Histologische Untersuchungen der verschiedenen Skelettmuskeln beim Menschen.

I. Untersuchungen beim Erwachsenen.

Von

Yoshi Kohashi.

Aus dem Anatomischen Institut der Medizinischen Fakultät zu Okayama
(Vorstand: Prof. Dr. K. Yagita).

Mit 6 Textfiguren und 2 Figuren auf Tafeln I–II.

Inhaltsverzeichnis.

I. Material und Methode.	176
II. Untersuchungsergebnisse.	177
III. Variationskoeffizient an den Querschnitten der Muskelfasern. . .	186
IV. Zusammenfassung.	187

Beim Menschen erweisen sich die einzelnen Muskelindividuen als recht verschieden geformt und funktionierend, woran sich natürlich die Verschiedenheit ihrer Konstitution anschliesst. Schon bisher haben Halban (1894) und Schiefferdecker (1911, 1927) die Dicke der einzelnen Muskelfasern sowohl in ein und demselben Muskelindividuum wie in den verschiedenen Muskelindividuen an der Hand der Kalibermessung gemessen und dadurch nicht wenig zur vergleichenden Muskelhistologie beigetragen. Neuerdings geben Hopf und Voss (1934) an, dass an Masseter und Trapezius die Dicke der Muskelfasern zu der Muskelfunktion in einer Beziehung steht. In der vorliegenden Arbeit wird beabsichtigt, die Wechselbeziehung zwischen der Dicke der Muskelfasern und der Muskelfunktion an den Muskeln der einzelnen Teile des menschlichen Körpers zu ermitteln.

I. Material und Methode.

Das uns hier zur Verfügung stehende Material stammt von einem 45jährigen kräftigen wohlernährten Mann, welcher an einer Hirnblutung gestorben war. Die in der Arteria femoralis mit einer 10%igen Formalinlösung eingespritzte Leiche ist einige Monate lang ebenfalls in 10%ige Formalinlösung eingelegt, um dadurch eine Totalfixation zu erhalten.

Aus etwa 40 Muskeln der Leiche nimmt man je 2 oder 3 kleine Stückchen heraus, und zwar bei einem nicht spindligen Muskel 2, bei einem spindligen 3 aus den beiden Endteilen und aus der Mitte des Muskelbauches. Die Muskelstückchen kommen nach Fixierung in 10%iger Formalinlösung und Härtung mit allmählich verstärktem Äthylalkohol, welche beide in der üblichen Weise geschehen sollen, der Reihe nach in Methylalkohol, 2%ige, 4%ige und 8%ige Methylalkohol-Celloidinlösung. Zu gutem Härten der Lösung entfernt man den Deckel der Schale und führt den Wasserdampf durch eine eigene besondere Vorrichtung herein. Wenn eine dünne feste Schicht auf der Oberfläche der Lösung entsteht, so schichtet man darüber Chloroform-Wasser-Alkohol, welches aus 100 ccm 70%igem Äthylalkohol und 30 ccm Chloroform besteht. Die Nachhärtung des Celloidin geschah in üblicher Weise in 60–70%igem Äthylalkohol. Die angefertigten Celloidinschnitte färben wir durch die Heidenhainsche Eisenhämatoxylinmethode und die von uns modifizierte Azanfärbung, welche letztere wir als Azokarmin-Pasinifärbung bezeichnen wollen. Die Manipulation der Azokarmin-Pasinifärbung ist, wie folgt:

1. Einlegen der Schnitte in Azokarmin nach Heidenhain im Thermostaten (56°C) für 5–10 Minuten.
2. Abspülen in dest. Wasser.
3. Differenzieren in alkoholischer Anilinlösung.
4. Abspülen in 96%igem essigsaurem Alkohol.
5. Einlegen in 5%ige wässrige Phosphorwolframsäure für 1/2–1 Stunde.
6. Abspülen in dest. Wasser.
7. Färben mit Pasinischer Lösung.
8. Differenzieren in 95%igem Alkohol.
9. Karbolxylol (30 Sekunden), Xylol und Balsam.

Während bei der Azanfärbung das Celloidin durch Anilinblau intensiv gefärbt auftritt und schwer zu entfärben ist, zeigt es sich bei unserer

Methode bei der Differenzierung entfärbt blass, so dass das Bindegewebe blau und die Muskelfasern rot gefärbt scharf zutage treten.

