

AUS DEM ANATOMISCHEN INSTITUT ZU GREIFSWALD.

DER
QUERSCHNITTSQUOTIENT DES MUSKELS
UND SEINE
BIOLOGISCHE BEDEUTUNG.

VON
H. TRIEPEL,
GREIFSWALD.

Mit 2 Figuren im Texte.

Einleitung.

Als ich die ersten Bestimmungen des Verhältnisses zwischen Muskel- und Sehnenquerschnitt ausführte, hatte ich nur die Absicht, Anhaltspunkte für die Ermittlung der Dehnungen zu gewinnen, die im normalen Organismus an Sehnen vorkommen. Messungen dieses Verhältnisses — es heisse im folgenden kurz der Querschnittsquotient $\left(\frac{Q_m}{Q_s}\right)$ — lagen nur wenige vor. Bei meinen Untersuchungen ergaben sich aber manche neue Fragen, die ein genaueres Eingehen auf den Gegenstand erheischten. Die Ergebnisse, zu denen ich hierbei gelangte, habe ich in einem Vortrag auf der 16. Versammlung der anatomischen Gesellschaft zu Halle¹⁾ mitgeteilt. Für das, was ich dort sagte, möchte ich nunmehr die Belege veröffentlichen, und vielleicht gelingt es mir, die Anschauungen, die ich gewonnen habe, in der ausführlichen Arbeit noch genauer und präziser darzulegen. Zugleich wird sich Gelegenheit finden, manchen Gedanken etwas weiter auszuspinnen, als es bisher möglich war.

Die grösstmögliche Kraft, die ein Muskel ausüben kann, ist seinem Querschnitte proportional. Da wir das Maximum, das ein Muskel vom Querschnitt 1 zu leisten vermag, sowie die Festigkeit der Sehnen kennen, so ist es uns möglich, einen Wert zu berechnen, den der Querschnittsquotient nicht überschreiten darf, wenn nicht die Gefahr eintreten soll, dass der Muskel durch seine Kontraktion seine Sehne zerreisst (was dann eintreten

¹⁾ Anat. Anz., Ergänzungsb. z. 21. Bd. S. 131. 1902.

würde, wenn eine intendierte Bewegung auf Widerstand stösst). Es sei K_z die für den Querschnitt 1 mm^2 berechneten Sehnenfestigkeit und F^* die Kraft eines Muskels vom Querschnitt 1 cm^2 , dann muss offenbar sein $\frac{Q_m}{Q_s} < \frac{K_z \cdot 100}{F^*}$. Wenn man hierin $K_z = 5 \text{ kg}$ und $F^* = 8 \text{ kg}$ setzt ¹⁾, so ergibt sich, dass der Querschnittsquotient kleiner als rund 63 sein muss. Die Zahl 63 kann nur einen angenäherten Wert vorstellen, denn namentlich die über die Muskelkraft in der Litteratur niedergelegten Zahlen schwanken einigermassen, und Änderungen der Grösse F^* würden natürlich eine entsprechende Änderung im Werte des ganzen Bruches bedingen. Dass die Muskelkraft am Lebenden gemessen, der Querschnittsquotient dagegen an der Leiche bestimmt wird, ist bedeutungslos, denn auch die Festsetzung der Muskelquerschnitte, die bei der Berechnung von F^* nötig ist, kann nicht ohne die Berücksichtigung von Leichenmaterial erfolgen.

Aus dem Gesagten ergibt sich, dass es Bedenken erregen muss, wenn in irgend einem Falle ein Querschnittsquotient ermittelt wird, der die Zahl 63 um Vieles übertrifft. Das gilt z. B. von einer Angabe Roux' ²⁾, der fand, dass die Sehne bei den stärksten Muskeln (Soleus) bloss $\frac{1}{120}$ der Dicke des Muskels misst. (Hiervon wird später, S. 289, noch zu reden sein.) Ein ähnliches Verhältnis wie beim Soleus fand Roux beim Brachioradialis.

Wichtig ist es, dass man sich darüber klar wird, in welchem Zustand (Dehnungszustand) sich die Muskeln befinden, wenn man ihren Querschnitt misst. Der Muskelquerschnitt nimmt offenbar fortgesetzt verschiedene Werte an, wenn man den Muskel von seiner kleinsten Länge L_{\min} bis zu seiner grössten

¹⁾ Vgl. Triepel, Einführung in die physikalische Anatomie. Wiesbaden 1902. S. 120 u. 135.

²⁾ Roux, Ges. Abhandlungen über Entwicklungsmech. d. Organismen. 1. Bd. Leipzig 1895. S. 174 Anm. (Späterer Zusatz in: „Der züchtende Kampf der Teile oder die Teilauslese im Organismus“).

Länge L_{\max} ausdehnt. Da man hier von der geringen Volumenveränderung, die mit der Längenänderung verknüpft ist, absehen und man daher $L_{\min} \cdot Q_{\max} = L_{\max} \cdot Q_{\min}$ setzen kann, und da ferner im lebenden Körper $L_{\max} = 2 L_{\min}$ ist¹⁾, so folgt, dass während des Lebens der Muskelquerschnitt von seinem grössten Werte aus auf die Hälfte herabsinken kann. Wenn wir nun Q an der Leiche bestimmen, so wird weder der grösste noch der kleinste Wert, den der Muskelquerschnitt überhaupt annehmen kann, zur Beobachtung kommen, sondern ein mittlerer, bei dem viele Muskeln um ungefähr 50% ihrer natürlichen Länge gedehnt sind. Wenn wir die Querschnittsquotienten verschiedener Muskeln miteinander vergleichen wollen, müssen wir die Voraussetzung machen, dass der Dehnungszustand, bei dem die Muskeln zur Beobachtung kommen, in allen Fällen wenigstens annähernd der gleiche ist.

Dass zwischen Muskel- und Sehnenquerschnitt ein Abhängigkeitsverhältnis besteht, oder dass, genauer ausgedrückt, der Muskel durch seine Thätigkeit die Dicke seiner Sehne beeinflusst, ergibt sich von vornherein aus folgender Überlegung. Es ist bekannt, dass wir die Dicke der Muskeln durch Übung in bedeutendem Grade steigern können. Gewisse Athletenschulen geben sogar Masse an, um die bei ihren Schülern der Umfang der Extremitäten durch Wachstum der Muskelquerschnitte in bestimmter Zeit zunehmen soll. Wenn nun die Sehnen bei der Muskelübung nicht auch an Dicke gewannen, so müssten die Querschnittsquotienten sehr schnell wachsen, sodass bald die Sehnen durch die Muskelkontraktion zerrissen würden, was um so eher eintrete, je grösser vor der methodischen Übung die Querschnittsquotienten gewesen sind. Nun ereignen sich aber Sehnenrupturen bei Athleten durchaus nicht häufiger als bei anderen Menschen²⁾.

1) Triepel, l. c., S. 110.

2) Vgl. Maydl, K., Über subkutane Muskel- und Sehnenzerreissungen sowie Rissfrakturen. Deutsche Zeitschr. f. Chirurgie. 17. Bd. 1882. S. 306 u. S. 513. 18. Bd., 1883. S. 35.

Roux macht an mehreren Stellen¹⁾ die Angabe, dass die Dicke der Sehnen durch die Thätigkeit der Muskeln gesteigert wird, freilich ohne hierfür Belege anzuführen.

Hier muss auch auf die Befunde hingewiesen werden, die Levy nach Durchschneidung der Achillessehne von Kaninchen relob. Er fand²⁾, dass neues Bindegewebe in sehr viel grösserer Menge gebildet wurde, wenn Muskelzug auf die Sehnennarbe einwirken konnte, als wenn dies durch Muskelexstirpation oder Ischiadicusresektion verhindert wurde.

Dass bei Ausfall oder ungewöhnlicher Schwäche der Muskelthätigkeit die Sehnen nicht ihre normale Dicke erhalten, ist leicht zu zeigen. Ich selbst konnte das an zwei Unterschenkeln feststellen, deren einer einen Pes equinus trug, während an dem anderen eine Pseudarthrose der Tibia vorhanden war, die seit der frühesten Jugend des betreffenden Individuums bestanden hatte. Von den beiden Fällen wird später noch die Rede sein (S. 279 ff).

I. Material und Methode.

Die Leichen, an denen ich meine Messungen anstellte, waren meistens auf dem Präpariersaal ausgegeben worden. Die Benutzung dieses Materials war leicht durchzuführen, wenn es sich darum handelte, Querschnittsquotienten einiger weniger Muskeln bei einer grösseren Reihe von Individuen zu bestimmen. Es musste nur darauf geachtet werden, dass die Muskeln und Sehnen möglichst unmittelbar, nachdem sie freigelegt waren, zur Messung kamen, damit sich ihr Querschnitt nicht durch Austrocknung

¹⁾ Roux, Über die Leistungsfähigkeit der Prinzipien der Descendenzlehre zur Erklärung der Zweckmässigkeiten des tierischen Organismus. Breslau 1880. S. 25, auch Ges. Abhandl. Leipzig 1895. I. Bd., S. 126. — Der Kampf der Teile im Organismus. Leipzig 1881. S. 17 ff., auch Ges. Abhandl. I. Bd., S. 168.

²⁾ Levy, O., Über Versuche zur Frage von der funktionellen Anpassung des Bindegewebes. Anat. Anz. Ergänzungsheft z. 21. Bd. S. 58. 1902.

verkleinerte. Deswegen war es nötig, dass den Präparanten öfter als gewöhnlich Nachhilfen gegeben und unter Umständen kleine Strecken im voraus präpariert wurden. Die meisten der Leichen, die zur Verwendung kamen, waren mit Wickersheimerscher Flüssigkeit injiziert worden, einige mit Formalin-glycerinspiritus, nur wenige der benutzten Extremitäten wurden ohne Injektion der Gefässe in verdünntem Spiritus aufbewahrt. In der Mehrzahl der Fälle wurde das Material in demselben Winter, in dem es an die Anatomie fiel, verarbeitet, einige Male stammten die untersuchten Objekte aus früheren Wintern. (Über alles das werden in den später folgenden Tabellen Angaben gemacht werden.)

Die Umstände brachten es mit sich, dass viel mehr Leichen aus dem zweiten Kurs (Nerven- und Gefässpräparation) als aus dem ersten Berücksichtigung finden konnten. Die Injektion der Blutgefässe mit einer erstarrenden Masse erwies sich als einflusslos, denn wie sich beim Durchschneiden der Muskeln zeigte, fand sich innerhalb der gemessenen Querschnitte entweder überhaupt keine Injektionsmasse oder höchstens ein Gefässchen von so kleinem Durchmesser, dass hierdurch ohne Zweifel die Resultate nicht in merklicher Weise verändert wurden.

Den Querschnitt von Muskeln und Sehnen berechnete ich aus ihrem Umfang. Ist der Querschnitt ein Kreis mit dem Umfang U , so findet man den Flächeninhalt $Q = \frac{U^2}{4\pi}$. Man kann den Muskeln im allgemeinen leicht eine solche Form geben, dass ihr Querschnitt kreisförmig wird. Ich mass durch ein umgelegtes Band den Umfang des Muskelkörpers an der dicksten Stelle (in halben mm) und fand es dabei zweckmässig das Band etwas anzuziehen (natürlich ohne dass es in den Muskel einschnitt); ein derartiger Zug wirkte mit daraufhin, dass dem Muskel ein kreisförmiger Querschnitt gegeben wurde, denn ein gegebener Flächeninhalt hat den kleinsten Umfang, wenn er Kreisform besitzt.

Dadurch, dass ich auch bei Sehnen den Querschnitt aus dem Umfang bestimmte und ich dabei einen kreisförmigen Querschnitt voraussetzen musste, war ich in der Auswahl der zu messenden Muskeln beschränkt: ich konnte nur solche Muskeln berücksichtigen, deren Sehnen rundlich sind. Doch lassen sich auch die Sehnen in ihrer Form veränderten, wenn auch in geringerem Grade als die Muskeln; solchen Sehnen, die nicht von Natur rundlich, sondern ein wenig plattgedrückt sind, kann man durch Drehen zwischen den Fingern einen annähernd kreisförmigen Querschnitt geben. Besonders leicht lassen sich solche geringe Formveränderungen bei den mit Wickersheimerscher Flüssigkeit vorbehandelten Leichen ausführen. Die Messung selbst nahm ich in der Weise vor, dass ich einen schmalen Streifen sehr dünnen, aber festen Papiers so um die Sehne legte, dass sich seine Ränder berührten, und hierauf die Ränder mit dem Skalpell einschnitt. Die Entfernung der beim Schnitt sich ergebenden Ecken — also den Umfang der Sehnen — las ich an einem (genau gearbeiteten) verjüngten Massstab ab.

Die Grösse der Fehler, die begangen wurden, wenn die gemessenen Querschnitte (von Muskeln oder Sehnen) nicht genau kreisförmig, sondern elliptisch waren, liessen sich berechnen. Man macht nämlich, wenn in Wirklichkeit ein Ellipse vorliegt, deren Achsen sich verhalten

wie 10 : 9,	einen Fehler von 0,4 ⁰ / ₀ ,
„ 5 : 4, „ „ „	2 ⁰ / ₀ ,
„ 4 : 3, „ „ „	3,1 ⁰ / ₀ ,
„ 2 : 1, „ „ „	19 ⁰ / ₀ ¹⁾ .

Wie man sieht, ist der Fehler sehr gering, wenn die Abweichung des Querschnittes von der Kreisform nicht beträcht-

1) Ich möchte die weitläufige Rechnung, die zu diesen Zahlen führt, nicht ausführlich wiedergeben. Sie geht davon aus, dass aus einem bestimmten Umfang der Inhalt des zugehörigen Kreises und der Inhalt der zugehörigen Ellipse von gegebenem Achsenverhältnis berechnet wird.

lich ist, er wächst dagegen bedeutend, wenn die Abweichung ein höheres Mass erreicht.

Es musste bei der Untersuchung mehr mit Fehlerquellen anderer Art gerechnet werden. So konnten Fehler dadurch herbeigeführt werden, dass die Methode, wie überhaupt eine jede Messungsmethode, besonders wenn sie bei unserem leicht veränderlichen Material angewandt wird, keine absolut genauen Resultate liefert. Ferner wurde zwar eine möglichst gleichmässige Behandlung der Untersuchungsobjekte auf dem Präparieresaal erstrebt, sie war aber nicht in allen Fällen zu erreichen. Ungleichheiten in der Konservierung der Leichen sollen in den folgenden Tabellen berücksichtigt werden.

