

Aus dem pathologischen Institut zu Genf.

Ueber Nucleinspiralen im Kern der glatten Muskelzellen.

Von

Dr. **Karl Münch**, I. Assistent.

Hierzu Tafel IV.

Mit Untersuchungen über die Muskulatur des Schlingapparates beschäftigt, hatte ich Gelegenheit, an den Kernen der glatten Muskelzellen Strukturverhältnisse zu beobachten, die meines Wissens bisher noch unbekannt sind. Zum Ziel meiner Untersuchung hatte ich mir ursprünglich gesetzt, die Grenzbeziehungen zwischen glatter und quergestreifter Muskulatur genauer, als bisher geschehen, zu erforschen. Ich erkannte nun bald, dass eine scharfe Grenze zwischen „glatt“ und „quergestreift“ hier nicht gezogen werden kann, weil zwischen beiden gewisse Uebergangsformen eingeschaltet sind in Gestalt quergestreifter, einkerniger, spindeligter Faserzellen. Nun ist die Querstreifung dieser Uebergangsformen sehr verschieden deutlich ausgeprägt; und eben die gradweise Abstufung der Deutlichkeit brachte es mit sich, dass schliesslich meine optische Aufmerksamkeit sich ganz auf die Erscheinung der Querstreifung konzentrierte.

So stiess ich denn bei meinen häufigen Untersuchungen frischer Zupfpräparate bald auf die überraschende Tatsache, dass die Kerne der glatten Muskelzellen ein mehr oder weniger ausgesprochenes quer- oder schräggestreiftes Aussehen darbieten, gleich als wären diese Kerne in abwechselnde helle, isotrope und dunkle, anisotrope Segmente abgeteilt. Diese Wahrnehmung machte ich zuerst an den Kernen der glatten Muskelzellen des Schlundes der Katze, traf aber dann denselben Befund auch in den Kernen der Magen-, Darm- und Harnblasenmuskulatur nicht nur desselben Tieres, sondern auch anderer Säuger, des Kaninchens, Meerschweinchens und der Ratte an. Fig. 1 z. B. zeigt in

1000 facher Vergrößerung vier Kerne aus der Muscularis des Rattendarmes, die nach Abschaben der Schleimhaut mit 2% Essigsäure behandelt und als durchsichtig dünne Membran ausgebreitet wurde. Protoplasma und Intercellularsubstanz sind nicht sichtbar. Die Abbildung ist nur bei einer unveränderten Einstellung aufgenommen.

Durch weitere Verfolgung dieser auffallenden Erscheinung konnte ich noch folgendes feststellen:

1. Die Querstreifung erscheint nicht bei jeder Einstellung gleich deutlich. Vielmehr ändert sich die Deutlichkeit zweimal, wenn man durch Drehen der Mikrometerschraube den Kern in seiner ganzen Tiefe Revue passieren lässt. Bei hoher Einstellung ist sie deutlich, scheint dann bei mittlerer zu verschwinden, tritt aber bei tiefer wieder deutlicher hervor.

2. Sieht man genau zu, so findet sich, dass die Parallelstreifung, die bei tiefer Einstellung hervortritt, in ihrer Richtung nie übereinstimmt mit der bei hoher Einstellung gesehenen, sondern dass sie immer eine von jener divergierende Schrägrichtung hat. Und zwar findet sich, soviel ich habe sehen können, in der Mehrzahl der Fälle, dass die oberflächlichen, das ist dem Auge zugekehrten Streifen von links unten nach rechts oben verlaufen, also Schreibrichtung haben — der Kern ist hierbei horizontal und transversal liegend gedacht — die an der dem Auge abgewandten Kernseite sichtbaren Streifen aber von links oben nach rechts unten. Vielfach ist die Richtung auf einer Seite annähernd quer, aber dann auf der andern Seite im entsprechend divergenten Sinne schräg, d. h. der Schreibrichtung diesseits entsprechend, wenn jenseits Querrichtung besteht, der Schreibrichtung jenseits entgegengesetzt, wenn diesseits Querrichtung besteht. Fig. 2 zeigt in 800facher Vergrößerung zwei Kerne aus der Magenmuskulatur der Ratte; 2a entspricht der oberflächlichen Einstellung und zeigt annähernd quere Richtungslinien; 2b zeigt die der Schreibrichtung entgegengesetzten Richtungslinien der tiefen Einstellung.

Das umgekehrte Verhältnis, wo also auf dem jenseitigen Umfang des Kerns Schreibrichtung besteht bei diesseitiger Querrichtung, scheint seltener zu sein, doch habe ich auch dieses Verhalten mit Sicherheit gesehen.

3. Als geeignete Flüssigkeit für die frische Untersuchung ist 2% Essigsäure, noch mehr aber 3—5% Citronensäure zu empfehlen, in der kleine Gewebstückchen glasig aufquellen und leicht zu zerpuffen sind, während die Querstreifung der Kerne gut sichtbar bleibt. Doch habe ich auch an Muskelzellen, die mit der konzentrierten (35%) Kalilauge isoliert waren, eine recht deutliche Querstreifung der Kerne gesehen. Die Kalilauge hat den Vorzug, dass sie die Zellen völlig von einander trennt, so dass man weniger mit den optischen Schwierigkeiten der Ueber-einanderschichtung zu tun hat als bei andern Untersuchungsflüssigkeiten. Dies fällt darum sehr in's Gewicht, weil die natürliche Trübheit des Kernes die frische Untersuchung ohnehin schon so erschwert, dass man mitunter im Zweifel ist, ob man die geschilderte Querstreifung wirklich sieht oder ob man sie nur zu sehen glaubt.