Wenn man die Dicke der verschieden dicken Muskelfasern einwandfrei bestimmen will, so empfiehlt es sich vor allem, Flächenmessung an den Querschnitten derselben vorzunehmen. Die Flächenmessung haben wir folgendermassen ausgeführt: Man bildet eine Anzahl Querschnitte der Muskelfasern mit Hilfe eines Zeichenapparates in 350facher Vergrösserung auf einem Blatt Papier ab, rechnet die Dimension der Bilder durch den Planimeter möglichst genau aus und setzt die so erhaltenen Zahlen in den absoluten Wert um. In den nachstehenden Tabellen 1–10 geben wir an einer Anzahl Muskeln den arithmetischen Mittelwert von der Dimension der Faserquerschnitte an, welcher mit Quadratmikron ausgedrückt ist; hier ist er aber der Einfachheit halber mit $F(\mu^2)/10^2$, d.h. hundertteilig verkleinert bezeichnet.

Die untersuchten Muskeln werden je nach der Dicke ihrer Muskelfasern in 6 Gruppen, nämlich in Muskeln mit der Faserdicke von 2,1–6,0, solche mit der von 6,1–10,0, solche mit der von 10,1–14,0, solche mit der von 14,1–18,0, solche mit der von 18,1–22,0 und solche mit der von 22,1–26,0 $F(\mu^2)/10^2$ eingeteilt. In den Abbildungen auf Tafeln sind die Muskeln von den feinfaserigen aus der Reihe nach violett, blau, grün, gelb, orange und rot gefärbt dargestellt.

II. Untersuchungsergebnisse.

Wenn man die obigen Muskelschnitte durch unsere Azokarmin-Pasinische Methode gefärbt hat, so tritt das Bindegewebe blau koloriert auf, sei es zwischen den einzelnen Muskelfasern oder zwischen den Muskelbündeln vorhanden. Schiefferdecker (1911) hält das zwischen den Muskelfasern meistens nur spärlich anzutreffende Bindegewebe für das ernährende oder argentophile und sondert es von dem zwischen den Muskelbündeln befindlichen ab. Nach ihm ist das erstere für die Ernährung der Muskelfasern von grosser Bedeutung; je mehr das Bindegewebe zwischen den Muskelfasern vorkommt, desto zahlreichere Blutkapillaren sind darin zu finden. Unseres Erachtens gilt das Bindegewebe vielmehr für den Stütz-, als für den Ernährungsapparat des Muskels, zumal wenn es unter Umständen an elastischen Fasern sehr reich ist, ein Befund, welchen wir später zu veröffentlichen Gelegenheit haben. Was die Dicke der Muskelfasern in den Muskeln der verschiedenen Körperteile anbetrifft, so ergeben sich die nachfolgenden Tabellen.

Tabelle 1. Muskeln der oberen Extremität.

Name der Muskeln		Zahl der gemessenen Muskelfasern	$M \pm m$	$\sigma \pm m_\sigma$	Bindegewebe zwischen den Muskelfasern
Deltoides	(prox. Teil)	100	$8,7 \pm 0,22$	$2,24 \pm 0,17$	+
	(Bauchmitte)	100	$9,5 \pm 0,36$	$3,64 \pm 0,26$	++
	(dist. Teil)	100	$11,5 \pm 0,51$	$5,11 \pm 0,39$	++
Biceps brachii	(Caput long.)	87	$13,7 \pm 0,49$	$4,59 \pm 0,34$	++
	(Caput brev.)	85	$13,6 \pm 0,59$	$5,5 \pm 0,42$	+
	(Bauchmitte)	86	$13,9 \pm 0,57$	$5,24 \pm 0,4$	++
	(dist. Teil)	81	$13,1 \pm 0,55$	$4,94 \pm 0,39$	++
Brachialis	(prox. Teil)	63	$19,3 \pm 0,72$	$5,62 \pm 0,46$	++
	(Bauchmitte)	73	$15,5 \pm 0,63$	$5,36 \pm 0,44$	++
Brachioradialis	(prox. Teil)	63	$17,4 \pm 0,74$	$5,8 \pm 0,48$	++
	(dist. Teil)	67	$18,2 \pm 0,61$	$4,93 \pm 0,43$	++
Palmaris longus	(Bauchmitte)	87	$13,9 \pm 0,45$	$4,17 \pm 0,31$	++
	(dist. Teil)	75	$16,5 \pm 0,77$	$6,65 \pm 0,49$	++
Flexor dig. prof.	(prox. Teil)	88	$12,7 \pm 0,62$	$5,8 \pm 0,44$	++
	(Bauchmitte)	89	$12,9 \pm 0,57$	$5,37 \pm 0,39$	++
	(dist. Teil)	100	$12,3 \pm 0,49$	$4,86 \pm 0,33$	++
Flexor carpi uln.	(prox. Teil)	100	$9,6 \pm 0,43$	$4,29 \pm 0,34$	++
	(Bauchmitte)	100	$11,8 \pm 0,37$	$3,69 \pm 0,26$	++
	(dist. Teil)	72	$15,8 \pm 0,49$	$4,18 \pm 0,35$	++
Extensor carp. uln.	(prox. Teil)	100	$8,6 \pm 0,32$	$3,23 \pm 0,23$	++
	(Bauchmitte)	100	$9,1 \pm 0,31$	$3,05 \pm 0,21$	++
	(dist. Teil)	100	$7,2 \pm 0,41$	$4,13 \pm 0,29$	++
Extensor dig. comm.	(Bauchmitte)	100	$9,5 \pm 0,29$	$2,95 \pm 0,21$	++
	(dist. Teil)	100	$8,4 \pm 0,28$	$2,85 \pm 0,2$	++