Eine besondere Behandlung erforderten die gefiederten Muskeln. Roux giebt an¹⁾, dass er auch bei gefiederten Muskeln den Querschnitt senkrecht zur Faserrichtung gemessen habe, wozu bei den dicken gefiederten Muskeln Zerlegung in viele einzelne Stücke nötig gewesen sei.

Der so ermittelte Querschnitt bezeichnet aber im allgemeinen nicht diejenige Kraft, die bei der Kontraktion auf die Sehne übertragen wird. Durch die schräge Lagerung der Fasern, die bei gefiederten Muskeln sich finden muss, geht für die in der Richtung der Sehne wirkende Beanspruchung ein grosser Teil der Kraft verloren, und zwar, wie Roux an einer anderen Stelle²⁾ sagt, bis zu 20—30 %. Die Grösse des Verlustes ist offenbar bei verschiedenen Muskeln verschieden, sie hängt von der Grösse des Winkels ab, den Faserrichtung und Sehnenrichtung miteinander bilden. Gelegentlich wird er fast verschwindend gering sein, in anderen Fällen, wie beim Soleus, dessen tiefe Fasern mit der Horizontalen oft recht kleine Winkel einschliessen, wird er nach meiner Schätzung 30 % wohl übertreffen³⁾.

1) Roux, l. c. (Ges. Abh. I. S. 178. Anm.).

2) Roux, Ges. Abhandl. I. Bd. S. 269 u. Anm. (1895).

3) Es ist beachtenswert, dass sich in einfach gefiederten Muskeln, wenn

Andererseits wird durch die Fiederung die in der Richtung der Sehne wirkende Kraft des Muskels vermehrt, weil mehr Fasern an der Sehne angreifen, als es möglich wäre, wenn alle Muskelfasern in derselben oder annähernd derselben Höhe ihren Ursprung nähmen.

Wichtig ist bei gefiederten Muskeln das Verhältnis, in dem die Länge der einzelnen Muskelfasern zur Gesamtlänge des Muskelbauches steht. Auf dieses Verhältnis gründet sich die Methode, die ich bei der Bestimmung des wirksamen Querschnittes gefiederter Muskeln anwandte. Fand ich die Faserlänge gleich der halben Muskellänge oder grösser als diese, so konnten die gefiederten Muskeln bei der Bestimmung des Querschnittes (und des Querschnittsquotienten) ebenso wie ungefederte behandelt werden, denn, wie Fig. 1 erkennen lässt, waren sämtliche Faserquerschnitte in den gemessenen Muskelquerschnitten enthalten. (Die dicken Striche in der Figur bedeuten Sehnenfasern).

In den Fällen, in denen die Faserlänge kleiner war als die halbe Muskellänge, berechnete ich zwei Grenzwerte, zwischen denen die wahren Werte der wirksamen Querschnitte notwendigerweise liegen mussten. Den kleineren der beiden Grenzwerte bestimmte ich wie bei ungefederten Muskeln dadurch, dass ich den Umfang des Muskels an seiner dicksten Stelle mass, nur hatte ich zuvor Fascien, von denen die Fasern entsprangen, oder Ursprungssehnen sauber abzupräparieren. Wenn ich ferner den so bestimmten Querschnitt mit dem um 1 verminderten Quotienten aus der Muskellänge und der mittleren Faserlänge multiplizierte, gewann ich einen zweiten Grenzwert, der jedenfalls grösser war als der wirksame Querschnitt. Das Verfahren

sie atrophieren, der durch die Fiederung bedingte Kraftverlust verringert, weil der Winkel zwischen Faserrichtung und Sehnenrichtung spitzer wird.

führte ungefähr zu demselben Ergebnis, das ich erhalten hätte, wenn ich den Muskel in einzelne Bündel zerlegt und deren Querschnitte sämtlich summiert hätte. Seine Berechtigung erhellt wohl ohne weiteres aus Fig. 2. Hier sind die Abmessungen so gewählt, dass die Muskellänge gerade viermal so gross ist

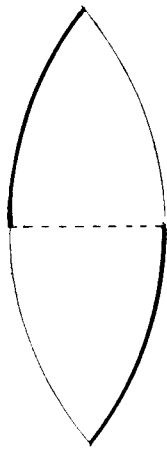


Fig. 1.

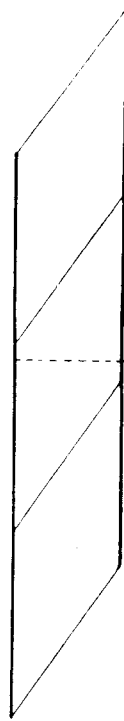


Fig. 2.

wie die Faserlänge. Man hätte den gemessenen Querschnitt also mit 3 zu multiplizieren, um zu dem oberen Grenzwert zu gelangen.

Welchem von den beiden Grenzwerten der wahre Wert des wirksamen Querschnittes näher liegt, ist bei den einzelnen Muskeln verschieden. Der obere Grenzwert wird in Frage

kommen, wenn die meisten Fasern einander parallel sind und nicht sehr in ihrer Länge sich unterscheiden; im umgekehrten Fall wird sich der wahre Wert mehr dem unteren Grenzwerte nähern. Für die Querschnittsquotienten ergeben sich bei den gefiederten Muskeln mit relativ kurzen Fasern natürlich gleichfalls zwei Grenzwerte.

Zum Bestimmen der Muskel- und Sehnenquerschnitte habe ich auch andere Methoden angewendet, ich habe z. B. die Querschnitte abgedruckt und die erhaltenen Figuren ausgemessen. Ich erhielt aber mit dem oben beschriebenen Verfahren die zuverlässigsten Ergebnisse.

Nur bei Neugeborenen, die ich zum Vergleich heranzog, waren die von mir untersuchten Muskeln und Sehnen so dünn, dass ich ihren Umfang in der angegebenen Weise nicht messen konnte. Ich bettete deswegen Muskeln und Sehnen in Paraffin ein, fertigte von ihnen Stufenschnitte an, die zu ihrer Längsachse senkrecht standen, und zeichnete mit Hilfe des Edingerschen Projektionsapparates bei den Muskeln die grössten, bei den Sehnen die kleinsten Querschnitte ab. Die vergrösserten Abbildungen wurden mit einem Polarplanimeter ausgemessen.

II. Extensor carpi radialis longus, Semitendinosus, Gracilis.

A. Beobachtungen.

Schlüsse, die sich auf die Ergebnisse von Messungen stützen, werden um so mehr Berechtigung haben, je grösser das Material ist, an dem die Untersuchungen vorgenommen wurden. Deswegen sah ich fürs erste davon ab, die Querschnittsquotienten bei sehr vielen Muskeln zu bestimmen, sondern ich richtete mein Hauptaugenmerk zunächst auf nur drei Muskeln, die ich dafür in um so mehr Fällen untersuchen konnte. Ich wählte

den Extensor carpi radialis longus, den Semitendinosus und den Gracilis, weil sie einmal rundliche Sehnen haben, und weiterhin weil bei ihnen eine Fiederung teils fehlt, teils so wenig ausgesprochen ist, dass man sicher ist, bei einer einzigen Umfangmessung die Querschnitte sämtlicher Muskelfasern berücksichtigt zu haben.

Über die Inscriptio tendinea des Semitendinosus muss eine kurze Bemerkung gemacht werden. Die dickste Stelle des Muskels, an der der Umfang gemessen wurde, lag in der Regel so, dass die schräg verlaufende Inskription durch sie hindurchzog. Schneidet man den Muskel an der betreffenden Stelle durch, so findet man die Inskription auf dem Querschnitt in Gestalt einer Linie. Auf dieser Linie sind die durch den Muskel hindurchziehenden Muskelfasern sehnig unterbrochen. Der Querschnitt wird daher (in allerdings recht geringem Grade) kleiner erscheinen, als es der Fall wäre, wenn diese Unterbrechung nicht stattfände. Da nun trotzdem, wie sich zeigen wird, der Querschnitt des Semitendinosus relativ gross ist, kann die kleine Ungenauigkeit ganz unberücksichtigt bleiben.

Zwischen den Sehnen der beiden Extensores carpi radiales finden sich bekanntlich oft verbindende Streifen oder Bündel. Diese Zwischensehnen wurden bei der Messung dann mit berücksichtigt, wenn die zu ihnen gehörenden Muskelfasern in dem gemessenen Muskelquerschnitt lagen.

Ich werde zunächst in Tab. I alle Befunde mitteilen, die ich bei den drei von mir bevorzugten Muskeln erhoben habe. Unter Q_m und Q_s sind dabei die Muskel- bzw. Sehnenquerschnitte in mm^2 angegeben, unter Qq die Querschnittsquotienten. Unter „Vorbehandlung“ ist bemerkt, ob und ev. mit welcher Flüssigkeit die Leichen injiziert worden waren, und zwar bedeutet W Injektion mit Wickersheimerscher Flüssigkeit, F Injektion mit einer Formalinglycerinspiritusmischung, S Konservierung der nicht injizierten Extremitäten in verdünntem Spiritus. Ein * neben einem dieser Buchstaben besagt, dass die

betr. Leichen einen Sommer, * *, dass sie mehrere Jahre lang in dünnem Spiritus aufgehoben waren. In den nicht durch Kreuze hervorgehobenen Fällen konnte die Untersuchung bald nach der Einlieferung der Leichen vorgenommen werden. Als Todesursache ist die von den einliefernden Anstalten oder Behörden mitgeteilte angegeben.

Leider weist die Tabelle einige Lücken auf; namentlich war es mir aus äusseren Gründen in einer Reihe von Fällen nicht möglich, den Extensor carpi rad. long. zu messen. Es werden sich aber auch so bemerkenswerte Thatsachen feststellen lassen.

Es ist zu beachten, dass Q_q mit Hilfe der zuvor berechneten Logarithmen von Q_m und Q_s gewonnen wurde, so daß ab und zu der angegebene Wert Q_q von demjenigen Werte in geringem Grade sich unterscheidet, den man durch Division der unter Q_m und Q_s verzeichneten Zahlen erhält.

Man kann die Zahlen der Tab. I in verschiedener Weise verwerten. Zunächst fällt es auf, dass die Querschnittsquotienten bei demselben Muskel verschiedener Individuen durchaus nicht gleich sind, sondern oft recht erhebliche Unterschiede aufweisen. Damit man der Erscheinung besser nachgehen könne, stelle ich in Tab. II die Befunde noch einmal zusammen, geordnet nach der Grösse des Muskelquerschnittes und eingeteilt in Gruppen nach Muskeln und nach der Art der Vorbehandlung. Die Nummer und Körperseite führe ich in den einzelnen Fällen wieder an, um einen Vergleich mit anderen Angaben der Tab. I zu ermöglichen. Die Bezeichnungen sind in beiden Tabellen die gleichen. Diejenigen Fälle, in denen die Leichen oder Leichenteile, bevor sie zur Untersuchung kamen, längere Zeit in Spiritus aufbewahrt worden waren, sind auch in der zweiten Zusammenstellung durch Sterne (* bezw. **) hervorgehoben.

Tabelle I.

No.	Geschlecht	Alter	Stand	Todesursache	Vor- behandlung	Seite	Extensor carpi rad. long.			Semitendinosus			Gracilis			Bemerkungen
							Qm	Qs	Qq	Qm	Qs	Qq	Qm	Qs	Qq	
1	♂	55 J.	Arbeiter	Gehirnschlag	S*	l.	143,7	10,2	14,2	211,1	6,9	30,7	97,5	4,2	23,0	Rechts Pes equinus.
2	♂	83 J.	Kornmacher	Lungenentzündung	S*	r.	179,5	11,7	15,4	346,6	7,3	47,3	175,8	5,2	33,7	
3	♀	ca. 70 J.	?	?	S**	r.	258,5	13,7	18,9	447,6	12,0	37,2	223,5	6,2	36,3	
4	♂	70 J.	Arbeiter	Kehlkopfkrebs	W	r.	81,5	10,7	7,6	362,6	10,2	35,7	143,7	5,9	24,4	
5	♂	34 J.	Fleischer	Lungentuberkulose	W	l.	157,6	11,8	13,3	143,7	12,0	11,9	53,8	6,6	8,2	
6	♂	58 J.	Schuhmacher	Herzfehler	W	l.	161,1	13,0	12,4	548,2	13,0	42,1	154,1	7,8	19,8	
7	♂	75 J.	Arbeiter	Alterschwäche	W	r.	281,7	14,9	18,9	310,9	14,5	21,4	183,3	8,1	22,6	
8	♂	51 J.	Tuchmacher	Nephritis	F	l.	277,0	12,8	21,6	296,1	10,5	28,1	183,3	8,3	22,2	
9	♀	70 J.	Witwe	Alterschwäche	W	l.	315,8	16,5	19,1	336,2	10,9	30,9	236,4	8,6	27,5	
10	♂	23 J.	Arbeiter	Chron. Bronchitis	W	l.	418,3	12,6	33,1	418,3	12,6	33,1	296,1	6,0	49,2	
11	♂	64 J.	Vogt	Lungenentzündung	F	l.	441,7	12,6	35,0	277,0	12,6	21,9	207,0	6,2	33,6	
12	♂	64 J.	Arbeiter	?	W	l.	277,0	9,6	6,5	245,1	11,5	21,4	100,3	6,4	15,6	
							62,4	9,6	6,5	154,1	12,8	12,0	62,4	7,0	8,9	
							133,8	10,3	12,9	320,9	12,0	26,7	124,2	6,6	18,8	
										346,6	12,0	28,8	100,3	7,5	13,4	
										277,0	8,9	31,0				
										236,4	9,8	24,1				
										509,3	14,5	35,1	223,5	8,6	26,0	
							258,5	11,3	22,9	447,6	15,8	28,3	207,0	7,5	27,6	

