

A r c h i v
für
pathologische Anatomie und Physiologie
und für
klinische Medicin.

Bd. 151. (Funfzehnte Folge Bd. I.) Hft. 2.

X.

**Ueber die numerischen Schwankungen
der Kerne in den quergestreiften Muskelfasern
des Menschen.**

(Aus dem Institut für allgemeine Pathologie an der K. Universität zu Siena.)

Von Prof. B. Morpurgo und Dr. F. Bindì.

Ueber die Anzahl und die Vertheilung der Kerne in den Muskelfasern liegen nur ganz spärliche und zerstreute Angaben in der Literatur vor.

Golgi¹⁾ beschrieb beim erwachsenen Menschen Kerne mitten in der Substanz der Muskelfasern. Solche Kerne, die dieser Autor scharf von den Sarcolemmkernen unterschieden wissen will, sind in bedeutender Anzahl und wohl entwickelt in der Nähe der Sehnenansätze der Fasern vorhanden, während sie in der übrigen Muskelsubstanz spärlich und verkümmert erscheinen.

Froriep²⁾ fand bei Amphibien und Säugethieren, sowohl bei in der Entwicklung begriffenen, als bei erwachsenen Muskeln eine relative Anhäufung von Kernen an der Verbindungszone von Sehne

¹⁾ Golgi, Annotazioni intorno all' istologia normale e patologica dei muscoli volontari. Arch. per le sc. med. Vol. V. p. 205.

²⁾ A. Froriep, Ueber das Sarcolemm und die Muskelkerne. Archiv für Anat. und Phys. von His und Braune und E. du Bois-Reymond, Anat. Abth. 1878.

und Primitivbündel, und verlegt an diese Stelle auch im erwachsenen Muskel die Neubildung von quergestreifter Substanz.

Felix¹⁾ fand bei Embryonen aus dem zweiten Monate die Muskelkerne an gewissen Stellen der Faser dicht gruppiert und quergestellt.

Auch Calderara²⁾ beschäftigte sich mit den Verhältnissen der Kerne an den in Entwicklung begriffenen Muskelfasern. Er fand, dass in späteren Entwicklungsperioden die Muskelkerne, trotz der stattgefundenen Verlängerung der Fasern, dichter erscheinen. Daraus schloss er, dass in gewissen embryonalen Epochen eine Vermehrung der Muskelkerne stattfinden müsse, da man Zeichen von Kernwucherung nicht entdecken könne. Selbst bei neugeborenen Kaninchen fand er Haufen von 3—4—10 und mehr Kernen in der Nähe des Sehnenansatzes.

Morpurgo³⁾ hat bei Gelegenheit von Untersuchungen über den Prozess der Activitäts-Hypertrophie der Muskelfasern die Beobachtung gemacht, dass in den dünneren Fasern die Kerne dichter angehäuft sind, als in den dickeren. Diese Thatsache hat er damals nicht weiter verfolgt, aber als eines eingehenderen Studiums werth betrachtet.

Es ist bekannt, dass wohldifferenzirte Muskelfasern des Fötus und des Neugeborenen in allen Körpermuskeln gleichmässig dünn sind, während die des Erwachsenen in sehr weiten Grenzen variiren und Caliber-Verhältnisse aufweisen, die für jeden Muskel constant und charakteristisch sind⁴⁾.

Wir haben uns vorgenommen, zu entscheiden: 1) ob in den jungen Muskelfasern die Kerne gleichmässig vertheilt oder von vornherein in einzelnen Fasern reichlicher seien, als in den anderen; 2) ob die Anzahl der Kerne in der Volumenseinheit der Muskelsubstanz bei erwachsenen menschlichen Körpermuskeln constant oder je nach dem Caliber der Fasern veränderlich sei.

In den Ergebnissen dieser Untersuchungen konnte auch die Frage Beantwortung finden, ob die Vermehrung der Kerne dem Wachstume der Muskelfasern in gleichem Schritt folge.

¹⁾ Felix, Zeitschr. für wissensch. Zoologie. 1889.

²⁾ Calderara, Arch. per le sc. med. Vol. XVII. p. 96.

³⁾ Morpurgo, Dieses Archiv. Bd. 150. Hft. 3. S. 522.

⁴⁾ Schwalbe und Mayeda, Zeitschr. für Biol. XXVII. N. F. IX.

Es wurden zuerst die Muskeln eines menschlichen Fötus aus dem achten Schwangerschaftsmonate untersucht, dann einige der feinfaserigen Muskeln des Erwachsenen und zuletzt der Sartorius des Erwachsenen, welcher sehr ungleichmässige und mitunter sehr dicke Fasern enthält.