In der Tabelle sind $M \pm m$ = arithmetischer Mittelwert und sein mittlerer Fehler,

$\sigma \pm m_\sigma$ = Standardabweichung und ihr mittlerer Fehler,

+, ++, +++ usw. = schwache, etwas stärkere, starke, stärkste Entfaltung des Bindegewebes zwischen den Muskelfasern.

Bei der Übersicht der Tabelle 1 bemerkt man in erster Linie, dass im allgemeinen das zwischenfaserige Bindegewebe in den Muskeln der oberen Extremität, insbesondere in den auf der Streckseite derselben nur schwach entfaltet ist. Die dicksten Muskelfasern findet man in Brachialis und Brachioradialis, und zwar sind im letzteren die Muskelfasern dicker am distalen Muskelende, als am proximalen. Die Muskelfasern von Palmaris longus, Flexor digitorum profundus (Fig. 1) und Flexor carpi ulnaris sind viel dicker, als die von Extensor carpi ulnaris und Extensor

digitorum communis. Während der Deltoides mässig feinfaserig ist, weist der Biceps brachii (Fig. 2) viele dickere Muskelfasern auf.

Fig. 1.

Distaler Teil des Flexor digitorum profundus (Färbung mit Azocarmine-Pasini, mikrophot. in Vergr. 200×). Hier ist das Bindegewebe zwischen den Muskelfasern mässig reichlich zu finden.

Fig. 2.

Mittlerer Teil des Biceps brachii (gezeichnet in 87,5facher Vergr.).

Im grossen und ganzen sind die Muskelfasern und das zwischenfaserige Bindegewebe in der oberen Extremität auf der Beugeseite viel stärker entfaltet, als auf der Streckseite, was ohne Weiteres darauf hinweist, dass die Beuger mit viel grösseren Leistungen betraut sind, als die Strecker.

Tabelle 2. Muskeln der unteren Extremität.

Name der Muskeln		Zahl der gemessenen Muskelfasern	$M \pm m$	$\sigma \pm m\sigma$	Bindegewebe zwischen den Muskelfasern
Sartorius	(prox. Teil)	100	$7,1 \pm 0,25$	$2,49 \pm 0,18$	+
	(Bauchmitte)	100	$6,1 \pm 0,27$	$2,73 \pm 0,19$	+
	(dist. Teil)	100	$5,4 \pm 0,29$	$2,87 \pm 0,21$	++
Adductor longus	(Bauchmitte)	100	$8,9 \pm 0,26$	$2,59 \pm 0,18$	++
	(dist. Teil)	100	$9,4 \pm 0,31$	$3,07 \pm 0,22$	++
Quadriceps femoris.	Rect. fem.	88	$12,0 \pm 0,44$	$4,12 \pm 0,31$	+++
Vast. intermed.	(Bauchmitte)	81	$16,1 \pm 0,84$	$7,53 \pm 0,59$	+++
	(dist. Teil)	70	$21,1 \pm 0,99$	$8,67 \pm 0,66$	+++
Vast. lateralis	(Bauchmitte)	100	$9,7 \pm 0,55$	$5,45 \pm 0,39$	+++
	(dist. Teil)	77	$15,5 \pm 0,67$	$5,85 \pm 0,47$	+++

Tabelle 2. Muskeln der unteren Extremität.—(Fortsetzung)