No.	Geschlecht	Alter	Stand	Todesursache	Vor- behandlung	Seite	Extensor carpi rad. long.			Semitendinosus			Gracilis			Bemerkungen
							Q _m	Q _s	Q _q	Q _m	Q _s	Q _q	Q _m	Q _s	Q _q	
25	♂	47 J.	Arbeiter	Lungenschwindsucht	W	l.	175,8	11,1	15,9	310,9	9,3	33,5	198,9	5,7	34,6	
26	♂	66 J.	Abdecker	Schwindsucht	W*	r.	258,5	12,2	21,1	341,4	9,8	34,8	161,1	5,7	28,0	
27	♂	78 J.	Schneider	Altersschwäche	W	r.	133,8	13,2	10,1	424,1	14,5	29,2	124,2	7,2	17,3	
							368,0			368,0	12,0	30,6	175,8	7,0	25,0	
							84,1	10,2	8,3	130,5	10,2	12,9	71,6	6,2	11,6	
28	♀	62 J.	Arbeiterin	Schlaganfall	W*	r.	127,3	7,5	17,0	147,1	13,0	11,3	81,5	6,7	12,1	
29	♂	72 J.	Arbeiter	Lufttrötenkatarrh	W*	r.	150,6	7,3	20,5	401,2	12,0	33,3	157,6	5,9	26,8	Links Ankylose des Kniegelenkes.
30	♂	75 J.	Arbeiter	Altersschwäche	W	r.	164,7	11,7	14,1	331,1	12,2	27,1	195,0	6,4	30,3	
							168,4	11,7	14,5	305,9	14,5	21,1	140,4	9,3	15,1	
31	♂	58 J.	Kürschner	Lungenschwindsucht	W	r.	140,4	16,7	8,4	368,0	13,9	26,5	137,1	8,6	15,9	
32	♂	71 J.	Arbeiter	Altersschwäche	W	r.	143,7	16,7	8,6	346,6	15,8	21,9	179,5	8,3	21,7	
33	♀	69 J.	Witwe	Altersschwäche	W	r.	286,5	9,8	29,2	362,6	10,5	22,0	161,1	8,4	19,1	Links Pseudarthrose der Tibia.
							211,1	11,3	18,7	150,6	13,9	10,9	45,8	6,2	7,4	
34	♂	40 J.	fr. Hotelbesitzer	Lungentuberkulose	W	r.	84,1	10,5	8,0	429,9	11,1	38,8	232,0	6,2	37,7	
35	♂	46 J.	Schmied	Gehirnerweichung	W*	r.	74,0	8,3	8,9	435,8	10,7	40,7	263,1	6,4	40,8	
							154,1	9,6	16,0	164,7	9,3	17,8	64,6	5,9	11,0	
							459,6	12,4	37,0	168,4	8,8	19,2	84,1	5,7	14,6	
										175,8	12,8	13,7	66,9	5,9	11,4	
										637,4	10,9	58,5	412,5	6,4	64,0	

Tabelle II.**Extensor carpi radialis longus.****W.**

Nr.	Seite	Q _m	Q _s	Q _q
20	l.	33,4	7,0	4,8
20	r.	44,0	7,8	5,6
9	l.	62,4	9,6	6,5
33	r.	74,0	8,3	8,9
33	l.	84,1	10,5	8,0
27	l.	84,1	10,2	8,3
22	r.	108,9	9,8	11,1
16	l.	124,2	10,7	11,6
*28	l.	127,3	7,5	17,0
9	r.	133,8	10,3	12,9
*26	l.	133,8	13,2	10,1
22	l.	137,1	8,8	15,6
31	l.	140,4	16,7	8,4
31	r.	143,7	16,7	8,6
*28	r.	150,6	7,3	20,5
34	r.	154,1	9,6	16,0
4	l.	157,6	11,8	13,3
4	r.	161,1	13,0	12,4
30	l.	164,7	11,7	14,1
30	r.	168,4	11,7	14,5
25	l.	175,8	11,1	15,9
14	r.	187,2	10,2	18,4
19	l.	195,0	11,3	17,3
24	l.	195,0	14,5	13,4
32	l.	211,1	11,3	18,7
24	r.	219,3	12,2	17,9
19	r.	249,6	12,6	19,8
12	r.	258,5	11,3	22,9
25	r.	258,5	12,2	21,1
5	r.	277,0	12,8	21,6
5	l.	281,7	14,9	18,9
32	r.	286,5	9,8	29,2
6	l.	315,8	16,5	19,1
*35	r.	459,6	12,4	37,0

S.

Nr.	Seite	Q _m	Q _s	Q _q
**3	r.	81,5	10,7	7,6
*1	l.	143,7	10,2	14,2
*1	r.	179,5	11,7	15,4
*2	r.	258,5	13,7	18,9

Semitendinosus.

W.

27	l.	130,5	10,2	12,9
27	r.	147,1	13,0	11,3
31	l.	150,6	13,9	10,9
9	r.	154,1	12,8	12,0
17	l.	161,1	11,8	13,6
22	r.	161,1	7,6	21,1
17	r.	164,7	13,9	11,9
22	l.	164,7	8,4	19,5
33	l.	164,7	9,3	17,8
33	r.	168,4	8,8	19,2
34	r.	175,8	12,8	13,7
31	r.	236,4	15,2	15,6
21	l.	258,5	10,3	25,0
16	l.	281,7	10,7	26,3
16	r.	286,5	10,5	27,2
24	r.	286,5	10,5	27,2
5	l.	296,1	10,5	28,1
23	r.	296,1	15,2	19,5
*29	l.	305,9	14,5	21,1
4	r.	310,9	14,5	21,4
23	l.	310,9	16,1	19,4
25	l.	310,9	9,3	33,5
10	l.	320,9	12,0	26,7
*28	r.	331,1	12,2	27,1
5	r.	336,2	10,9	30,9
24	l.	336,2	10,3	32,5
25	r.	341,4	9,8	34,8
10	r.	346,6	12,0	28,8
30	l.	346,6	15,8	21,9
19	r.	357,2	10,7	33,4
30	r.	362,6	16,5	22,0
*26	r.	368,0	12,0	30,6

Nr.	Seite	Q _m	Q _s	Q _q
*29	r.	368,0	13,9	26,5
14	r.	389,9	9,3	42,0
19	l.	389,9	9,3	42,0
*28	l.	401,2	12,0	33,3
7	l.	418,3	12,6	33,1
*26	l.	424,1	14,5	29,2
32	l.	429,9	11,1	38,8
32	r.	435,8	10,7	40,7
7	r.	441,7	12,6	35,0
12	r.	447,6	15,8	28,3
12	l.	509,3	14,5	35,1
14	l.	541,6	10,7	50,6
4	l.	548,2	13,0	42,1
*35	r.	637,4	10,9	58,5

F.

11	r.	236,4	9,8	24,1
8	r.	245,1	11,5	21,4
8	l.	277,0	12,6	21,9
11	l.	277,0	8,9	31,0
18	r.	490,4	12,8	38,2
15	r.	998,2	18,4	54,3
15	l.	1355,2	18,1	74,7

S.

**3	r.	143,7	12,0	11,9
*1	l.	211,1	6,9	30,7
*1	r.	346,6	7,3	47,3
*2	r.	362,6	10,2	35,7
*2	l.	447,6	12,0	37,2
*13	r.	561,5	11,1	50,7

Gracilis.

W.

17	r.	45,8	6,2	7,4
31	l.	45,8	6,2	7,4
22	l.	49,7	4,1	12,1
9	r.	62,4	7,0	8,9
33	l.	64,6	5,9	11,0

Nr.	Seite	Q _m	Q _s	Q _q
34	r.	66,9	5,9	11,4
31	r.	69,3	6,6	10,5
27	l.	71,6	6,2	11,6
22	r.	81,5	4,8	16,8
27	r.	81,5	6,7	12,1
33	r.	84,1	5,7	14,6
21	l.	97,5	6,0	16,2
10	r.	100,3	7,5	13,4
10	l.	124,2	6,6	18,8
*26	l.	124,2	7,2	17,3
14	r.	127,3	5,4	23,8
16	r.	127,3	6,4	19,8
23	l.	127,3	7,5	17,0
16	l.	137,1	5,7	23,8
*29	r.	137,1	8,6	15,9
*29	l	140,4	9,3	15,1
24	r.	143,7	6,9	20,9
24	l.	150,6	7,2	21,0
4	l.	154,1	7,8	19,8
14	l.	154,1	5,4	28,8
23	r.	154,1	7,8	19,8
*28	l.	157,6	5,9	26,8
25	r.	161,1	5,7	28,0
30	r.	161,1	8,4	19,1
19	l.	175,8	4,6	38,2
*26	r.	175,8	7,0	25,0
30	l.	179,5	8,3	21,7
4	r.	183,3	8,1	22,6
5	l.	183,3	8,3	22,2
*28	r.	195,0	6,4	30,3
19	r.	198,9	5,7	34,6
25	l.	198,9	5,7	34,6
7	r.	207,0	6,2	33,6
12	r.	207,0	7,5	27,6
12	l.	223,5	8,6	26,0
32	l.	232,0	6,2	37,7
5	r.	236,4	8,6	27,5
32	r.	263,1	6,4	40,8
7	l.	296,1	6,0	49,2
*35	r.	412,5	6,4	64,0

Nr.	Seite	Q _m	Q _s	Q _q
F.				
8.	l.	97,5	5,9	16,6
8	r.	100,3	6,4	15,6
18	r.	168,4	7,5	22,5
18	l.	172,1	6,9	25,0
15	l.	331,1	8,6	38,5
15	r.	357,2	8,9	40,0
S.				
**3	r.	53,8	6,6	8,2
*1	l.	97,5	4,2	23,0
*2	r.	143,7	5,9	24,4
*1	r.	175,8	5,2	33,7
*2	l.	223,5	6,2	36,3
*13	r.	373,4	6,3	59,2

Tabelle II zeigt, dass, wie schon bemerkt, bei denselben Muskeln verschiedener Individuen die Querschnittsquotienten nicht gleich sind, sondern dass sie mit steigendem Muskelquerschnitt zunehmen, und zwar zeigt sich in allen Abteilungen der Tabelle dieselbe Erscheinung. Das Anwachsen der unter Q_m und Q_q verzeichneten Werte geht zwar nicht immer vollkommen parallel, aber der Gesamteindruck, den man aus der Zusammenstellung gewinnt, wird hierdurch nicht beeinflusst.

Man könnte versucht sein, die Verschiedenheit des Querschnittsquotienten auf individuelle Unterschiede zurückzuführen, und zwar zunächst auf solche, die auf Differenzen in der Qualität des Muskel- oder Sehnenmaterials beruhen. Dass thatsächlich solche Verschiedenheiten vorkommen, kann nicht wohl bezweifelt werden, und besonders wird die spezifische Leistungsfähigkeit der Muskeln nicht immer die gleiche sein.

So sieht man gelegentlich Menschen, die zwar umfangreiche Muskeln besitzen, die aber doch nur über verhältnismässig geringe Körperkräfte verfügen, während andererseits Personen

mit wenig entwickelter Muskulatur zu grösseren Kraftleistungen befähigt sein können. Auch Roux u. a. haben von dem Vorkommen individueller Unterschiede in der spezifischen Leistungsfähigkeit der Muskeln gesprochen¹⁾. Unter den von mir untersuchten Personen zeichnen sich No. 14 (44 jährige Dienstmagd) und No. 22 (45 jähriger Cigarrenmacher) durch ziemlich kleine Sehnenquerschnitte aus, No. 23 (30 jähriger Töpfer), durch ziemlich grosse; es ist denkbar, dass dort während des Lebens eine besonders geringe, hier eine besonders hohe Leistungsfähigkeit der Muskeln bestanden hat, die in den drei Fällen berechneten Querschnittsquotienten stören an mehreren Stellen die Regelmässigkeit der oben mitgeteilten Reihen.

Individuelle Unterschiede der genannten Art können nun aber, wenn sie auch unzweifelhaft vorhanden sind, doch nicht für alle Verschiedenheiten der Querschnittsquotienten, die sich in Tabelle II zeigen, verantwortlich gemacht werden. Das ergibt sich einfach daraus, dass im allgemeinen mit wachsendem Q_m auch Q_q ansteigt. Wären nur individuelle Unterschiede massgebend, so wäre es gar nicht einzusehen, warum nicht die Querschnittsquotienten bunt durcheinander stehen, warum nicht hie und da am Anfang einer Reihe ganz grosse, am Ende ganz kleine Q_q sich finden. Das ist indessen nicht der Fall, und es muss also noch ein anderes Prinzip wirksam sein.

Wenn Q_q zugleich mit Q_m zunimmt, so kann das darin seinen Grund haben, dass Q_s konstant bleibt oder ebenfalls wächst, aber in geringerem Grade als Q_m , oder endlich drittens kleiner wird. In den meisten Abteilungen der Tab. II erhält man den Eindruck, dass trotz wachsenden Muskelquerschnittes der Wert von Q_s sich nicht weit von einer mittleren Grösse entfernt, seine Veränderungen lassen oft keine bestimmte Tendenz erkennen.

¹⁾ Vergl. Roux, l. c. (Kampf der Teile), S. 22 f., auch Ges. Abh. I. S. 173 f.

In einigen Gruppen ist allerdings ein Ansteigen auch des Sehnenquerschnittes unverkennbar, das aber bedeutend langsamer von statten geht als das Anwachsen des Muskelquerschnittes. So viel ist sicher, dass Q_m innerhalb viel weiterer Grenzen variieren kann als Q_s . Wenn man in den einzelnen Abteilungen jedesmal die kleinsten beobachteten Werte der Einheit gleich macht, so findet man, dass sich verändert

	Q_m	Q_s
beim Extensor carpi rad. l. (W.) . .	von 1 bis 13,8	von 1 bis 2,4
(S.) . .	" 1 " 3,5	" 1 " 1,3
" Semitendinosus (W.)	" 1 " 4,9	" 1 " 2,2
(F.)	" 1 " 5,7	" 1 " 2,1
" (S.)	" 1 " 3,9	" 1 " 1,7
" Gracilis (W.)	" 1 " 9,0	" 1 " 2,3
" (F.)	" 1 " 3,7	" 1 " 1,5
" (S.)	" 1 " 6,9	" 1 " 1,6

Man kann hieraus den Schluss ziehen, dass bei dem einzelnen Individuum die Veränderungen der Sehnenquerschnitte, die sich an Änderungen der Muskelquerschnitte anschliessen (s. oben S. 253 f.), mit diesen nicht gleichen Schritt halten, sondern langsamer als sie eintreten. Der Querschnittsquotient eines jeden Muskels erscheint zunächst bedingt durch die Anforderungen, die während des individuellen Lebens an den Muskel gestellt worden sind, und die vielleicht mehrfach gewechselt haben. Es ist wohl nicht zu bezweifeln, dass mir bei meinen Untersuchungen einerseits solche Personen zur Verfügung gestanden haben, deren Muskelquerschnitte bis zum Eintritt des Todes dauernd zugenommen haben oder doch auf einem einmal erreichten Maximum stehen geblieben sind, und andererseits solche Personen, deren Muskeln atrophisch, bei denen also die verschiedenen Q_m vor dem Tode kleiner geworden sind. Wenn nun die Änderungen der Q_s und der Q_m in gleichem Tempo erfolgten, so müssten (da man den Einfluss individueller Qualitätsdifferenzen nicht zu

hoch anschlagen darf) die Querschnittsquotienten bei denselben Muskeln verschiedener Personen gleich oder nur wenig voneinander verschieden sein. Die Thatsache, dass die Variationsbreite der Q_m bedeutend grösser ist als die der Q_s , erlaubt nur den Schluss, dass während des individuellen Lebens Änderungen des Sehnenquerschnittes langsamer erfolgen als Änderungen des Muskelquerschnittes; der Sehnenquerschnitt ist dauerhafter als der Muskelquerschnitt. Dieser Satz gilt sowohl für den Fall des Wachsens der Q_m als auch für den ihres Kleinerwerdens.