Die Untersuchungsmethode war eine ganz einfache. Die einer kräftigen, möglichst frischen menschlichen Leiche entnommenen Stückchen von Muskeln, sowie die Muskeln des Fötus wurden einige Tage in Müller'scher Flüssigkeit aufbewahrt, nachher grob zerfasert, gründlich gewaschen und mit Alauncarmin intensiv gefärbt. Von den dunkeltingirten Bündeln wurden mit Hülfe des einfachen Mikroskops einige Fasernfragmente isolirt und auf einem mit Glycerin befeuchteten Objectträger in einfacher Reihe parallel geordnet. Nach Bedeckung mit einem auf zwei Härchen gestützten Deckglase wurde Dicke und Länge eines jeden Faserfragmentes mikrometrisch bestimmt und dann wurden die in jedem derselben enthaltenen Kerne gezählt.

Bei diesen Operationen haben wir verschieden vorgehen müssen, je nachdem wir fötale oder erwachsene Muskelfasern untersuchten. Bei den ersteren gelingt es ohne Weiteres die Kerne zu zählen, während bei den letzteren, und zwar bei den Fasern grösseren Calibers, es nur ausnahmsweise möglich gewesen wäre, sämtliche Kerne zu unterscheiden. Deswegen haben wir bei diesen, nach Messung der Dicke und der Länge der Cylinder, zwischen Objectträger und Deckglas etwas Essigsäure ganz vorsichtig zufließen lassen, bis die tief gefärbten Kerne in der aufgehellten Muskelsubstanz recht deutlich hervortraten. Dann haben wir in derselben Ordnung, wie die Messungen ausgeführt worden waren, die Kerne gezählt.

Die Bestimmung der Länge der Fasernfragmente wurde mit Obj. 4 Oc. 2 (Koristka), jene der Dicke mit Obj. 8 Oc. 2, die Zählung der Kerne mit Obj. 8* Oc. 3 ausgeführt.

Muskeln des Fötus.

Von dem Fötus aus dem achten Schwangerschaftsmonate wurden folgende Muskeln untersucht: M. levator palp. sup., M. sternocleidomastoideus, M. biceps brachii, M. gluteus max., M. sartorius, M. gastrocnemius.

Die Fasern aller dieser Muskeln sind viel dünner, als die entsprechenden des Erwachsenen; sie sind auch sehr gleichmässig, sowohl wenn man die Fasern eines Muskels unter einander vergleicht, als wenn man Fasern von verschiedenen Muskeln betrachtet. Ganz geringe Schwankungen des Calibers sind dennoch nachweisbar, so dass wir zwei verschiedene Caliberkategorien auch bei diesen Muskeln aufstellen konnten.

Die diesen Kategorien zu Grunde liegenden Durchmesser entsprechen wahrscheinlich nicht den extremen Dickenwerthen der Fasern des Fötus; für den Zweck unserer Untersuchungen sind die gefundenen Unterschiede ausreichend.

Wir haben Fasern von 7 und von 12 μ Durchmesser in Betracht gezogen, und das Volumen und die Zahl der Kerne von 15 Fasernfragmenten aus beiden Caliberkategorien, bei jedem Muskel bestimmt.

Aus dem Volumen ($\pi r^2 \cdot h$) und der gefundenen Anzahl der Kerne (n) konnten wir leicht die Anzahl der in einem Cubikmillimeter Muskelsubstanz enthaltenen Kerne (N) nach der Formel

$$N = \frac{n}{\pi r^2 h} \text{ berechnen.}$$

In folgender Tabelle haben wir die aus 15 Einzelberechnungen resultirenden Mittelwerthe für N zusammengestellt.

Tabelle I.

Name des Muskels	Zahl der Kerne in 1 cmm Muskelsubstanz (N)	
	Fasern von 7 μ Durchm.	Fasern von 12 μ Durchm.
1. M. levator palp. sup.	329048	113760
2. M. sternocleidomastoideus	295793	109648
3. M. gluteus max.	266807	126883
4. M. biceps brachii	280927	117671
5. M. sartorius	273928	118358
6. M. gastrocnemius	397289	123720.

Aus den für N resultirenden Ziffern geht deutlich hervor, dass bei den Fasern gleichen Calibers der verschiedenen Muskeln des Fötus die Zahl der Kerne in der Volumeneinheit von Muskelsubstanz innerhalb enger Grenzen schwankt; die stärksten Unterschiede für N stehen nicht mit dem Namen des Muskels, sondern mit der Grösse des Fasern-durchmessers in Zusammenhang.

