. Med. Bd. 125. Folge XII, Bd. V. S. 252. 1891.
- '92. ROUX, WILH., Ziele und Wege der Entwicklungsmechanik. Ergebn. d. Anat. u. Entwicklungsgesch. v. MERKEL u. BONNET. Bd. II. 1892.
- '92. WEISMANN, AUG., Das Keimplasma, eine Theorie der Vererbung. Jena 1892.
- '92. ——— Aufsätze über Vererbung und verwandte biologische Fragen. Jena 1892.
- '93. ENDERLEN, Ueber Sehnenregeneration. Archiv f. klin. Chirurgie. Bd. 46. S. 563. 1893.
- '94. YAMAGIVA, Zellenstudien an sich regenerierendem Sehngewebe. VIRCHOWS Arch. f. path. Anat. u. Phys. u. f. klin. Med. Bd. 135. S. 308. 1894.
- '95a. ROUX, WILH., Gesammelte Abhandlungen über Entwicklungsmechanik. 2 Bde. Leipzig 1895.
- '95b. ——— Einleitung zum Archiv f. Entw.-Mech. Bd. I. 1895.
- '96. KÜMMEL, Über Sehnenplastik. Verhandl. d. Gesellsch. deutscher Naturf. u. Aerzte. 68. Vers. zu Frankfurt a. M. 2. Teil, 2. Hälfte. S. 116. 1896.
- '97. v. EBNER, V., Die Chorda dorsalis der niederen Fische und die Entwicklung des fibrillären Bindegewebes. Zeitschr. f. wiss. Zool. Bd. 62. S. 469. 1897.
- '00. SCHRADIECK, CONSTANT., Untersuchungen an Muskel und Sehne nach der Tenotomie. Inaug.-Dissert. Rostock 1900.
- '01. MARCHAND, F., Der Process der Wundheilung mit Einschluss der Transplantation. Deutsche Chirurgie, herausg. v. v. BERGMANN und v. BRUNS. Lief. 16. Stuttgart 1901.
- '01. RICKER, G., Beiträge zur Lehre von der Atrophie und Hyperplasie. VIRCHOWS Arch. f. path. Anat. u. Phys. u. f. klin. Med. Bd. 165. S. 263. 1901.
- '02. LANGE, FRITZ, Weitere Erfahrungen über seidene Sehnen. Münchner med. Wochenschr. Jahrg. 1902. Nr. 1. S. 10.
- '02. LEVY, OSCAR, Ueber Versuche zur Frage von der functionellen Anpassung des Bindegewebes. Verhandl. d. Anatom. Gesellsch. auf d. 16. Vers. zu Halle a. S. S. 58. 1902.
- '02. MAXIMOW, ALEXANDER, Experimentelle Untersuchungen über die entzündliche Neubildung von Bindegewebe. 5. Supplementheft v. ZIEGLERS Beitr. z. path. Anat. u. z. allg. Pathol. Jena 1902.
- '02. ROUX, WILH., Über die Selbstregulation der Lebewesen. Archiv f. Entw.-Mech. Bd. XIII. 1902.
- '02. TRIEPEL, H., Ueber das Verhältnis zwischen Muskel und Sehnenquerschnitt. Verhandl. d. Anat. Gesellsch. 16. Vers. zu Halle a. S. 1902.
- '02. WEISMANN, AUG., Vorträge über Descendenztheorie. Jena 1902.
- '03. BORST, MAX, Ueber die Heilungsvorgänge nach Sehnenplastik. ZIEGLERS Beiträge z. path. Anat. u. z. allg. Pathol. Bd. 34. H. 1. S. 41. 1903.
- '03. HAAK, KARL, Vergleichende Untersuchung über die Muskulatur der Gliedmaassen und des Stammes bei der Katze, dem Hasen und Kaninchen. Inaug.-Dissert. Bern 1903.

- '03. MAAS, OTTO, Einführung in die experimentelle Entwicklungsgeschichte (Entwicklungsmechanik). Wiesbaden 1903.
- '03. RUBIN, RICHARD, Versuche über die Beziehung des Nervensystems zur Regeneration bei Amphibien. Archiv f. Entw.-Mech. Bd. XVI. H. 1. S. 21. 1903.
- '03. SEGGER, RUDOLF, Histologische Untersuchungen über die Heilung von Sehnenwunden und Sehnendefecten. Beitr. z. klin. Chirurgie. Bd. 37. S. 342. 1903.
- '03. TRIEPEL, H., Der Querschnittskoeffizient des Muskels und seine biologische Bedeutung. Anat. Hefte, herausg. v. FR. MERKEL u. R. BONNET. Bd. 22. H. 69. 1903.

Erklärung der Abbildungen.

Zeichenerklärung.

A.	Arterie,	q.Ff.	Querfasern der Fascie,
B.	unregelmäßige Bündel,	Q.Strg.	querer Strang,
Cp.	Kapillaren,	Blk.	} rote Blutkörperchen,
d.w.	distalwärts in die Zwischenmasse einstrahlende Bündel,	r.Blk.	
Fbr.	Fibringerinnsel,	sbc.Gew.	subcutanes Gewebe,
gr.	gerade verlaufendes Bündel,	S.Strg.	Seitenstrang,
g.Z.b.	entgegen der Zugrichtung umbiegend,	str.	ausstrahlende Fasern,
		Strg.	Strang von Bindegewebsfasern,
		u.St.	unterer Sehnenstumpf,
lat.	lateral,	V.	Vene,
l.Ff.	Längsfasern der Fascie,	verl.F.	verlagerte Fasern,
med.	medial,	Z.	Leukocyten und polymorphe junge Bindegewebszellen,
N.	Hautnaht,		
o.St.	oberer Sehnenstumpf,	Z.b.	in der Zugrichtung umbiegend,
p.w.	proximalwärts in die Zwischenmasse einstrahlende Bündel,	Z.F.	Zugfaden.

Tafel XI—XIII.

- Fig. 1. 3 Tage alte einfache Tenotomienarbe. Frontalschnitt.
- Fig. 2. 5 Tage alte einfache Tenotomienarbe. Frontalschnitt.
- Fig. 3. 8 Tage alte einfache Tenotomienarbe. Frontalschnitt.
- Fig. 4. 10 Tage alte einfache Tenotomienarbe. Frontalschnitt.
- Fig. 5. 10 Tage alte einfache Tenotomienarbe nach Muskelexstirpation. Frontalschnitt.
- Fig. 6. 15 Tage alte Narbe nach Muskelexstirpation. Frontalschnitt.
- Fig. 7. 20 Tage alte Narbe nach Muskelexstirpation. Frontalschnitt.
- Fig. 8. 30 Tage alte Narbe nach Muskelexstirpation. Frontalschnitt.
- Fig. 9. 30 Tage alte Narbe nach Muskelexstirpation. Frontalschnitt.
- Fig. 10. 26 Tage alte Narbe nach Muskelexstirpation mit querem Zug. Frontalschnitt.
- Fig. 11. 23 Tage alte Narbe nach Muskelexstirpation mit querem Zug. Frontalschnitt.
- Fig. 12. Dieselbe Narbe wie in Fig. 11, Frontalschnitt, in dem der Zugfaden nicht getroffen ist.
- Fig. 13. 25 Tage alte Narbe nach Muskelexstirpation. Frontalschnitt.
- Fig. 14. Dieselbe Narbe wie in Fig. 13. Frontalschnitt.