Man kann die Angaben der Tab I. (S. 263 ff.) noch in einer zweiten Weise verwerten, indem man nämlich die Querschnittsquotienten verschiedener Muskeln desselben Individuums untereinander vergleicht.

Hier ist zunächst zu bemerken, dass sich zwischen der rechten und linken Körperseite keine regelmässigen Unterschiede bemerkbar machen; auf solche Abweichungen könnte übrigens, selbst wenn sie sich nachweisen liessen, kaum Gewicht gelegt werden, da es nicht bekannt ist, ob die untersuchten Personen rechtshändig oder linkshändig gewesen sind. Man hat angegeben, dass bei Rechtshändigkeit die Muskeln der rechten oberen und die der linken unteren Extremität besonders gut ausgebildet sein sollen, bei Linkshändigkeit die Muskeln der linken oberen und die der rechten unteren Extremität¹⁾. Auch hierfür ergibt sich, wie ich beiläufig bemerken will, aus meiner Tabelle I kein Anhaltspunkt.

Dagegen findet man auffallende Unterschiede zwischen den Querschnittsquotienten der einzelnen zu derselben Körperhälfte gehörenden Muskeln. Unter den drei Muskeln, über die ich

¹⁾ Vergl. Eisler, P., Referat über Daffner, F.: Artikel „Skelett“ in Eulenburs Realencyklopädie d. ges. Heilkunde. Biol. Centralbl. 21. Bd. Nr. 21 (1. Nov. 1901), S. 684.

bisher berichtet habe, hat in der Regel den grössten Querschnittsquotienten der Semitendinosus, den kleinsten der Extensor carpi radialis longus, und in der Mitte steht der Gracilis. Die Differenzen sind bisweilen recht erheblich, und die weitgehende Regelmässigkeit, mit der sie auftreten, fordert dazu auf, hier mehr als das Spiel von Zufälligkeiten zu suchen, es müssen ganz bestimmte gestaltende Momente sich geltend gemacht haben.

Ausnahmen von der angegebenen Regel finden sich allerdings, und wenn sie auch nicht zahlreich sind, so muss doch bei dem Versuch, die Verschiedenheit der Querschnittsquotienten zu erklären, auf ihr Vorkommen Rücksicht genommen werden. Unter 34 Fällen, in denen der Extensor carpi radialis longus und der Semitendinosus gemessen wurde, weicht der Befund zweimal von dem gewöhnlichen ab, nämlich bei No. 9 r. und No. 34 r. In beiden Fällen zeichnet sich der Extensor durch eine merkwürdig starke Entwicklung aus, bei No. 9 r. ist er fast noch einmal so dick wie auf der linken Seite derselben Leiche, bei No. 34 r. ist er beinahe so dick wie der Semitendinosus, was mit dem meistens beobachteten Verhalten nicht übereinstimmt. Ein Grund für die ungewöhnliche Ausbildung des Extensor carpi rad. long. ist nicht zu ermitteln gewesen. — Der Gracilis ferner hat in 34 Fällen viermal einen kleineren Querschnittsquotienten als der Extensor carpi rad. long. Die beiden schon oben erwähnten Fälle, No. 9 r und No. 34 r sind hier wiederum anzuführen, zu ihnen gesellen sich noch No. 22 l und No. 31 l. Interessant ist es dabei, dass die linke untere Extremität der Leiche No. 31 in Bezug auf Länge und Umfang im Wachstum ungemein zurückgeblieben war (genauere Angaben folgen unten S. 279 f). — Etwas häufiger begegnet man Ausnahmen von der Regel bei den Querschnittsquotienten von Semitendinosus und Gracilis. Hier stehen 56 Fälle zur Verfügung, unter ihnen ist 10mal Qq beim Gracilis grösser als beim Semitendinosus, nämlich bei den No. No. 4 r., 7 l., 13 r., 19 r., 23 r., 25 l., 27 r.,

28 r., 32 r., 35 r. Ein Grund für die verhältnissmässig schwache Ausbildung des Semitendinosus könnte bei No. 4 r. in der Ver- bildung des Fusses gesehen werden. In den anderen Fällen sind veranlassende Momente nicht erkennbar; bei No. 28 ist es auffallend, dass das mit Kniegelenksankylose behaftete Bein das regelmässige, das gesunde Bein dagegen das abweichende Verhalten der Querschnittsquotienten zeigt.

Wenn nun auch im allgemeinen bei den drei Muskeln die angegebenen Verschiedenheiten sich feststellen lassen, so ist doch das Verhältnis, in dem die Querschnittsquotienten zu ein- anderstehen, durchaus nicht immer dasselbe, die Differenzen zwischen den einzelnen Werten von Qq sind bald grösser, bald kleiner. Bei den 34 Körperhälften, von denen ich alle drei Muskeln untersuchen konnte, habe ich daher die mittleren Werte berechnet, ich fand im Mittel Qq beim Extensor carpi radialis longus 15,9, beim Semitendinosus 28,3, beim Gracilis 23,4. Alle drei Zahlen erscheinen übrigens, wie beiläufig be- merkt sei, ziemlich niedrig, was darauf zurückzuführen ist, dass unter den Individuen, die zur Untersuchung kamen, sich meh- rere stark abgemagerte befanden.

Im folgenden Abschnitt wird gezeigt werden, dass auch bei anderen Muskeln als den drei bisher behandelten beachtens- werte Verschiedenheiten der Querschnittsquotienten auftreten. Welche Momente sind es nun, die diese Unterschiede bedingen?

B. Erklärungsversuch.

Da, wie oben gezeigt werden konnte, der Querschnitt eines Muskels sich schneller verändert, als der Querschnitt der zu- gehörigen Sehne, liegt der Gedanke nahe, dass die Grösse des Querschnittsquotienten mit der Intensität des Gebrauches in Zusammenhang steht, der von dem betr. Muskel gemacht wird. (Wenn ich von Intensität oder Lebhaftigkeit des Ge- brauches spreche, lasse ich es ganz dahingestellt, ob der

Muskel etwa besonders häufig in Aktion tritt, oder ob er bei seiner Verkürzung oft grosse Widerstände zu überwinden hat; ich fasse in dem einen Ausdruck alle diejenigen Momente zusammen, die zunächst auf eine Vergrösserung des Muskelquerschnittes hinwirken.) Dass bei lebhafter Thätigkeit eines Muskels sich sein Querschnittsquotient vergrössert, folgt mit Notwendigkeit aus dem vorhergehenden, und umgekehrt ist es zum mindesten wahrscheinlich, dass ein Muskel, der einen grossen Querschnittsquotienten besitzt, sehr lebhaft gebraucht worden ist.

Weil bei manchen Personen einzelne Muskeln eine bevorzugte Ausbildung erfahren, bilden sich individuelle Verschiedenheiten der Querschnittsquotienten heraus, die freilich anderer Art sind als die vorhin (S. 270 f.) gekennzeichneten, auf Qualitätsdifferenzen beruhenden individuellen Unterschiede. Meine Annahme von dem Zusammenhang zwischen Muskelthätigkeit und Querschnittsquotient fände eine erwünschte Bestätigung, wenn sich nach weisen liesse, dass bei den Angehörigen solcher Berufsklassen, in denen gewisse Muskeln besonders angestrengt werden, diese Muskeln auch hohe Querschnittsquotienten besitzen¹⁾. Das Material, das mir zur Verfügung stand, war indessen viel zu klein, als dass es mir möglich gewesen wäre, die Untersuchung nach dieser Richtung auszudehnen.

Wenn nun die Querschnittsquotienten bestimmter Muskeln nicht nur bei einzelnen Individuen, sondern regelmässig gross sind (oder doch wenigstens im Verhältnis zu den Querschnittsquotienten anderer Muskeln gross sind), so deutet das offenbar darauf hin, dass diese Muskeln von allen Menschen intensiv gebraucht werden. Sie werden geübt infolge der besonderen Lebensgewohnheiten des Menschen. Ich halte es für möglich, dass bei verschiedenen Tierspecies homologe Muskeln, selbst

¹⁾ Die Forderung, dass ein solcher Nachweis erbracht werde, ist von Herrn Prof. Fick in der Diskussion zu dem von mir in Halle gehaltenen Vortrag erhoben worden (Anat. Anz. Ergänzungsh. z. 21. Bd., S. 136.)

wenn sie sich in Form und Lage sowie in qualitativer Beziehung gleichen, dennoch verschiedene Querschnittsquotienten haben, infolge der abweichenden Lebensbedingungen der einzelnen Species.

Nun sprechen aber manche Gründe dafür, dass ausser der Intensität der Muskelthätigkeit noch andere Momente die Dicke der Sehnen und somit die Grösse der Querschnittsquotienten beeinflussen. Es ist, wie sich zeigen wird, wahrscheinlich, dass die Sehnen nicht nur ein abhängiges, sondern daneben ein selbständiges Wachstum besitzen.

Bei dem Versuch, die hierfür in Frage kommenden Verhältnisse zu analysieren, ergeben sich Schwierigkeiten aus den Veränderungen, die sich im Muskelsystem während der Wachstumsperiode vollziehen. Es fragt sich, ob im Kindesalter ebenso wie beim Erwachsenen die Muskelquerschnitte in rascherem Tempo wachsen als die Sehnenquerschnitte. Wenn es der Fall ist, so müssen früher alle Muskeln kleinere Querschnittsquotienten gehabt haben, als sie beim Erwachsenen und im besondern zu der Zeit besitzen, in der sie ihre grössten Werte erreichen. Offenbar würde mehr Sehnenmaterial angelegt werden, als die Muskeln zu einer ordnungsmässigen Ausübung ihrer Funktion brauchen. Die Entwicklung überschüssigen Sehnengewebes, einer Art von Reservematerial, scheint mir aber am ungezwungensten durch die Annahme selbstständigen Wachstums erklärt zu werden.

Vielleicht hat aber im Kindesalter die beim Erwachsenen beobachtete Regel keine Geltung, sondern Muskel- und Sehnenquerschnitte nehmen in gleichem Masse zu. Wenn trotzdem bei Abschluss der Wachstumsperiode sich Verschiedenheiten in den Querschnittsquotienten verschiedener Muskeln finden, so ist auch für diesen Fall die Annahme einer selbstständigen Sehnenentwicklung wahrscheinlich gemacht. Die Untersuchung von Individuen im Alter von 16—18—20 Jahren könnte hier Auf-

klärung bringen, leider standen mir solche nicht zur Verfügung. Die jüngste Person, die in Tab. I aufgenommen wurde, war ein 23jähr. Arbeiter, bei ihm finden sich immerhin beachtenswerterweise ziemlich grosse Differenzen in den Querschnittsquotienten des Semitendinosus und Gracilis.

Es könnten endlich die Wachstumsverhältnisse zu verschiedenen Zeiten im Kindesalter sich ändern. Durch Messungen, die man an Kindern verschiedenen Alters anstellt, würde nichts gewonnen werden, wenigstens vorläufig, da man ja doch nicht weiss, in welchem Grade sich während der Wachstumsperiode einerseits die Leistungsfähigkeit der Muskeln, andererseits die Qualität der Sehnen ändert. (Dass überhaupt in den Eigenschaften der Gewebe, besonders des Muskelgewebes, eine Änderung eintritt, ist nicht von der Hand zu weisen.) An Neugeborenen konnte ich einige Messungen anstellen, über die später (s. u. S. 285) zu berichten sein wird. Aus der absoluten Grösse der bei diesen beobachteten Querschnittsquotienten können der soeben genannten Gründe wegen keine Schlüsse gezogen werden.

Für die Annahme selbständigen Dickenwachstums der Sehnen, die hiernach gewagt erscheinen könnte, lassen sich nun aber mehrere triftige Gründe ins Feld führen. Zunächst beobachtet man, dass auch andere bindegewebige Bildungen zur Entwicklung kommen, ohne dass die charakteristischen Reize gewirkt hätten. Bei dem von mir untersuchten Fall von *Pes equinus* (No 4 Tab I) fand ich eine Plantaraponeurose, die zwar dünn, aber in ihren einzelnen Teilen sehr wohl entwickelt war. Es lag ein reiner Spitzfuss vor, die Abnormität bestand, wie eingezogene Erkundigungen bestätigen, seit der Geburt des Trägers. Beim Gehen musste die Körperlast in der Weise gewirkt haben, dass durch sie die Ferse dem Köpfchen der Metatarsalknochen genähert wurde, anstatt von ihnen entfernt zu werden. Dort, wo die Aponeurose gebildet wurde, wirkte also sicher kein Zug, und ein Zug war nicht einmal zur Erhaltung der Aponeurose notwendig!

Aber nicht nur bei aponeurotischen Bildungen, sondern unmittelbar bei Sehnen selbst lässt sich gelegentlich die Existenz eines selbständigen Wachstums nachweisen. Es kommen diejenigen Fälle in Frage, in denen die Muskeln während des Lebens nur in vermindertem Masse funktioniert haben, hier kann offenbar durch Berechnung der Querschnittsquotienten die Frage beantwortet werden, ob die Sehnen sich nur entsprechend dem Grade der Muskelfunktion entwickelten.

In dem soeben angezogenen Falle von *Pes equinus* fand ich die Sehnen der am Unterschenkel liegenden Muskeln leidlich gut entwickelt, obgleich eine nur schwach ausgebildete Muskulatur vorlag. Auf die ausführliche Wiedergabe der Befunde möchte ich jedoch verzichten, weil ich an dem anderen normalen Unterschenkel keine Messungen ausgeführt habe, deren Ergebnisse zum Vergleich herangezogen werden könnten.