Wenn man den Mittelwerth von N für die Fasern von 7 μ

Durchmesser (N) mit dem für die Fasern von $12\ \mu$ Durchmesser gefundenen (N_1) vergleicht, so ergibt sich dass:

$$N:N_1 = 2,8:1,$$

und wenn man nun das Caliber der ersten Fasernkategorie (C) mit dem der zweiten (C_1) vergleicht, so geht hervor, dass:

$$C:C_1 = 1:2,75.$$

Also $N:N_1 = C_1:C$, d. h. die Anzahl der Kerne in der Volumenseinheit der Muskelfasern des achtmonatlichen menschlichen Fötus steht im entgegengesetzten Verhältnisse zum Caliber der Fasern.

Feinfaserige Muskeln des Erwachsenen.

Von diesen Muskeln haben wir die geraden Augenmuskeln und den Zygomaticus maj. in Betracht gezogen.

Bei der Bestimmung des Gehaltes an Kernen der Muskelsubstanz haben wir auch hier 15 Fasernfragmente aus jeder der betrachteten Caliberkategorien untersucht.

Äussere Augenmuskeln. Der niedrigste hier gefundene Dickenwerth der Fasern war $12\ \mu$; der höchste $28,8\ \mu$. Schwalbe und Mayeda gaben etwas geringere Ziffern an; die Entfernung zwischen Maximal- und Minimaldurchmesser ist aber bei diesen Autoren und bei uns ungefähr dieselbe.

In folgender Tabelle sind die Werthe von N zusammengestellt, wie sie aus den Berechnungen für 15 Fasernfragmente der bezeichneten Dicke hervorgingen.

Tabelle II.

Durchmesser mm	Anzahl der Kerne in 1 cmm Muskelsubstanz (N)					
	M. rect. oc. ext.		M. rect. oc. int.		M. rect. oc. inf.	
0,0120	157	629	156	934	156	385
0,0144	121	300	128	043	131	682
0,0168	98	548	86	999	93	895
0,0192	83	367	68	999	72	293
0,0216	65	683	67	495	65	417
0,0240	53	519	60	432	60	590
0,0264	50	563	51	532	54	765
0,0288	46	056	43	407	43	244.

Bei den Fasern gleichen Calibers sind die Werthe von N bei allen untersuchten Muskeln annähernd gleich, während sie bei den Fasern von verschiedenem Caliber, wenn auch desselben Muskels, ziemlich verschieden sind.

Die Anzahl der Kerne in den Fasern mit dem kleinsten

Durchmesser ist mehr als dreimal so gross, wie die Anzahl der Kerne in den dicksten Fasern.

Die für N bei Fasern von 12 μ Durchmesser gefundenen Werthe weichen von denjenigen, die wir bei den gleich dicken Fasern des Fötus fanden, nicht erheblich ab.

Das bedeutet nicht, dass die Zahl der Kerne in den feinsten Fasern der geraden Augenmuskeln während des Wachstums des Organismus unverändert geblieben sei; eine Kernvermehrung muss mit Wahrscheinlichkeit angenommen werden, da, wenn keine solche stattgefunden hätte, die Kerne bei der Verlängerung der Fasern sich mehr oder weniger hätten von einander entfernen müssen.

Ueber die in den normalen jungen, wohl differenzirten Elementen des quergestreiften Muskelgewebes vermuthete Wucherung der Kerne ist nichts Positives bekannt; einer von uns hat diesbezügliche Untersuchungen eben unternommen.

M. zygomaticus major. Dieser Muskel, wie die Gesichtsmuskeln im Allgemeinen, besteht aus relativ dünnen und gleichmässigen Fasern. Jedenfalls sind aber die Unterschiede der Caliber grösser, als bei den äusseren Augenmuskeln.

Die von uns gefundenen Dickenwerthe sind etwas höher, als die von Schwalbe und Mayeda angegebenen, da wir ein Minimum von 0,012 und ein Maximum von 0,048, Schwalbe und Mayeda ein Minimum von 0,0095 und ein Maximum von 0,0418 fanden.

Wir haben nicht ausdrücklich nach den extremen Dickenwerthen geforscht, und haben auch die Methode der genannten Autoren nicht befolgen können, so dass die geringen Unterschiede in den Resultaten leicht erklärlich sind.

Tabelle III enthält die an 16 Caliberkategorien berechneten Mittelwerthe (von 15 Fasernfragmenten):

Tabelle III.

Durchmesser mm	N	Durchmesser mm	N
0,0126	171 347	0,0312	59 720
0,0144	138 158	0,0336	35 008
168	132 918	0,0360	49 787
192	102 832	0,0384	44 045
216	91 843	0,0408	46 812
240	91 270	0,0432	39 425
264	71 185	0,0456	37 319
288	67 938	0,0480	35 166.