Name der Muskeln	Zahl der gemessenen Muskelfasern	$M \pm m$	$\sigma \pm m_\sigma$	Bindegewebe zwischen den Muskelfasern
Vast. medialis (Bauchmitte)	100	$7,8 \pm 0,34$	$3,35 \pm 0,24$	+++
(dist. Teil)	97	$12,3 \pm 0,49$	$4,79 \pm 0,35$	++
Biceps femoris caput long. (prox. Teil)	100	$7,9 \pm 0,44$	$4,35 \pm 0,31$	+++
(Bauchmitte)	100	$12,3 \pm 0,96$	$9,55 \pm 0,68$	+++
caput brev. (prox. Teil)	100	$8,2 \pm 0,32$	$3,16 \pm 0,22$	+++
(Bauchmitte)	100	$7,7 \pm 0,24$	$2,43 \pm 0,17$	+++
Gastrocnemius (Bauchmitte)	66	$25,5 \pm 1,04$	$8,42 \pm 0,73$	+++
Soleus (Oberfl. Bauchmitte)	100	$15,6 \pm 0,66$	$6,55 \pm 0,46$	+++
(Tief. Bauchmitte)	100	$15,4 \pm 0,53$	$5,34 \pm 0,38$	+++
Tibialis ant. (prox. Teil)	100	$9,5 \pm 0,31$	$3,13 \pm 0,22$	+++
(Bauchmitte)	100	$7,3 \pm 0,31$	$3,05 \pm 0,21$	+++
(dist. Teil)	100	$10,8 \pm 0,37$	$3,69 \pm 0,26$	+++
Fibularis longus (prox. Teil)	100	$9,3 \pm 0,29$	$2,86 \pm 0,21$	+++
(Bauchmitte)	100	$9,4 \pm 0,39$	$3,88 \pm 0,27$	+++
(dist. Teil)	100	$10,5 \pm 0,41$	$4,11 \pm 0,29$	+++
Flexor hall. long. (Bauchmitte)	100	$10,5 \pm 0,34$	$3,38 \pm 0,24$	+++
(dist. Teil)	100	$7,1 \pm 0,34$	$3,36 \pm 0,23$	+++
Extensor hall. long. (prox. Teil)	100	$7,7 \pm 0,24$	$2,39 \pm 0,17$	+++
(Bauchmitte)	100	$8,4 \pm 0,28$	$2,8 \pm 0,19$	++
(dist. Teil)	100	$9,2 \pm 0,26$	$2,56 \pm 0,18$	++
Popliteus (Bauchmitte)	100	$7,1 \pm 0,23$	$2,28 \pm 0,16$	+++
Plantaris (Bauchmitte)	100	$6,9 \pm 0,35$	$3,51 \pm 0,25$	++

Unter den untersuchten 13 Muskeln der unteren Extremität ist der Sartorius am meisten feinfaserig, und seine Muskelfasern haben in der Mitte des Muskelbauches nur Querschnittswert von 6,1. Hier tritt das Bindegewebe zwischen den Muskelfasern nur spärlich auf. Auch besteht der Adductor longus aus feinen Muskelfasern; in ihm ist aber das Bindegewebe etwas reichlicher anzutreffen. Die Muskelfasern des Quadriceps femoris sind im allgemeinen mässig dick, und zwar bietet unter den 4 Köpfen des Muskels der Vastus intermedius die dicksten Muskelfasern dar, deren Querschnittswert in der Mitte des Muskelbauches durchschnittlich 16,1, im distalen Muskelteil 21,1 beträgt. Ebenso dick sind auch die Muskelfasern des Vastus lateralis im distalen Muskelteil, aber sie werden nach der Mitte des Muskelbauches hin viel dünner; mässig dick sind die Muskelfasern des Rectus femoris und Vastus medialis. Das

Bindegewebe zwischen den Muskelfasern ist im Quadriceps femoris, insbesondere im Vastus intermedius reichlich vorhanden. Ebenso massenhaft tritt es auch im Biceps femoris auf, wo die Muskelfasern merklich fein sind; hier im Caput longum erscheinen sie etwas dicker, als im Caput breve.

Unter den Muskeln der unteren Extremität, ja sogar unter denen des ganzen Körpers, findet man im Gastrocnemius die dicksten Muskel-

Fig. 3.

Gastrocnemius (gezeichnet in 87,5facher Vergr.). Die Muskelfasern sind am dicksten.

fasern (Fig. 3), deren Querschnittswert sich auf 25,5 beläuft und etwa 7,7 mal so gross ist, als der der später zu erwähnenden Muskelfasern im Rectus bulbi superior; dort wird das zwischenfaserige Bindegewebe auch in grosser Menge angetroffen. Im Soleus sind die Muskelfasern viel feiner, als im Gastrocnemius, während das Bindegewebe sich dort ebenso reichlich zeigt, wie hier. Weiter noch fein sind die Muskelfasern in Tibialis anterior, Fibularis longus und Flexor hallucis longus, aber viel dicker, als die im Extensor hallucis longus; das Bindegewebe ist in allen diesen Muskeln mässig reichlich vertreten. Sowohl

der Popliteus als auch der Plantaris bestehen im allgemeinen aus feinen Muskelfasern, sie sind im letzteren etwas feiner, als im ersteren.

In Anbetracht der obigen Befunde überzeugt man sich leicht selbst davon, dass auch in der unteren Extremität die Flexoren im allgemeinen stärker entfaltet sind, als die Extensoren. Demgemäss spricht sich Fick (1911) dahin aus, dass erstere sowohl in der oberen Extremität als auch in der unteren gewaltigere Arbeit leisten können, als die Extensoren.