Dagegen will ich im folgenden die Beobachtungen wiedergeben, die ich bei dem 58jährigen Kürschner L. (No. 31 Tab. I) machte. Es lag hier eine doppelte Pseudarthrose am unteren Teil der linken Tibia vor, ein Bruch der Fibula in deren unterem Teil war geheilt, und zwar so, dass beide Bruchstücke in einem rechten Winkel zu einander standen und das untere Fragment, an dem der Fuss hing, nach der Medianebene des Körpers gerichtet war. Fuss und Unterschenkel waren sehr viel kleiner als auf der rechten Seite. Die ganze Leiche war ziemlich stark abgemagert.

Vor längerer Zeit, 15 Jahre vor seinem Tode, war L. wegen eines Haematoma bursae praepatellaris am rechten Knie vorübergehend in der Greifswalder chirurgischen Klinik, und es wurde mir freundlichst gestattet, die damals abgefasste Krankengeschichte einzusehen. Aus ihr ergibt sich, dass L. im Alter von 6 Wochen fallen gelassen wurde und dabei eine Fraktur der linken Tibia und Fibula erlitt, die völlig unbeachtet und verwahrlost blieb. L. hat sich beim Gehen immer eines Krückfusses bedient, auf den das linke Knie aufgelagert war. Bei

seinem Aufenthalt in der Klinik war Streck- und Beugemusku-
latur „leidlich erhalten“ sowie funktionsfähig.

Der linke Unterschenkel und Fuss sind bei L. nach dem Unfall weiter gewachsen, sie haben eine Grösse erreicht, wie sie etwa dem Unterschenkel und Fuss eines 12jährigen Knaben zukommt. Ich fand die Tibia (Summe der drei Bruchstücke) 19 cm lang (gegen 36 cm rechts), die Fibula 24 cm (r. 36,5 cm), den Fuss 18,5 cm (r. 25,5).

In der folgenden Tabelle will ich die bei L. beiderseits gefundenen Werte der Muskel- und Sehnenquerschnitte, sowie der Querschnittsquotienten zusammenstellen. Da es sich nur um eine Vergleichung zwischen rechts und links handelt, kann ich mich darauf beschränken, für die Muskelquerschnitte auch bei den gefiederten Muskeln nur je einen Wert anzugeben, und zwar wähle ich den unteren der beiden Grenzwerte (s. die Angaben über meine Methode S. 258 f.). Der Vollständigkeit halber seien die Zahlen aus Tab. I (Nr. 31) wieder mit aufgeführt.

Tabelle III.

Muskel	links			rechts		
	Qm	Qs	Qq	Qm	Qs	Qq
Semitendinosus	150,6	13,9	10,9	236,4	15,2	15,6
Semimembranosus	227,8	27,2	8,4	484,2	41,4	11,7
Gracilis	45,8	6,2	7,4	69,3	6,6	10,5
Triceps surae	359,0	31,8	11,3	1289,5	63,7	20,2
Tibialis posterior	53,8	8,1	6,6	183,3	25,2	7,3
Flexor hallucis long.	28,7	8,4	3,4	137,1	19,4	7,1
Flexor digit. comm. long. ¹⁾ . . .		7,5		58,0	13,0	4,5
Tibialis anterior	42,1	10,9	3,9	310,9	20,4	15,3
Extensor hallucis long.	13,5	4,5	3,0	92,0	8,8	10,5
Extensor digit. comm. long. . .	23,0	7,8	2,9	103,1	13,9	7,4
Peroneus long.	51,8	8,9	5,8	140,4	15,8	8,9
Peroneus brev.	27,2	8,3	3,3	45,8	12,2	3,7

¹⁾ Der Muskel war linkerseits ausserordentlich dünn und zerriss, als ich versuchte, seinen Umfang zu bestimmen.

Die Deutung der Befunde wäre sehr einfach, wenn die Muskeln des L., als dieser starb, auf dem Höhepunkt ihrer Entwicklung gestanden hätten, und nicht zuvor ihr Volum infolge von Inanition reduziert worden wäre. Dann müsste man aus der Thatsache, dass an dem normalen rechten Bein alle Querschnittsquotienten grösser, ja manche bedeutend grösser sind als auf der linken Seite, offenbar schliessen, dass an dem im Wachstum zurückgebliebenen Bein die Sehnen sich nicht nur entsprechend dem Muskelzuge entwickelt haben, sondern dass ihre Entwicklung zum Teil unabhängig von äusseren Kräften vor sich gegangen ist.

Indessen waren die Muskeln, wie der Augenschein lehrte, und wie sich aus der Kleinheit der am rechten Bein beobachteten Muskelquerschnitte ergibt, in atrophischem Zustande. Zu demselben Resultate freilich wie vorhin würden wir gelangen, wenn beim Atrophieren von Muskeln die Grösse der Atrophie, die bei den einzelnen Muskeln Platz greift, ihrem Querschnitt proportional ist; dann würde das Verhältnis der verschiedenen Querschnittsquotienten zu einander immer das gleiche bleiben. Ob das aber der Fall ist, erscheint immerhin fraglich. Günstig für uns wäre es, wenn bei dem Kürschner L. die Muskeln des rechten Beines schneller als die des linken atrophiert wären, ungünstig, wenn das Umgekehrte eingetreten wäre. Man könnte vielleicht meinen, die Muskeln des rechten Beines seien durch ihre stärkere Funktion besser als die des linken gegenüber der Atrophie geschützt gewesen. Aber andererseits sind die Muskeln des linken Beines infolge der geringen Funktion ursprünglich überhaupt nur zu geringer Grösse entwickelt worden, und das geringe Mass von Funktion hat vermutlich für die von vornherein schwachen Muskeln dieselbe schützende Bedeutung gehabt wie die stärkere Funktion für die stärkeren Muskeln. Ich möchte mich daher der Ansicht zuneigen, dass die Atrophie auf der rechten und auf der linken Seite annähernd gleichmässig d. h. proportional dem Muskelquerschnitt) aufgetreten ist.

Durch die vorstehenden Ausführungen wird es wahrscheinlich gemacht, dass den Sehnen ausser dem abhängigen auch ein selbständiges Wachstum zukommt. Mit anderen Worten: ein Teil der Sehnendicke wird vermutlich durch Vererbung übertragen. Diejenigen Eigenschaften, die uns vererbt werden, haben unsere Vorfahren besessen, und ich glaube annehmen zu sollen, dass der übertragbare Anteil des Sehnenquerschnittes von unseren Vorfahren durch Muskelthätigkeit erworben worden ist. (Wenn ich von einem „übertragbaren Anteil des Sehnenquerschnittes“ spreche, handelt es sich natürlich nicht um eine von vornherein feststehende Grösse, sondern um eine solche, die sich im Verhältnis zur Beschaffenheit des Gesamtorganismus verändern kann.)

Diese Hypothese lässt sich gut in Einklang bringen mit den oben gegebenen Ausführungen über den Zusammenhang von Gebrauchsintensität und Querschnittsquotient. Hat ein Muskel einen kleinen Querschnittsquotienten, so können wir daraus schliessen, dass er von dem lebenden Geschlecht wenig intensiv gebraucht wird; die Schwäche des Gebrauches ist eine Folge der Lebensgewohnheiten der heutigen Menschen. Aus der verhältnismässig starken Entwicklung der Sehne erkennen wir zugleich, dass der Muskel früher einmal intensiver gebraucht wurde. Andere Momente als Muskelthätigkeit bewirken, wie noch zu zeigen sein wird (S. 287 f.) im allgemeinen keine Vergrösserung des Sehnenquerschnittes. Darum kann es gar nicht anders sein, als dass eine jetzt stattfindende selbständige, d. h. vererbte Entwicklung dicker Sehnen darauf hinweist, dass die zu ihnen gehörenden Muskeln früher intensiv gebraucht worden sind. Der Eintritt von Änderungen in der Lebhaftigkeit, mit der dieser oder jener Muskel gebraucht wird, ist begreiflich, da ja auch die Lebensgewohnheiten unserer Vorfahren andere waren als die unsrigen. Hieraus ergibt sich der Satz: nicht nur während des individuellen Lebens, sondern auch

während der Phylogenese ist der Sehnenquerschnitt dauerhafter als der Muskelquerschnitt.

Diese Behauptung wird dadurch gestützt, dass wir uns bereits daran gewöhnt haben, die grosse Dauerhaftigkeit des Bindegewebes in verschiedenen Fällen anzuerkennen. Wir nehmen auf Grund vergleichend anatomischer Thatsachen von einer ganzen Reihe bindegewebiger Bildungen an, dass sie aus Muskeln hervorgegangen sind, die sich ursprünglich an homologer Stelle befunden haben. Hierbin gehören z. B. der aponeurotische Ursprung des langen Tricepskopfes, das Lig. sacrotuberosum, das Lig. collaterale fibulare. Wir können in diesen Fällen nicht wohl meinen, dass im Lauf der Zeit das Muskelgewebe etwa auf dem Wege der Metaplasie in Bindegewebe umgewandelt worden sei, es erscheint nur glaubhaft, dass beim Schwunde der Muskulatur sich das intramuskuläre Bindegewebe erhalten und zu aponeurotischen oder sehnigen Bildungen verdichtet habe.

Auch andere Ergebnisse vergleichend anatomischer Studien müssen hier angezogen werden. Sehr lehrreich ist die Arbeit Kolsters über den Pronator teres der Säugetiere¹⁾. Kolster fand, dass dieser Muskel bei Tieren in den allerverschiedensten Graden der Ausbildung vorkommt. Beim Pferd (S. 699), bei der Ziege (S. 705), beim Schaf (S. 706) ist er vollständig in ein sehniges Gebilde umgewandelt, beim Rind (S. 707 f.) — das ist besonders interessant — nimmt während der Zeit des Wachstums die Menge der Muskelfasern im Verhältnis zur Menge der Sehnenfasern beständig ab (vgl. u. S. 285 f.).

Der Querschnittsquotient eines Muskels giebt uns, der soeben begründeten Auffassung zufolge, Aufschluss über die phylogenetische Stellung, die der Muskel einnimmt. Natürlich genügt es nicht, dass man den Querschnittsquotienten eines einzigen Muskels bestimmt, sondern man muss mehrere Muskeln

¹⁾ Kolster, R. Vergleichend anatomische Studien über den M. pronator teres der Säugetiere. Anat. Hefte. I. Abt. 17. Bd., S. 673. 1901.

desselben Menschen (oder Tieres) zum Vergleich heranziehen. Ein verhältnismässig grosser Querschnittsquotient deutet darauf hin, dass der betreffende Muskel in fortschreitender Entwicklung begriffen ist oder doch in seiner Entwicklung still steht; Muskeln mit kleinen Querschnittsquotienten verändern sich wahrscheinlich regressiv.

Indessen ist doch bei Schlüssen, die man aus der Grösse des Querschnittsquotienten über die Vergangenheit und die Zukunft eines Muskels zieht, die grösste Vorsicht geboten. Denn es ist möglich, dass während der phylogenetischen Entwicklung eines Muskels Perioden progressiver und regressiver Veränderungen mehrfach miteinander abgewechselt haben. Da nun, wie wir wissen, manche Eigentümlichkeiten der Organismen mit grösster Zähigkeit durch ungezählte Tausende von Generationen hindurch vererbt werden, so wird das Verhältnis zwischen Muskel- und Sehnenquerschnitt vielleicht von der ganzen Geschichte dieses Muskels oder doch einem grossen Teil von ihr beeinflusst. Es liegt mir daher auch fern, die Querschnittsquotienten als untrügliche Kennzeichen des phylogenetischen Wertes der Muskeln empfehlen zu wollen. Meine Absicht ist nur die, ein Prinzip für die Erklärung der Unterschiede zu liefern, die unzweifelhaft zwischen den Querschnittsquotienten bestehen.

Nur mit aller Reserve möchte ich daher auch die Konsequenzen ziehen, die sich aus meiner Hypothese für die drei von mir vorzugsweise untersuchten Muskeln ergeben. Vom Semitendinosus kann man es nach den Befunden als ziemlich wahrscheinlich bezeichnen, dass er sich gegenwärtig progressiv, vom Extensor carpi rad. long., dass er sich regressiv verändert. Hiermit würde es im Einklang stehen, dass Variationen beim Semitendinosus nur selten, bei den Extensores carpi radiales dagegen sehr oft beobachtet werden¹⁾. Es pflegen ja bei solchen

¹⁾ Vergl. Le Double, A. F., *Traité des variations du système musculaire de l'homme*. Paris 1897, sowie die daselbst T. II, p. 433—435 wiedergegebene Zusammenstellung nach Wood.

Organen, die zweifellos sich in Rückbildung befinden, regressive (atavistische) Variationen in vielen Fällen aufzutreten. Über den Gracilis möchte ich eine bestimmte Meinung nicht äussern¹⁾.

Untersuchungen embryonalen Materiales oder Messungen, die an Neugeborenen vorgenommen wurden, konnten möglicherweise zu Ergebnissen führen, die sich im Sinne der oben entwickelten Hypothese verwerten liessen. Ich bestimmte daher die Querschnittsquotienten der drei Muskeln bei drei Neugeborenen (zwei von ihnen waren nicht vollkommen ausgetragen). In der folgenden kleinen Tabelle stelle ich die Zahlen zusammen, die ich beim Extensor carpi rad. long. und beim Semitendinosus fand.

Tabelle IV.

	Extensor carpi rad. long.			Semitendinosus		
	Q _m	Q _s	Q _q	Q _m	Q _s	Q _q
Nr. I, ♀, 53 cm lang, l.	30,4	0,41	74,6	73,9	0,99	74,6
r.	29,4	0,82	36,1	55,8	1,17	47,9
Nr. II, ♂, 41 cm lang, l.	19,5	0,35	55,7	25,7	0,47	55,1
r.	20,3	0,29	69,6	24,1	0,58	41,3
Nr. III, ♀, 43 cm lang, l.	16,7	0,35	47,7	23,4	0,82	28,7
r.	16,6	0,35	47,5	23,9	0,82	29,3

Die Befunde sind in den drei Fällen nicht gleichmässig, was vermutlich mit den unvermeidlichen Messungsfehlern in Zusammenhang steht (über die angewandte Methode s. oben S. 260), und es ist daher schwer, sie in einem bestimmten Sinn zu deuten. Am zuverlässigsten scheint der Fall No. III zu sein, weil bei ihm die Muskel- und Sehnenquerschnitte beider Seiten

¹⁾ In meinem Hallenser Vortrag (s. o.) sagte ich, ich glaubte, dass auch der Gracilis einer langsamen Rückbildung entgegen ginge. Ich bin in meinem Urteile wieder schwankend geworden, weil beim Gracilis gelegentlich doch recht hohe Querschnittsquotienten vorkommen. Zudem ist zu bedenken, dass der Gracilis sehr selten Variationen zeigt.

gleich oder fast gleich sind. Ich möchte es jedoch dahingestellt sein lassen, ob man die Thatsache, dass hier der Querschnittsquotient des *Extensor carpi rad. long.* grösser ist als der des *Semitendinosus*, zu Gunsten der Hypothese verwenden kann, nach der vor Zeiten einmal der *Extensor carpi rad. long.* des Erwachsenen bzw. der Muskel, aus dem er hervorgegangen ist, einen verhältnismässig grossen Querschnittsquotienten gehabt hat.