Diese Tabelle spricht in gleichem Sinne, wie die vorige. Auch hier sind die Kerne in den feineren Fasern dichter gehäuft, als in den dickeren. Der grösste Werth von N ist nahezu fünf Mal so gross, wie der kleinste. Die in den feinsten Fasern gefundenen Zahlen der Kerne sind sehr gross: ungefähr so gross, wie die der Fasern gleichen Calibers der Muskeln des Fötus und der äusseren Augenmuskeln des Erwachsenen.

Dickfaseriger Muskel des Erwachsenen (*M. sartorius*).

Bei diesem Muskel, welcher nach Theile einen sehr grossen Wachsthumscoefficienten besitzt (5. Gruppe der Theil'schen Tabelle), haben Schwalbe und Mayeda (a. a. O.) die bedeutendsten Unterschiede in dem Faserncaliber gefunden.

Wir haben an diesem Muskel unsere weitgehendsten Untersuchungen ausgeführt, da wir für denselben 25 verschiedene Caliberkategorien aufstellen konnten, so dass das Verhältniss zwischen Kernreichthum der Muskelsubstanz und Dicke der Fasern an einem und demselben Muskel innerhalb weiter Grenzen verfolgt werden konnte:

Tabelle IV.

Durchmesser mm	N	Durchmesser mm	N
0,0192	126 360	0,0504	33 126
0,0216	120 403	0,0528	29 839
0,0240	108 728	0,0552	27 217
0,0264	101 987	0,0576	23 927
0,0288	71 573	0,0600	20 773
0,0312	62 702	0,0624	19 337
0,0336	59 722	0,0648	16 927
0,0360	54 800	0,0672	16 552
0,0384	54 219	0,0696	14 243
0,0408	47 268	0,0720	13 116
0,0432	46 205	0,0744	11 370
0,0436	40 574	0,0768	10 523
0,0480	34 820		

In dieser Tabelle kann man die Abnahme des Gehaltes an Kernen bei steigendem Durchmesser der Fasern Schritt für Schritt verfolgen.

Den dünnsten Fasern entsprechen Werthe für N, welche denen nahe stehen, die wir für die dünnen Fasern des Erwachsenen und für die des Fötus aufzuweisen hatten. Bei den dicksten Fasern des Sartorius ist der Gehalt an Kernen der Muskelsubstanz zwölf Mal kleiner, als der der dünnsten Fasern desselben

Muskels, und drei Mal kleiner, als der der dicksten Fasern der anderen Muskeln.

In den dicksten untersuchten Fasern haben wir also die Kerne im höchsten Grade zerstreut gefunden.

1. In den gleichmässig feinfaserigen jungen Muskeln ist die Dichte der Kerne in der quergestreiften Substanz eine ziemlich gleichmässige und eine sehr bedeutende. Den kleinen Schwankungen der Faserncaliber folgen in umgekehrtem Sinne geringe Schwankungen des Kernreichthums.

2. In den feinfaserigen Muskeln des Erwachsenen ist der Kernreichthum der Muskelsubstanz ebenfalls ein grosser und schwankt wenig; je geringer die Dicke der Faser, desto dichter erscheinen die Muskelkerne.

3. Bei Muskeln mit ungleichmässigen und mitunter sehr dicken Fasern schwankt die Zahl der Kerne in der Volumenseinheit der Muskelsubstanz in höchstem Grade, während sie bei den dünnsten Fasern ungefähr gleich ist derjenigen, die man bei den feinfaserigen Muskeln des Erwachsenen und bei den des Fötus findet, und bei den dicksten Elementen gering ist.

Aus alledem geht hervor, dass die Entwicklung der quergestreiften Substanz nicht von einer entsprechenden Vermehrung der Muskelkerne gefolgt ist, und dass die feinen Fasern der Muskeln mit hohem Wachsthumscoefficienten den juvenilen Charakter des Kernreichthums auch in den späteren Lebensperioden erhalten.

Mit letzterem Umstande dürfte die Thatsache in Zusammenhang stehen, dass die dünnsten Fasern der Extremitätenmuskeln bei dem Prozesse der Activitäts-Hypertrophie am meisten wachsen. Ihrem relativen Kernreichthume dürfte eine grössere Reserve von Wachsthumsenergie entsprechen¹⁾.

¹⁾ Vergl. Morpurgo, Ueber Activitäts-Hypertrophie der willkürlichen Muskeln. Dieses Archiv. Bd. 150. Hft. 3.