Wenn man weiter die Leistungen der oberen Extremitätsmuskeln mit denen der unteren vergleicht, so findet man leicht, dass die ersteren mehr vorübergehend geschehen, als die letzteren. Tatsächlich sieht man in den unteren Extremitätsmuskeln eine stärkere Entfaltung der Muskelfasern und des Bindegewebes, als in den oberen, was sich von selbst versteht, wenn man Tabelle 1 und 2 miteinander vergleicht.

Bekanntlich stellen unter den Brustmuskeln die Intercostales externi mit dem Diaphragma die wichtigsten Inspiratoren dar und sind fortwährend tätig, im Gegensatz zu Serratus lateralis, Pectorales major et minor, welche alle nur bei der Fixierung ihres Ansatzes als Inspiratoren wirken. Da die Pectorales major et minor auf der anderen Seite mit einer etwas kräftigeren, aber nicht andauernden Arbeit betraut sind, sind in ihnen

Tabelle 3. Brustmuskeln.

Name der Muskeln	Zahl der gemessenen Muskelfasern	$M \pm m$	$\sigma \pm m\sigma$	Bindegewebe zwischen den Muskelfasern
Pectoralis major	76	$13,7 \pm 0,65$	$5,35 \pm 0,43$	+
Pectoralis minor (lat. Seite)	75	$14,1 \pm 0,53$	$4,6 \pm 0,38$	+
(med. Seite)	98	$12,1 \pm 0,37$	$3,65 \pm 0,26$	+
Serratus lateralis	100	$8,4 \pm 0,29$	$2,89 \pm 0,21$	+++
Intercostales externi	100	$8,6 \pm 0,33$	$3,27 \pm 0,23$	+++

die Muskelfasern ziemlich dick, und ihr Querschnittswert beläuft sich auf 12,1–14,1. Die beiden Muskeln bieten nur ganz wenig Bindegewebe zwischen den Muskelfasern dar. Die Muskelfasern sind in Serratus lateralis und Intercostales externi viel feiner, und ihr Querschnittswert beträgt nur 8,4–8,6. Hier tritt aber das zwischenfaserige Bindegewebe stark entfaltet zutage.

Tabelle 4. Bauchmuskeln.

Name der Muskeln	Zahl der gemessenen Muskelfasern	$M \pm m$	$\sigma \pm m\sigma$	Bindegewebe zwischen den Muskelfasern
Transversus abd.	100	$13,3 \pm 0,35$	$3,52 \pm 0,25$	+++
Obliquus abd. ext.	100	$8,1 \pm 0,25$	$2,49 \pm 0,18$	+++
Rectus abd.	100	$10,6 \pm 0,34$	$3,35 \pm 0,24$	+++
Pyramidalis	100	$7,9 \pm 0,37$	$3,74 \pm 0,26$	++

Unter den Bauchmuskeln führt der Transversus abdominis die dicksten Muskelfasern, und der Pyramidalis die feinsten; der Querschnittswert der Muskelfasern beläuft sich dort auf 13,3, hier nur auf 7,9. In Bezug auf die Dicke der Muskelfasern liegt der Rectus abdominis gerade mitten zwischen den beiden Muskeln, indem dort der Querschnittswert der Muskelfasern 10,6 beträgt. Dass der Transversus abdominis am meisten dickfaserig ist, hat seinen Grund wohl darin, dass er, abgesehen von der Bauchpresse, durch seinen oberen Teil Rippen einwärts ziehend zur Atembewegung beiträgt. Das Bindegewebe zwischen den Muskelfasern wird bei den Bauchmuskeln im allgemeinen wohl entwickelt gefunden.

Im allgemeinen ist das Bindegewebe zwischen den Muskelfasern in den Halsmuskeln, insbesondere in Omohyoideus und Longus colli, reich-

Tabelle 5. Halsmuskeln.

Name der Muskeln	Zahl der gemessenen Muskelfasern	$M \pm m$	$\sigma \pm m\sigma$	Bindegewebe zwischen den Muskelfasern
Platysma	100	$9,1 \pm 0,39$	$3,92 \pm 0,28$	+++
Sternocleidomastoideus	100	$9,0 \pm 0,26$	$2,57 \pm 0,18$	++
(Prox. Teil)				
Pars stern.-mast. (Bauchmitte)	100	$12,5 \pm 0,43$	$4,29 \pm 0,31$	+++
(dist. Teil)	100	$11,1 \pm 0,38$	$3,8 \pm 0,27$	++
Pars cleid.-mast. (Prox. Teil)	100	$10,8 \pm 0,41$	$4,08 \pm 0,29$	++
(Bauchmitte)	100	$11,7 \pm 0,31$	$3,11 \pm 0,22$	+++
(dist. Teil)	100	$10,0 \pm 0,34$	$3,36 \pm 0,24$	++
Omohyoideus Vent. cranialis	100	$9,2 \pm 0,31$	$3,07 \pm 0,22$	+++
Vent. caudalis	100	$10,3 \pm 0,39$	$3,88 \pm 0,28$	+++
Geniohyoideus	100	$11,7 \pm 0,37$	$3,69 \pm 0,26$	+++
Longus colli	100	$8,6 \pm 0,34$	$3,44 \pm 0,24$	+++