Die Grösse des Sehnenquerschnittes wird, wie ich noch einmal hervorheben will, durch zwei verschiedene Momente gemeinschaftlich bestimmt, durch Vererbung und durch Muskelthätigkeit. Aber derjenige Anteil des Querschnittes, der vererbt wird, hängt in letzter Linie ebenfalls von Muskelthätigkeit ab, nämlich von dem Gebrauch, den unsere Vorfahren von ihren Muskeln gemacht haben. Roux nimmt an, dass Vererbung und funktionelle Reizung überhaupt bei der Ausbildung aller Organe als formbildende Prinzipien in Aktion treten. Er teilt hiernach die gesammte individuelle Entwicklung in zwei Perioden ein, die des embryonalen und die des Reizlebens, oder auch die Perioden der organbildenden und der funktionellen Entwicklung¹⁾. Das Beispiel des Sehnenquerschnittes zeigt nun sehr deutlich, dass der Einfluss der Vererbung sich noch weit in die Periode des Reizlebens hinein erstrecken kann.

Die Hypothese von der Abhängigkeit des Querschnittsquotienten von den beiden herbeigezogenen formbildenden Prinzipien, der Vererbung und dem funktionellen Reiz, lehnt sich, wie sich hieraus ergibt, an Gedanken an, die, wenn auch in viel allgemeinerer Form, von Roux ausgesprochen

¹⁾ Roux, l. c. (Kampf der Teile) S. 180 f., auch Ges. Abt. I, S. 348 f. — Beiträge zur Entwicklungsmechanik d. Embryo. Nr. III. Breslauer ärztl. Zeitschr. 1885, auch Ges. Abh. II. S. 281 f.

worden sind. Sie kann nun noch durch den Nachweis gestützt werden, dass andere Momente, an deren Wirksamkeit man vielleicht glauben möchte, die Verschiedenheit der Querschnittsquotienten verschiedener Muskeln nicht veranlasst haben.

C. Ausschluss anderer Erklärungsmöglichkeiten.

Man denkt vielleicht, es sei möglich, dass noch andere Kräfte ausser der Muskelkraft auf die Sehnen einwirken und ihre Dicke beeinflussen. Äussere Kräfte werden aber, wenn ihre Richtung mit der Längsrichtung der Sehnen zusammenfällt, in Muskelkräfte umgesetzt, sie wirken auf den Muskel ebenso gut ein wie auf die Sehne, der Muskel reagiert auf sie durch Kontraktion, sie gehören eben zu den Momenten, von denen die Intensität des Muskelgebrauches abhängig ist¹⁾.

Man darf daher auch nicht etwa meinen, dass bei der Reduktion eines Muskels, die während der Phylogenese erfolgte, die Sehne nur dann erhalten blieb, wenn sie im Organismus eine neue Funktion übernehmen konnte, d. h., wenn sie dazu bestimmt wurde, anderen als Muskelkräften Widerstand zu leisten. Denn solange zwischen Sehne und Knochen (oder Fascie) Muskelsubstanz gelegen ist, besteht eben die Aufgabe der Sehne und zwar ihre einzige Aufgabe darin, die von dem Muskel produzierten Kräfte zu übertragen. Die Übernahme einer neuen Funktion durch die Sehne kann erst nach dem Schwund des Muskels erfolgen, der sie mit dem Knochen (oder der Facie) verbindet. (Eine Überleitung zu dem neuen Zustande kann allerdings dadurch gegeben sein, dass der Muskel sich mehr und mehr verkürzt).

Steht andererseits die Richtung der äusseren Kräfte, die

¹⁾ Über die Wirkung lebendiger Kräfte auf die Kombination Muskel + Sehne vergl. Triepel l. c. (Einführung) S. 123.

möglicherweise den Querschnitt einer Sehne beeinflussen, auf deren Längsrichtung senkrecht, so erstreckt sich die Wirkung der Kräfte immer nur auf örtlich begrenzte Gebiete. Darauf sind dann gelegentlich auftretende Dickenschwankungen einzelner Sehnen zurückzuführen, wie die Verdickung der Sehne des *Peronaeus longus* am *Processus trochlearis* des *Calcaneus*, an der *Tuberositas* des *Cuboids* u. a. m. Der Querschnitt einer Sehne darf natürlich nicht an solchen Stellen gemessen werden, an denen sich lokale Veränderungen eingestellt haben, die nicht einmal auf einen genau analysierbaren Entstehungsmechanismus zurückgeführt werden können.

Weiterhin wäre es a priori denkbar, dass Verschiedenheiten der Querschnittsquotienten (bei verschiedenen Muskeln derselben Person) auf Differenzen in den Qualitäten entweder der Muskeln oder der Sehnen beruhen.

Bei den Muskeln, von denen zuerst die Rede sein soll, ist über qualitative Unterschiede, wenigstens soweit der Mensch in Frage kommt, nicht viel bekannt. Jedenfalls giebt es beim Menschen, auf den sich meine Ableitungen zunächst beziehen, keine weissen oder blassen Muskeln, wie sie bei manchen Tieren, z. B. dem Kaninchen, bekannt geworden sind. Man hat allerdings angenommen, dass in denjenigen Muskeln, die an der Leiche zuerst totenstarr werden, mehr den weissen nahe stehende Fasern enthalten sind als in den später erstarrenden, und hat versucht, hierdurch das Nystensche Gesetz zu erklären, nach dem die Muskeln von der Totenstarre zuerst an der oberen, dann an der unteren Extremität ergriffen werden, und an beiden Extremitäten in der Reihenfolge vom proximalen zum distalen Ende. Dass aber solche möglicherweise bestehende Unterschiede in den Muskelqualitäten für uns keine Bedeutung besitzen, wird aus dem nächsten Abschnitt hervorgehen; hier wird sich zeigen, dass unter einer grösseren Anzahl von Muskeln die Änderungen der Querschnittsquotienten durchaus keine Be-

ziehungen zu der Reihe besitzen, in die die Muskeln nach dem Nystenschen Gesetz einzustellen sind.

Verschiedenheiten in der Qualität der Sehnen könnten selbst wieder durch mehrere Ursachen bedingt werden. Es wäre möglich, dass die Qualität der einzelnen Fibrillen nicht überall dieselbe ist, oder dass die Fibrillen in dichterem oder weniger dichtem Verbande stehen, oder endlich, dass die Menge des interfascikulären Bindegewebes in den Sehnen wechselt. Auszuschliessen sind jedenfalls solche Unterschiede in der Qualität der Sehnenfasern, die als Erscheinungen der Anpassung an die Muskelthätigkeit zu deuten wären; denn wenn es solche gäbe, müssten die Querschnittsquotienten um so grösser sein, je dicker die Muskeln sind, das ist aber nicht der Fall (s. den folgenden Abschnitt).

Roux¹⁾ erwähnt bereits 1895 Unterschiede in den Querschnittsquotienten, er fand, „dass bei schwachem Muskel die Sehne etwa $\frac{1}{30}$, bei den stärksten Muskeln aber (Soleus) bloss $\frac{1}{120}$ der Dicke des Muskels misst.“ Nach seiner Meinung beruht die Erscheinung darauf, dass die Sehnenfasern der verhältnismässig dünnen Sehnen durch die querverbindenden Fasern der Sehne oder auch die über die Sehne hinwegziehende Fascie besonders eng zusammengedrängt werden. Wo die Sehne ausweichen kann (wie die Achillessehne), kann aber nicht wohl eine solche Einwirkung der Fascie angenommen werden. Ob aus anderen Gründen dennoch Differenzen in der Dichtigkeit der Sehnenfasern vorkommen, vermag ich nicht zu entscheiden. Histologische Präparate, die ich von verschiedenen Sehnen anfertigte, gaben mir keinen Aufschluss darüber, ob die Dichtigkeit der Fibrillen und die relative Menge des interfascikulären Bindegewebes überall die gleiche ist. Ich will aber die Möglichkeit nicht bestreiten, dass vielleicht doch feinere Differenzen

¹⁾ Roux, Ges. Abt. I, S. 174 Anm.

vorhanden sind, die mir bei der Schwierigkeit exakter Bestimmungen entgangen sein könnten. Sollten solche Differenzen wirklich vorhanden sein, so würden sie uns auf die Vererbungshypothese zurückführen.

Dass mechanische Momente, an die Roux gedacht hat, eine verschieden starke Spannung der querverbindenden Fasern der Sehne bedingen sollten, ist nach meinem Dafürhalten nicht nachzuweisen. Wenn aber etwa diejenigen Sehnen, deren Querschnitt im Verhältnis zum Muskelquerschnitt sehr gross ist, ihre Dicke einem ungewöhnlichen Reichtum an interfascikulärem Bindegewebe verdanken sollten, so müsste man sich in folgender Weise äussern: die betreffenden Muskeln wurden von unseren Vorfahren intensiver als von uns gebraucht, sie traten allmählich in ein Stadium regressiver Metamorphose ein, dabei bildeten sich die durch den Muskelzug beanspruchten Sehnenfasern teilweise zurück, das interfascikuläre Bindegewebe blieb jedoch erhalten.

Schliesslich könnte man meinen, dass bereits geringfügige Abweichungen des Sehnenquerschnittes von der Kreisform genügten, um die Widerstandsfähigkeit der Sehnen zu ändern, und dass die Grösse der Querschnittsquotienten von der Form des Sehnenquerschnittes abhängig wäre. Diese Vermutung ist aber von der Hand zu weisen, im Hinblick auf die Ergebnisse, zu denen man bei entsprechenden Untersuchungen technischer Materialien gelangt ist. Es zeigte sich, dass bei der Dehnung von Stäben die Form ihres Querschnittes für den Erfolg entweder von keiner oder nur von einer sehr untergeordneten Bedeutung war¹⁾.

¹⁾ Vergl. Bach, C., Elastizität und Festigkeit. 3. Aufl. Berlin 1898. S. 127.

III. Andere Muskeln des menschlichen Körpers.

Bei anderen Muskeln als den drei, die ich im vorigen Abschnitt besprach (Extensor carpi rad. long., Semitendinosus, Gracilis), habe ich bisher erst verhältnismässig wenig Messungen vornehmen können, und ich glaube daher bei der Beurteilung der Befunde besonders vorsichtig sein zu sollen.

Am angemessensten scheint es mir zu sein, wenn ich im folgenden eine Reihe zusammengehörender Bestimmungen mitteile, die sich alle auf die eine Körperhälfte eines einzelnen Individuums beziehen. Es handelt sich um Muskeln der rechten Seite des 46jährigen sehr kräftig gebauten Schmiedes S., der an Gehirnerweichung gestorben war.

Der Weg, den ich beim Messen gefiederter Muskeln einschlug, ist oben (S. 258 f.) beschrieben worden. Es bedeuten in der folgenden Tabelle Q_m und Q_m^* bez. Q_q und Q_q^* die Grenzwerte des wirksamen Muskelquerschnittes und des Querschnittsquotienten. Wenn man Q_m^* durch Q_m (oder auch Q_q^* durch Q_q) dividiert und zur gewonnenen Zahl 1 hinzufügt, so erhält man das Verhältnis, in dem die Länge des Muskelfleisches zur Faserlänge steht. Ist die Faserlänge gleich der halben Muskellänge oder grösser als diese, so giebt es natürlich nur einen Wert des wirksamen Muskelquerschnittes und des Querschnittsquotienten.

Tabelle V.

M u s k e l	Q_m	Q_m^*	Q_s	Q_q	Q_q^*
Biceps humeri ¹⁾ , cap. long. . . .	548,2		11,1	49,5	
cap. breve	357,2				
cap. III	103,1				
Zus.	1008,5		17,9	56,3	

¹⁾ Der Biceps hatte einen dritten vom Humerus entspringenden Kopf. Der angegebene Sehnenquerschnitt wurde ohne Berücksichtigung des Lacertus fibrosus gemessen; wurde dieser mit einbezogen, so ergab sich $Q_s = 24,9$ und $Q_q = 40,5$.

M u s k e l	Q _m	Q _m *	Q _s	Q _q	Q _q *
Flexor carpi radialis	245,1	279,4	10,2	24,1	27,5
Palmaris longus	137,1		3,4	40,8	
Flexor carpi ulnaris	157,6	661,9	12,2	12,9	54,1
Flexor dig. comm. sup. 2. F. . . .	175,8	327,0	7,3	24,0	44,6
3. F. . . .	191,1	510,1	10,5	18,2	48,5
4. F. . . .	227,8	356,8	7,6	29,8	46,7
5. F. . . .	69,3	84,5	2,6	26,8	32,7
Flexor pollicis long.	147,1	547,3	8,0	18,5	68,8
Flexor dig. comm. prof. 2. F. . . .	191,1	309,5	12,6	15,1	24,5
3. F. . . .	172,1	459,4	12,0	14,3	38,2
4. + 5. F. ¹⁾ .	331,1	662,1	13,0	25,4	50,8
Lumbric. manus 2. F. ²⁾	21,9		0,6	35,2	
Brachioradialis	310,9		7,3	42,4	
Extensor carpi rad. long.	459,6		12,4	37,0	
Extensor carpi rad. brev.	267,7	439,0	10,0	26,8	44,0
Extensor dig. comm. 2. F.	69,3	75,5	2,3	29,8	32,5
3. F.	157,6		4,8	32,6	
4. F.	100,3	117,3	3,3	30,8	36,0
5. F.	58,0		1,7	34,5	
Extensor dig. V. propr.	66,9	108,4	3,4	19,9	32,3
Extensor carpi ulnaris	154,1	523,8	12,2	12,6	42,8
Abductor pollicis long.	127,3	241,9	9,6	13,2	25,1
Extensor pollicis brev.	94,7		4,6	20,6	
Extensor pollicis long.	64,6	117,6	4,2	15,2	27,7
Extensor dig. II. prop.	76,5	107,1	3,3	23,5	32,9
Semitendinosus	637,4		10,9	58,5	
Semimembranosus	1136,4	2556,9	39,9	28,5	64,0
Gracilis	412,5		6,4	64,0	
Gastrocnemius med.	962,9	2128,0			
Gastrocnemius lat.	680,9	1218,8			
Soleus	1615,9	13735,0			
zus. u. Tendo Achillis	3259,7	17081,8	49,3	66,1	346,2
Plantaris	124,2		2,0	62,4	
Tibialis posterior	281,7	1729,8	25,5	11,1	67,8
Flexor digit. comm. long.	154,1	790,4	11,1	13,9	71,3
Flexor hallucis long.	320,9	1203,3	13,9	23,1	86,8

1) Die Bündel des Flexor dig. comm. prof., die zum 4. und 5. Finger gingen, liessen sich am Unterarm nicht voneinander trennen.