lich nachweisbar. In Sternocleidomastoideus und Omohyoideus sind die Muskelfasern mässig dick und weisen überhaupt den Querschnittswert von 10–11 auf. Während der erstere Muskel bezüglich der Dicke der Muskelfasern einen Unterschied zwischen dem Sternal- und dem Klavikularschenkel darbietet, besteht am letzteren der Venter caudalis aus etwas dickeren Muskelfasern, als der Venter cranialis. Etwas dicker sind die Muskelfasern im Geniohyoideus und haben hier den Querschnittswert von 11,7; dagegen ist der Longus colli, wo der Querschnittswert der Muskelfasern sich nur auf 8,6 beläuft, unter den untersuchten Halsmuskeln am meisten feinfaserig.

Tabelle 6. Rückenmuskeln.

Name der Muskeln	Zahl der gemessenen Muskelfasern	$M \pm m$	$\sigma \pm m\sigma$	Bindegewebe zwischen den Muskelfasern
Longissimus dorsi	67	$24,5 \pm 0,86$	$7,46 \pm 0,65$	+++
Longissimus cervicis	100	$12,2 \pm 0,36$	$3,63 \pm 0,26$	+++
Trapezius	100	$9,5 \pm 0,39$	$3,97 \pm 0,28$	+++
Latissimus dorsi	100	$9,8 \pm 0,52$	$5,24 \pm 0,37$	++

Wenn man die oben stehende Tabelle 6 durchsicht, so springt es in die Augen, dass der Longissimus dorsi recht dicke Muskelfasern führt (Fig. 4) und hinsichtlich der Dicke der Muskelfasern dem Gastrocnemius

zunächst kommt. Die Muskelfasern des Longissimus dorsi sind bei weitem dicker als die des Longissimus cervicis und bieten durchschnittlich den

Fig. 4.

Longissimus dorsi (gezeichnet in 87,5facher Vergr.). Hier sind die Muskelfasern zunächst am dicksten.

Querschnittswert von 24,5 dar. Während der Querschnittswert sich an dem Longissimus cervicis noch auf 12,2 beläuft, beträgt er an Trapezius und Latissimus dorsi nur 9,5–9,8.

Nach Voss (1934) sind die Muskelfasern des Trapezius im queren Teil desselben $1\frac{1}{2}$ –2 mal so dick, wie im aufsteigenden. Der Trapeziusteil, welcher hier zur Untersuchung gekommen ist, entspricht wohl dem queren von Voss, wo die Muskelfasern nach unserer Erfahrung aber nur den Querschnittswert von 9,5 haben, wie oben dargetan.

Das Bindegewebe zwischen den Muskelfasern ist in den Rückenmuskeln, insbesondere in Trapezius und Longissimus, recht reichlich anzutreffen. Dass der Longissimus aus den dicksten Muskelfasern besteht, erklärt sich daraus, dass er bei der Antiflexion des Rumpfes einer grossen Belastung entgegenwirken muss, welche durch die Schwere von Kopf, Brust und oberen Extremitäten bedingt wird. Daraus lässt es sich auch zugleich verstehen, dass die Muskelfasern im Longissimus dorsi bei weitem dicker sind, als im Longissimus cervicis.

Tabelle 7. Innere Hüftmuskeln.

Name der Muskeln		Zahl der gemessenen Muskelfasern	$M \pm m$	$\sigma \pm m\sigma$	Bindegewebe zwischen den Muskelfasern
Psoas major	(prox. Teil)	100	$8,7 \pm 0,43$	$4,25 \pm 0,31$	++
	(Bauchmitte)	100	$9,1 \pm 0,39$	$3,85 \pm 0,27$	++
	(dist. Teil)	100	$5,3 \pm 0,26$	$2,58 \pm 0,18$	++

Bekanntlich zieht der Psoas major schräg an dem Hüftgelenk vorbei und hat die Aufgabe, bei einer starken Retroflexion des Körpers Umkippen desselben nach hinten zu verhindern. In dem Muskel ist das Bindegewebe zwischen den Muskelfasern nur schwach entfaltet. Die Muskelfasern sind nicht dick, und ihr Querschnittswert beträgt im mittleren Muskelteil 9,1, im proximalen 8,7 und im distalen nur 5,3.

Tabelle 8. Augenmuskeln.

Name der Muskeln	Zahl der gemessenen Muskelfasern	$M \pm m$	$\sigma \pm m_\sigma$	Bindegewebe zwischen den Muskelfasern
Rectus bulbi sup.	100	$3,3 \pm 0,06$	$0,63 \pm 0,04$	###
Levator palp. sup.	100	$3,7 \pm 0,16$	$1,16 \pm 0,12$	###

Von den untersuchten bestehen die Augenmuskeln aus den allerfeinsten Muskelfasern und bieten zwischen ihnen die stärkste Entfaltung des Bindegewebes dar (Fig. 5 u. 6), was ohne Zweifel darauf hinweist, dass die Augen bei ihren Bewegungen keine grosse Kraft in Anspruch

Fig. 5.

Rectus bulbi superior (gezeichnet in 87,5facher Vergr.). Der Muskel führt die feinsten Muskelfasern.

Fig. 6.

Rectus bulbi superior (Färbung mit Azocarmin-Pasini, mikrophot. in Vergr. 200×). Das die einzelnen Muskelfasern netzartig umstrickende Bindegewebe ist hier reichlich angetroffen.

nehmen. Das Bindegewebe bildet ein schönes Netzwerk um je eine Muskelfaser, deren Kaliber nach Halban (1894) im Rectus bulbi superior 0,0175 mm beträgt. Schiefferdecker (1904) gibt an, dass die Dicke der Muskelfasern im Rectus bulbi superior zwischen 125,8–183,8 μ^2 schwankt. Nach unserer Messung fällt aber die Dicke derselben etwas grösser aus, als die Angaben dieser beiden Autoren, so dass der Querschnittswert der Muskelfasern sich im Rectus bulbi superior auf 3,3 und im Levator palpebrae superioris auf 3,7 beläuft.

Tabelle 9. Kaumuskeln.

Name der Muskeln	Zahl der gemessenen Muskelfasern	$M \pm m$	$\sigma \pm m_\sigma$	Bindegewebe zwischen den Muskelfasern
Masseter (Oberfl.)	100	$9,7 \pm 0,28$	$2,84 \pm 0,21$	##
(Tief.)	100	$9,6 \pm 0,36$	$3,6 \pm 0,26$	###

Von den Kaumuskeln kommt hier nur der Masseter in Betracht, welcher, abgesehen vom Kauakt, an dem Sprechen teilnimmt. Der Muskel besteht bekanntlich aus einer oberflächlichen und einer tiefen Schicht. In den beiden Schichten sind die Muskelfasern fast gleich dick und weisen den Querschnittswert von 9,6–9,7 auf, während das Bindegewebe zwischen den Muskelfasern in der tiefen Schicht etwas stärker entfaltet ist, als in der oberflächlichen.

Tabelle 10. Diaphragma.

Name der Muskeln	Zahl der gemessenen Muskelfasern	$M \pm m$	$\sigma \pm m_\sigma$	Bindegewebe zwischen den Muskelfasern
Pars sternalis	100	$8,7 \pm 0,44$	$4,4 \pm 0,31$	###
Pars lumbalis	100	$7,4 \pm 0,37$	$3,66 \pm 0,26$	###
Pars costalis (l.)	100	$7,3 \pm 0,35$	$3,51 \pm 0,25$	###
Pars costalis (r.)	100	$7,4 \pm 0,31$	$3,06 \pm 0,22$	###

Wie oben gesagt, wirkt das Diaphragma bei der Atmung als der wichtigste Inspirator und setzt sich aus den Partes sternalis, costalis et lumbalis zusammen. In allen diesen Muskelpartien sind die Muskelfasern nicht ganz so dick wie die in den anderen Skelettmuskeln, und ihr Querschnittswert beträgt in der Pars costalis (l.) nur 7,3, in den Partes lumbalis et costalis (r.) 7,4 und in der Pars sternalis 8,7. Bemerkenswert ist, dass hier im Diaphragma das Bindegewebe zwischen den Muskelfasern recht stark entwickelt ist und sich in der Anordnung seiner Faserelemente demjenigen in den Augenmuskeln ganz ähnlich verhält.