2) Nur der eine Lumbrikalmuskel war der Messung zugänglich.

M u s k e l	Q _m	Q _m *	Q _s	Q _q	Q _q *
Flexor digit. comm. brev. ¹⁾ 2. Z. .	} 111,9	208,1	{ 2,4 2,2	24,6	45,7
3. Z. .					
4. Z. .					
Peroneus long.	378,9	1326,1	16,3	29,3	81,5
Peroneus brev.	240,7	936,4	13,0	18,5	71,8
Tibialis anterior	588,6	1318,4	14,5	40,6	90,9
Extensor hallucis long.	172,1	378,5	7,2	24,0	52,7
Extensor digit. comm. long. ²⁾ 2. Z.	} 254,0	942,5	{ 1,6 2,7 2,7 4,4 3,8	16,8	62,4
3. Z.					
4. Z.					
5. Z.					
Peroneus III.					
Extensor hallucis brev.	62,4	76,8	1,8	34,0	41,9
Extensor digit. comm. brev. 2. Z.	64,6	116,3	2,1	32,0	56,2
3. Z.	38,5	83,6	1,4	27,4	59,5
4. Z.	47,8	107,5	1,2	39,5	88,8

Die Beurteilung der Tabelle V wird dadurch erschwert, dass bei den meisten Muskeln die Querschnittsquotienten in der Form der beiden Grenzwerte angegeben sind. Man möge zum Zweck einer besseren Übersicht im einzelnen Falle die beiden Grenzwerte voneinander abziehen und $\frac{2}{3}$ der Differenz zu dem kleineren von beiden hinzuzählen; die so berechnete Zahl wird von dem wahren Werte des Querschnittsquotienten nicht allzuweit entfernt sein. Mit Rücksicht auf den vorzüglichen Entwicklungszustand, in dem sich die Muskulatur bei dem untersuchten Individuum befand, und mit Rücksicht auf die Stellung, die man nach den bisherigen Ergebnissen dem Semitendinosus und dem Extensor carpi rad. long. anweisen muss, wird man sagen können, dass Querschnittsquotienten von 50 und mehr

1) Die zur 2. und zur 3. Zehe gehörenden Muskelbündel liessen sich nicht voneinander trennen. Eine Sehne für die 5. Zehe fehlte.

2) Die Muskelbündel des Extensor digit. comm. long. (incl. Peroneus III) liessen sich nicht voneinander trennen.

hoch, solche von 40 und weniger niedrig sind. Dann lässt sich aus der Tabelle folgendes entnehmen¹⁾.

Auf den ersten Blick erkennt man, dass die Muskeln der unteren Extremität im allgemeinen weit höhere Querschnittsquotienten haben als die der oberen. Es steht wohl ausser Frage, dass durch die Lokomotion sehr bedeutende Ansprüche an die Beinmuskeln gestellt werden, und dass deren Querschnitte hierdurch eine hohe Entfaltung erlangten. Unwillkürlich kommt man, wenn man sich der Ergebnisse des vorigen Abschnittes erinnert, auf den Gedanken, dass die kleinen Querschnittsquotienten der Armmuskeln eine bestimmte phylogenetische Bedeutung besitzen, dass sie nämlich auf jene Zeit zurückweisen, in der unsere Vorfahren auch ihre kranialen Extremitäten zur Lokomotion verwandten. Es ist verführerisch diese Idee im einzelnen zu verfolgen, ich möchte mich aber auf dem Gebiet der Hypothese nicht allzuweit vorwagen.

An der oberen Extremität nimmt eine bevorzugte Stellung der Biceps ein. Das glaube ich damit in Zusammenhang bringen zu sollen, dass im allgemeinen die Bewegungen des Unterarms mit grösserem Kraftaufwand als die der Hand und der Finger ausgeführt werden, dass also auch, wenn die Armmuskeln geübt werden, die Vergrösserung des Muskelquerschnitts beim Biceps rascher von statten geht als z. B. bei Hand- und Fingerbeugern. Man hätte unter diesen Umständen allerdings erwarten sollen, dass der Brachioradialis einen grösseren Querschnittsquotienten aufweisen würde, als es der Fall war. Ich

¹⁾ In dem Referate des oben erwähnten Vortrages von mir (Anat. Anz. 21. Bd. Ergänzungsh.) sind auf S. 134 und 135 oben Vermutungen über die Stellung verschiedener Muskeln geäussert, die ich nicht in vollem Umfange aufrecht erhalten möchte. Durch weitere Untersuchungen, die ich seither vornehmen konnte, bin ich in einzelnen (untergeordneten) Dingen zu etwas modifizierten Anschauungen gelangt. Die Ergebnisse der Tabelle V halte ich für besonders beachtenswert, weil es sich hier um die Muskeln eines sehr kräftig entwickelten Individuums handelt.

möchte dazu bemerken, dass ich bei einem anderen Individuum den Querschnittsquotienten des Brachioradialis (verhältnismässig) grösser fand, und dass nach der Angabe Roux¹⁾ gerade bei diesem Muskel das Verhältnis zwischen Muskel- und Sehnenquerschnitt sehr gross ist.

Aus dem Vorhandensein kleiner Querschnittsquotienten bei Hand- und Fingermuskeln folgt, dass diese Muskeln wenig intensiv gebraucht werden und eine regressive Veränderung durchgemacht haben. Dem scheint die Thatsache zu widersprechen, dass der Mensch seine Hand und seine Finger zu den kompliziertesten Verrichtungen benutzt, und dass bei ihm (auch beim Ungebildeten), die Hand- und Fingermuskeln in hohem Mass geübt erscheinen. Aber offenbar hat hier die Übung ihren Einfluss nur auf das zentrale Nervensystem geltend gemacht und nicht auf die Muskeln selbst. Grössere Kraftleistungen sind eben gerade mit den feineren Bewegungen nicht verbunden, so dass durch diese der Muskelquerschnitt und damit der Querschnittsquotient nicht wesentlich erhöht wird. Bei einem Künstler, der täglich mehrere Stunden Klavier spielt, ändert sich der Umfang des Unterarms in langer Zeit nur wenig, bei einem Studenten, der täglich eine Stunde lang ficht, hat er nach wenig Monaten sich um ein Bedeutendes vergrössert. Es ist also heutigentags den Hand- und Fingermuskeln verhältnismässig wenig Gelegenheit zu progressiver Entwicklung gegeben, während möglicherweise bei unseren Vorfahren die an sie gestellten Anforderungen grösser waren.

Der Extensor carpi radialis longus hat in Tab. V zwar einen Querschnittsquotienten unter 40, er steht aber doch noch ziemlich weit von dem unteren Ende der Reihe ab.

Eigentümlich ist es, dass der Abductor und die beiden Extensoren des Daumens sehr schlecht gestellt sind, während andererseits der Flexor pollicis long. einen ziemlich hohen Quer-

¹⁾ Roux, Ges. Abh. I. c. S. 174 Anm.

schnittsquotienten besitzt, der die Zahlen, die bei den Beugern der anderen Finger beobachtet wurden, weit übertrifft.

Für den *Palmaris longus*, d. h. für einen Muskel, der allgemein als rudimentäres Gebilde beschrieben wird, erscheint der Querschnittsquotient 40,8 hoch. Ich werde mich hierüber später (S. 297 f.) ausführlicher zu äussern haben.

Dass die Muskeln der unteren Extremität durchschnittlich grössere Querschnittsquotienten haben als die der oberen, darauf wurde schon hingewiesen. Es klingt paradox, wenn man sagt, die Beinmuskeln seien für den Menschen bedeutungsvoller als die Armmuskeln. Aber das kann ja gar nicht bezweifelt werden, dass die hohe Ausbildung der Hand- und Fingermuskeln (die wesentlich durch Bahnung centraler Wege herbeigeführt wurde) erst erreicht werden konnte, nachdem die gesamten portatorischen und lokomotorischen Leistungen des Körpers den hinteren Extremitäten zugefallen waren.

Unter den in Tab. V angeführten Beinmuskeln zeigen der *Semitendinosus* und der *Gracilis* nicht das öfter vorkommende Verhalten (S. 274); der *Gracilis* besitzt den grösseren Querschnittsquotienten.

Ausserordentlich gross ist der Querschnittsquotient beim *Triceps surae*; es ist bei diesem Muskel vollkommen ausgeschlossen, dass der zweite der beiden Grenzwerte (Qq^*) bei der Abschätzung des wahren Wertes berücksichtigt werden könnte, weil er das überhaupt mögliche Maximum (s. S. 252) weit hinter sich zurücklässt. Das hängt damit zusammen, dass sehr viele Fasern des *Soleus* für die Hebung der Achillessehne so gut wie bedeutungslos sind. Einen so grossen Winkel zwischen der Richtung der Muskelfasern und der Richtung der Sehne wie beim *Soleus* finden wir kaum bei einem anderen Muskel des Körpers wieder¹⁾. Der wahre Wert des Querschnittsquotienten

¹⁾ Es würde sich lohnen, einmal unter Berücksichtigung dieses Umstandes die Funktion des *Soleus* und seiner einzelnen Faserbündel zu analysieren.

wird sich beim Triceps surae nicht viel von dem unteren Grenzwerte unterscheiden, und schon dieser ist so gross, dass eine progressive Entwicklung des Muskels ohne Zweifel angenommen werden muss.

Interessant ist es, dass der Peronaeus longus einen recht hohen Querschnittsquotienten besitzt. Das steht im Einklang mit der Thatsache, dass der Peronaeus longus mit dem Triceps surae gleichzeitig in Aktion treten muss, wenn die Streckung (Plantarflexion) des Fusses in gerader Richtung erfolgen soll¹⁾.

Der Flexor digitorum comm. long. und der Flexor hallucis long. werden den hohen Querschnittsquotienten, den sie besitzen, wohl dem Umstande verdanken, dass sie beim Gehakt in Thätigkeit treten. Sie haben die Aufgabe, nach Abwicklung der Fusssohle dem Körper den letzten Anstoss zur Vorwärtsbewegung zu geben. Hierbei unterstützt sie (ausser den Interossei und Lumbricales) der an den zweiten Phalangen angreifende Flexor digitorum brevis²⁾, und daher befremden etwas die kleinen Querschnittsquotienten, die bei ihm zur Beobachtung kommen.

Der Tibialis anterior besitzt als Heber des Fusses einen grossen Quotienten, ebenso der Extensor digit. comm. long., der ihn unterstützt³⁾ (so wie der Peronaeus long. den Triceps surae unterstützte). Auffallend sind die grossen Querschnittsquotienten, die sich beim Extensor digit. comm. brevis zeigen.

Eine besondere Besprechung erfordert der Palmaris long. und der Plantaris. Beide Muskeln sind rudimentäre Gebilde, und man müsste daher eigentlich erwarten, dass bei ihnen die

1) Duchenne, G. B., Physiologie der Bewegungen. Übersetzt von C. Wernicke. Kassel und Berlin 1885. S. 333 ff.

2) Duchenne, l. c., S. 410 ff.

3) Duchenne, l. c., S. 371 ff.

Querschnittsquotienten ganz besonders klein sind. Indessen ist das Verhältnis zwischen Muskel- und Sehnenquerschnitt beim *Palmaris longus* durchaus nicht kleiner als bei den meisten anderen am Unterarm liegenden Muskeln, beim *Plantaris* erreicht es sogar eine beträchtliche Höhe. Es ist klar, dass diese Befunde die Hypothese, die ich im 2. Abschnitt zu begründen versuchte, umstossen würden, wenn sie sich nicht in befriedigender Weise erklären lassen. Eine solche Erklärung kann meines Erachtens nur in der Annahme gefunden werden, dass die beiden Muskeln dort, wo sie überhaupt vorkommen, auch lebhaft funktionieren. Man könnte sich vielleicht denken, die Reduktion der Muskelmasse, aus der sie stammen, sei viel früher eingetreten, als die regressive Metamorphose derjenigen Muskeln, die heute einen kleinen Querschnittsquotienten besitzen, und später habe, beim *Palmaris longus* und *Plantaris*, wenn sie noch erhalten waren, wieder eine progressive Entwicklung begonnen. Es drängt sich mir eben immer von neuem die Meinung auf, dass dort, wo ein grosser Muskelquerschnitt ist, auch ein lebhaftes Funktionieren stattfindet.

Le Double hat gesagt ¹⁾, dass diejenigen Muskeln, die uns am häufigsten fehlen, für uns vollkommen unnütz geworden sind. Dem kann ich nicht durchaus beistimmen. Der *Palmaris longus* hat zwar seinen Einfluss auf die Bewegung der Finger verloren, er funktioniert aber doch, und zwar als Beuger der Hand, er hat bestimmte Aufgaben zu erfüllen ²⁾ und darf darum nicht als unnütz bezeichnet werden. Der *Plantaris* ist seinem Ursprung und seinem Ansatz nach durchaus befähigt, die oberflächlichen Wadenmuskeln in ihrer Wirkung zu unterstützen. Dass die Unterstützung der Kleinheit des *Plantaris* wegen nicht erheblich sein kann, ist natürlich belanglos. Ich finde es sehr begreiflich, dass der *Plantaris* sich heutigen Tages an der

¹⁾ Le Double, l. c. T. II, S. 436.