III. Variationskoeffizient an den Querschnitten der Muskelfasern.

Der Variationskoeffizient $V = 100 \sigma/M$, worin M den Mittelwert der Querschnitte der Muskelfasern und σ die Standardabweichung desselben

angeben, drückt die letztere zum ersteren prozentig aus und macht dadurch die Variabilität an verschiedenen Massen miteinander vergleichbar. Wenn man den Variationskoeffizient an den Querschnitten der Muskelfasern der einzelnen Muskeln miteinander vergleicht, so erkennt man leicht, dass er zu der Muskelfunktion und dem Muskelaufbau in engster Beziehung steht. So ist an denjenigen Muskeln, welche verhältnismässig nur wenig kontrahieren, z.B. *Pyramidalis*, *Sartorius*, *Plantalis* usw., der Variationskoeffizient merklich gross und hat den Wert von 47,3–53,1. Auch diejenigen Muskeln, welche mit einem oder mehreren sehnigen Blättern versehen sind, wie *Palmalis longus*, *Flexor digitorum profundus* usw., bieten einen ziemlich grossen Variationskoeffizient dar, welcher den Wert von 40,1–45,7 hat. Ebenfalls gross ist der Variationskoeffizient an denjenigen Muskeln, welche in ihrem Innern wohl entwickelte bindegewebige Septen besitzen, wie z.B. *Longus colli*, *Biceps femoris*, *Diaphragma* usw., und sein Wert beläuft sich hier auf 40,0–55,1. Im Gegensatz zu den obigen Muskeln zeigen diejenigen Muskeln, welche sich stark zusammenziehen, z.B. *Masseter*, *Sternocleidomastoideus*, *Longissimus cervicis* usw., einen bedeutend kleineren Variationskoeffizient, dessen Wert nur 26,6–29,6 beträgt.

IV. Zusammenfassung.

Wenn wir die oben geschilderten Resultate bei dieser Arbeit kurz zusammenfassen, so ergibt sich:

1) Unter den Muskeln des ganzen Körpers führen der *Gastrocnemius* und *Longissimus dorsi* die dicksten Muskelfasern, im Gegensatz dazu die Augenmuskeln und der distale Teil des *Psoas major* die feinsten.

2) Im allgemeinen haben diejenigen Muskeln, welche die dicken Muskelfasern führen, bei ihrer Kontraktion eine grosse Kraft zur Folge, und umgekehrt. Die andauernd tätigen Muskeln führen die feinen Muskelfasern, zwischen denen das Bindegewebe reichlich angetroffen wird.

Zum Schluss will ich nicht unterlassen, Herrn Prof. Dr. K. Yagita für seine lebenswürdige Unterstützung bei dieser Arbeit meinen herzlichen Dank auszusprechen.

Literaturverzeichnis.

Fick, R.: Handbuch der Anatomie und Mechanik der Gelenke unter Berücksichtigung der bewegenden Muskeln. Bd. 3, 1911.

- Halban, J.: Die Dicke der quergestreiften Muskelfasern und ihre Bedeutung. *Anat. H.* Bd. 3, 1894.
- Hopf, G.: Grössenunterschiede der Muskelfaserquerschnitte zwischen den einzelnen Portionen des M. masseter beim Menschen und bei einigen Säugetieren. *Z. mikr.-anat. Forsch.* Bd. 35, 1934.
- Häggqvist, G.: Die Struktur der Skelettmuskeln. In Möllendorffs *Handbuch der mikroskopischen Anatomie des Menschen.* Bd. 2, Teil 3, 1931.
- Lauber, H.: Die Struktur der Augenmuskeln. In Möllendorffs *Handbuch der mikroskopischen Anatomie des Menschen.* Bd. 3, Teil 2, 1936.
- Schiefferdecker, P.: Eine Eigentümlichkeit im Bau der Augenmuskeln. *Zit. n. Lauber* in Möllendorffs *Handbuch der mikroskopischen Anatomie des Menschen.* Bd. 3, Teil 2, 1936.
- , : Untersuchungen über den feineren Bau und die Kernverhältnisse des Zwerchfells in Beziehung zu seiner Funktion. *Pflügers Arch.* Bd. 139, 1911.
- , : Vergleichende Betrachtungen über 116 von mir untersuchte Muskeln. *Z. mikr.-anat. Forsch.* Bd. 9, 1927.
- Seki, M.: Untersuchungen mit nichtwässrigen Flüssigkeiten. III. Erfahrungen auf dem Gebiete der Celloidineinbettung. *Z. Zellforsch.* Bd. 26, 1937.
- Voss, H.: Vergleichende Untersuchungen über den Aufteilungsgrad der kontraktile Masse in den Skelettmuskeln. *Z. mikr.-anat. Forsch.* Bd. 36, 1934.

Erklärung der Tafelfiguren 7–8.

In der Figur 7 und 8 sind die Muskelpartien je nach der Faserdicke in Violett, Blau, Grün, Gelb, Orange bzw. Rot markiert. Das Violett bedeutet die Stellen der dünnsten Fasern, und das Rot diejenigen der dicksten.

Fig. 7.

Y. Kohashi.

Fig. 8.

Y. Kohashi.