²⁾ Duchenne, l. c. S. 125 ff.

progressiven Entwicklung beteiligt, die beim Triceps surae zu beobachten ist. Roux¹⁾ sagt einmal, dass ein rudimentäres Organ erhalten bleibe, soweit es durch das Mass seiner Funktion gekräftigt ist, „wie dieses deutlich der rudimentär gewordene, aber thatkräftige rote Musc. plantaris der Wade des Menschen zeigt.“ Diese Qualifizierung des Plantaris steht in einem erfreulichen Gegensatz zu den Schilderungen, die meistens von ihm gegeben werden. Der Umstand, dass beim Plantaris und beim Palmaris longus sehr oft Variationen vorkommen, deutet freilich nach der allgemein verbreiteten Anschauung darauf hin, dass beide Muskeln sich in Rückbildung befinden (s. S. 284f.). Sollte man aber nicht vielleicht, wie schon bemerkt, annehmen können, dass sie sich in Rückbildung befunden haben, und dass später wieder eine progressive Entwicklung bei ihnen eingesetzt hat?

IV. Weitere Folgerungen.

Am Anfang dieser Arbeit führte ich einige Beobachtungen an, die die Annahme erhärten, dass lebhaftere Muskelthätigkeit den Querschnitt der Sehne vergrössert. Wir dürfen uns aber nicht verhehlen, dass wir ausser stande sind, eine Erklärung für die wunderbare Erscheinung abzugeben. Das durch Muskelaktion bedingte Dickenwachstum der Sehnen ist offenbar aufzufassen als eine unmittelbare Folge des funktionellen Reizes und auf eine Stufe mit den von Roux sogenannten funktionellen Anpassungen zu stellen. Ich vermeide es aber die Erscheinung unter die funktionellen Anpassungen selbst zu rechnen, denn Roux betont ausdrücklich²⁾, dass er hierunter nur solche durch Ausübung einer Funktion entstandene Formresultate verstanden wissen will, die wirklich eine Anpassung

1) Roux, l. c. (Kampf der Teile) S. 181, auch Ges. Abh. I. Bd. S. 348.

2) Roux, Über die Selbstregulation der Lebewesen. Arch. f. Entwicklungsmech. d. Organismen. 13. Bd. 1902. S. 637.

vorstellen, die dem Träger der neuen oder veränderten Eigenschaft einen Nutzen bringen; die geringen Schwankungen des Sehnenquerschnittes, die durch Muskelthätigkeit veranlasst werden, können aber in keiner Weise einen Vorteil gewähren (s. u. S. 304).

Überall nun, wo ein Organ aus der Gruppe der Binde-substanzen von einem funktionellen Reiz getroffen wird, finden wir, wenn der Reiz zur Gewebsbildung führt, dieselbe Erscheinung wieder, überall wird Material in Richtungen angelegt, die senkrecht zur Beanspruchungsrichtung stehen. In einzelnen Fällen ist diese Eigentümlichkeit der Formbildung nicht sehr auffallend, in anderen springt sie sogleich in die Augen. Immer jedoch bleibt sie uns gleich unbegreiflich.

Wir finden, dass der Muskelzug gestaltend auf die Sehne einwirkt. Es würde uns nun wenigstens einigermaßen verständlich sein, wenn die Beanspruchungs- und Wachstumsrichtung zusammenfielen, statt dessen wächst die Sehne infolge des auf sie ausgeübten Zuges beim Erwachsenen nicht in die Länge, sondern sie wird dicker. Der Gedanke liegt nahe, es möchten hier die sekundären Spannungen, die im Gefolge jeder primären Spannung auftreten, eine Rolle spielen. Primärer Zug ist immer begleitet von sekundärem, auf der Zugrichtung senkrecht stehendem Druck (wobei die sekundäre Spannung von der primären an Grösse übertroffen wird¹⁾). Man ist vielleicht geneigt, im Druck diejenige Spannungsform zu erkennen, die zur Bildung neuer Fibrillen anregt. Dass das aber nicht wahrscheinlich ist, geht aus folgender Überlegung hervor.

Bei manchen funktionellen Strukturen, z. B. im Knochen, finden sich rechtwinklig zu einander stehende Strukturelemente, von denen die einen der primären, die anderen der sekundären Beanspruchung Widerstand entgegensetzen haben. Angenommen, es wirke primärer Druck ein, so entsteht senkrecht zu ihm

¹⁾ Vergl. Triepel, l. c. (Einführung), S. 30 f.

sekundärer Zug, und da die Bälkchen oder Lamellen, die von der zweiten Spannungsart abhängig sind, auch eine genau abgemessene Dicke besitzen, so muss man folgern, dass beim Knochen nicht nur die primäre, sondern auch die sekundäre Spannung Materialanlagerung in einer zur Spannung senkrechten Richtung herbeiführt. Wollte man etwa das Dickenwachstum der Druckbälkchen von dem sekundären Zug, das der Zugbälkchen von dem primären Druck abhängig sein lassen, so scheitert man daran, dass unter solchen Verhältnissen an den Strecken der Bälkchen, die zwischen den Kreuzungspunkten liegen, kein Dickenwachstum stattfinden könnte. Wenn aber der Knochen, d. h. überhaupt ein Gewebe, die wunderbare Eigenschaft besitzt, auf eine beliebige Spannung in der Weise zu reagieren, dass das Material senkrecht zur Spannungsrichtung sich vermehrt, so ist nicht einzusehen, warum nicht auch ein anderes Gewebe, also die Sehne, dieselbe zur Zeit unerklärliche Eigenschaft besitzen sollte.

Ähnliche Gedanken wie die hier angedeuteten hat Roux ausgesprochen. So sagt er z. B.¹⁾, dass eine Verstärkung der Funktion das Organ bloss in denjenigen Dimensionen vergrösserte, welche die stärkere Funktion leisten. An einem anderen Orte²⁾ äussert er sich dahin, dass die auf ein Organ einwirkende Kraft in zwei Komponenten zerlegt werde, und dass, wenn diese beiden Komponenten „genügend stark gestützt sind“, alle anderen Richtungen entspannt werden. Und von Sehnen und Gelenkbändern giebt er an³⁾, dass sie sich infolge der Funktion nur in den zwei Dimensionen des Querschnittes vergrössern. Ein ebenso grosses (vielleicht ein grösseres) Gewicht wird aber von

¹⁾ Roux, Über die Leistungsfähigkeit der Prinzipien der Descendenzlehre zur Erklärung der Zweckmässigkeiten des Organismus. Breslau 1880. S. 26. Auch Ges. Abh. I. S. 128.

²⁾ Roux, l. c. (Kampf der Teile), S. 189. Auch Ges. Abh. I. S. 359.

³⁾ Roux, l. c. (Leistungsfähigkeit), S. 25. Auch Ges. Abh. I. S. 126.

Roux¹⁾ darauf gelegt, dass eine Ansammlung von Material in denjenigen Linien erfolgt, in denen sich eine Beanspruchung in das beanspruchte Organ hinein fortpflanzt.

Ich möchte nun besonders betonen, dass eine funktionelle Struktur gar nicht entstehen könnte, wenn nicht Material senkrecht zur Beanspruchungsrichtung angehäuft würde. Die „Trajektorien“ sind geometrische Linien, das wichtigste und in biologischer Beziehung interessanteste ist ihre „Insubstantiierung“, das Dickenwachstum der Elemente.

Über die feineren Vorgänge, die sich in mechanisch beanspruchten Zellen und Intercellularsubstanzen abspielen und ein Wachsen der Gewebe herbeiführen, können wir uns wenigstens allgemeine Vorstellungen bilden. Denn jedenfalls werden die zum Wachstum führenden Prozesse durch molekulare Bewegungen eingeleitet²⁾. Warum aber Bewegungen der Moleküle senkrecht zur Richtung der einwirkenden Kraft ausgelöst werden, Bewegungen, die etwa in Parallele zu setzen wären mit den auf der Richtung des Lichtstrahles senkrecht stehenden Transversalschwingungen des Äthers, das bleibt vorläufig ein Rätsel³⁾. Viel eher begreiflich ist uns der Zusammenhang zwischen Spannung und Wachsen in der Spannungsrichtung, wie wir ihn bei embryonalen und jugendlichen Geweben vor Augen haben.

1) Vergl. z. B. Roux, l. c. (Kampf der Theile) S. 186 f. Auch Ges. Abh. I. S. 356.

2) Vergl. Triepel, l. c. (Einführung) S. 170 ff.

3) Auf den funktionierenden Muskel wirken von seinem Angriffspunkte her Kräfte von genau derselben Grösse ein, wie er sie produziert. Sollte man das Dickenwachstum des funktionierenden Muskel nicht auf die Einwirkung dieser Gegenkräfte zurückführen können? Der Muskel würde sich dann — wenigstens in Bezug auf die Vergrösserung seines Querschnittes — ebenso wie andere Gewebe verhalten. (Vergl. dagegen die Theorie Rouxs, nach der Fleischprismen dort gebildet werden, wo sich ihnen Funktionsgelegenheit bietet. Siehe Roux, Beiträge zur Morphologie der funktionellen Anpassung. 2. Jen. Zeitschr. f. Naturw. 16. Bd. (N. F. 9. Bd.). S. 409. 1883. Auch Ges. Abh. I. S. 638).

Noch ein anderer Punkt muss hier kurz besprochen werden. Wenn nämlich in der That die Grösse der Sehnenquerschnitte zum Teil auf den Gebrauch zurückzuführen ist, den unsere Vorfahren von ihren Muskeln gemacht haben, so kann dieses Abhängigkeitsverhältnis mit zur Begründung der Lehre von der Übertragbarkeit erworbener Eigenschaften herangezogen werden.

Es kann nicht meine Absicht sein, an dieser Stelle näher auf den Gegensatz einzugehen, der sich im Laufe der letzten Jahrzehnte zwischen den Vertretern des Selektionsprinzips (Weismann) und denjenigen Forschern herausgebildet hat, die unter Verwerfung jeglicher Zuchtwahl einseitig nur die Erblichkeit der durch Funktion erworbenen Qualitäten zulassen (H. Spencer, Driesch, Kassowitz u. a.). Nur soviel sei gesagt, dass ich glaube, man könne sich sehr wohl auf einen vermittelnden Standpunkt stellen, wie ihn etwa Emery¹⁾ eingenommen hat. Man soll das Gute dort nehmen, wo man es findet; und wenn gewisse Erscheinungen der Natur nur durch natürliche (oder geschlechtliche) Zuchtwahl, andere nur durch die Annahme der Übertragbarkeit erworbener Eigenschaften sich erklären lassen, muss man sich mit beiden Prinzipien abfinden²⁾.

Unter den Beispielen, die zu Gunsten der Lehre von der Vererbung erworbener Eigenschaften angeführt zu werden pflegen, sind wenige wirklich beweiskräftig. Mit Vorteil kann nur auf das Auftreten solcher Eigenschaften hingewiesen werden, die ihrem Träger in keiner Beziehung einen Nutzen verschaffen. Denn wenn eine Veränderung, die sich allmählich eingestellt hat, in irgend einer Weise sich als nutzbringend erweist, so

1) Emery, C., Gedanken zur Descendenz- und Vererbungstheorie. Biol. Centralbl. 13. Bd. 1893. S. 397.

2) Ausführlich habe ich die hier nur angedeuteten Fragen in einem Vortrag besprochen, den ich in der Sitzung des naturwissenschaftlichen Vereins für Neuvorpommern und Rügen in Greifswald vom 2. Juli 1902 hielt. S. Mitteilungen des Vereins. 34. Jahrg. S. XIII.

bleibt immer die Möglichkeit offen, dass man sie als das Ergebnis eines Züchtungsvorganges hinstellt. Ja, man muss sogar zugeben, dass die Neudarwinisten zu der Behauptung berechtigt sind, eine neu auftretende Eigenschaft könne für ihren Träger selbst in dem Falle nützlich sein, dass wir nicht im stande sind, den gewährten Vorteil zu erkennen. Die Lehre von der Erbliehkeit erworbener Eigenschaften wird darum in erster Linie durch solche Beispiele zu stützen sein, bei denen sich durch logische Schlüsse erweisen lässt, dass die Veränderungen dem veränderten Individuum einen Nutzen auf keine Weise bringen können.

Hier lässt sich nun, wie ich glaube, mit Vorteil auf die Schlüsse hinweisen, die aus der Untersuchung der Querschnittsquotienten der Muskeln gezogen werden können. Die Sehnen haben, solange sie einerseits nur mit Muskelsubstanz in Zusammenhang stehen (s. o. S. 287), allein die Aufgabe, die von Muskeln gelieferten Kräfte weiter zu leiten. Die Muskeln bewirken durch ihre Kontraktion eine Bewegung derjenigen Gebilde, an denen sie durch Vermittelung der Sehnen angreifen, also im allgemeinen der Knochen, und für den Erfolg, d. h. den Umfang der Bewegung oder ihre Form oder die Kraft, mit der sie geschieht, ist es vollkommen gleichgültig, ob die Sehnen ein wenig dicker oder ein wenig dünner sind, sofern nur immer der Mittelpunkt ihres Querschnittes an demselben Knochenpunkte angreift. Die Art der Bewegung kann sich wohl verändern, wenn das Ende der Sehne verlagert wird, jedoch nicht dann, wenn in der Grösse ihres Querschnittes Schwankungen eintreten. Wird aber der Erfolg der Muskelaktion durch Variationen der Sehnendicke überhaupt nicht verändert, so heisst das: er wird durch sie weder in schädigender noch in nutzbringender Weise beeinflusst.

Ergebnisse.

1. Das Verhältnis zwischen dem Muskelquerschnitt und dem Sehnenquerschnitt (der Querschnittsquotient) ist bei demselben Muskel verschiedener Individuen nicht gleich.

2. Der Querschnittsquotient ist auch bei verschiedenen Muskeln desselben Individuums nicht gleich.

3. Wenn sich der Querschnitt eines Muskels ändert, so ändert sich der Querschnitt der zugehörigen Sehne in gleichem Sinne, aber in geringerem Grade.

4. Der Querschnitt einer Sehne ist zum Teil von der Thätigkeit des zugehörigen Muskels abhängig, zum anderen Teil von Vererbung; die Grösse des vererbten Querschnittanteiles ist durch die Intensität des Gebrauchs bedingt, den die Vorfahren des untersuchten Individuums von ihren Muskeln gemacht haben.

5. Durch funktionelle Reize wird Gewebsbildung in einer Richtung veranlasst, die zur Beanspruchungsrichtung senkrecht steht.

6. Die Vererbung der durch Muskelthätigkeit erzeugten Beschaffenheit der Sehnen ist ein gutes Beispiel für die Übertragbarkeit erworbener Eigenschaften.