Aus der oben geschilderten Divergenz der Richtungslinien zwischen Dies- und Jenseits geht hervor, dass die Streifung nicht ringförmig sein kann, sondern spiraliger Natur sein muss, und zwar scheint die Linkswindung häufiger zu sein als die Rechtswindung. So zwingend auch dieser theoretische Schluss scheint, ist es doch im frischen Präparat fast nie möglich, eine Spiralfigur plastisch zu sehen, offenbar nicht bloss wegen der Zartheit der Streifung, sondern auch wegen der Enge der Windungen.

Versuche, die Kerne zu fixieren und an gefärbten und aufgehellten Dauerpräparaten zu studieren, um in die stereometrische Natur der Streifung einen klaren und mehr unmittelbar sinnlichen Einblick zu gewinnen, scheiterten zunächst an folgender Tatsache:

4. Die Querstreifung der Kerne der glatten Muskelzellen ist eine äusserst labile Erscheinung, noch labiler als Kernteilungsfiguren, und ist bei Warmblütern eine Viertelstunde nach dem Tode schon vielfach nicht mehr deutlich sichtbar. Sie ist anderseits um so ausgesprochener und um so allgemeiner anzutreffen, je lebensfrischer das Untersuchungsobjekt ist.

5. Nach Versuchen mit den verschiedenen üblichen Fixierungsmitteln habe ich nur die konzentrierte (7,5%) Sublimatlösung mit Zusatz von 2—3% Eisessig brauchbar gefunden, und auch diese nur bei Einlegung kleinster lebenswarmer Stückchen, die man vorher erst ca. 5 Minuten lang in 3—5% Citronensäure

aufquellen läßt, worauf sie eine Stunde lang in der Sublimatlösung verweilen. Weiterbehandlung mit Auswässern, Jodalkohol etc. wie üblich.

6) Die anisotropen Streifen sind mit Chromatinfärbemitteln (Haematoxylin, Karmin, Saffranin, Cochenille, Methylgrün, Thionin) färbbar.

7. An gut fixierten, gefärbten und aufgehellten Längsschnittpräparaten lassen sich bei ca. 1000facher Vergrößerung Bilder erkennen, die über das Wesen der Querstreifung des Muskelkernes ohne Weiteres Klarheit schaffen. Der Augenschein zeigt unmittelbar, schon bei einer unveränderten Einstellung, dass es sich in der Tat um enggewundene Spiralen handelt.

Fig. 3 zeigt in 1000facher Vergrößerung vier Kerne aus einem Paraffin-Schnittpräparat der Muscularis des Rattendarmes, mit Haematoxylin gefärbt und mit gesättigter Pikrinsäurelösung differenziert.

8) Die Zahl der Windungen der Kernspiralen ist so verschieden, dass m. E. Zählungen von geringem Werte sind. Als geringste Windungszahl habe ich $3\frac{1}{2}$ gefunden, an besonders grossen Spiralen konnte ich mit hinreichender Sicherheit bis zu 15 Windungen zählen, doch soll damit nicht gesagt sein, dass ich diese Zahlen für absolute Grenzwerte halte. Die zwei Kerne von Fig. 4 fanden sich in demselben Schnittpräparat wie die Kerne, die der Fig. 3 zu Grunde liegen.

Wenn die gefärbten Spiralfiguren der beiden Kerne Fig. 4 nicht in ein vom Zellprotoplasma deutlich gesondertes Kernplasma eingebettet lägen, könnte man annehmen, die Spiralfiguren seien nichts anderes als langgestreckte, ganze Kerne, die sich in spiralige Windungen gelegt hätten. Inwiefern diese Auffassung berechtigt sein kann, soll später ausgeführt werden. Vielleicht hat schon J. Arnold solche Kerne im frischen Zustand gesehen und ihnen die eben genannte Deutung gegeben; er sagt nämlich in Strickers Handbuch der Lehre von den Geweben 1871. S. 139: „Der Kern der Faserzellen ist meist einfach, sehr selten mehrfach, immer ausgesprochen stabförmig, an den Enden abgerundet oder an dem einen oder beiden Polen spitz zulaufend, zuweilen ein oder mehrmal spiralig gedreht.“¹⁾

¹⁾ Von mir gesperrt gedruckt.

Zwischen Bildern wie Fig. 4 und solchen wie Fig. 3 finden sich alle Uebergangsstufen. Merkwürdig ist, dass den beiden Kernen der Fig. 4 die Anhäufung von granuliertem Kernplasma an einem Pol mangelt, die sowohl an den frischen Kernen der Fig. 1 als auch den fixierten Kernen der Fig. 3 in voller Uebereinstimmung sichtbar ist.

Ob unregelmässige Windungen, wie Fig. 5 sie wiedergibt, als normale Bildungen, oder als vorübergehende Bewegungszustände, oder aber als Kunstprodukte anzusehen sind, muss ich dahingestellt sein lassen.

An dem gelungensten Dauerpräparat, das ich habe erzielen können, ist der Umstand am meisten bemerkenswert, dass in ganzen Partien des Schnittes ausschliesslich spiralingebaute Kerne vorkommen, sodass also Dutzende von benachbarten Kernen die färbare Spiralfigur aufweisen. Diese einzige Tatsache genügt, um gewichtige Zweifel an dem Wert und an der Vertrauenswürdigkeit aller Präparationsmethoden entstehen zu lassen, die andere Strukturbilder des Muskelkernes ergeben. Denn offenbar verdient die Methode am meisten Vertrauen und den Vorzug vor allen andern, deren Resultate sich durch Wiederholung gewisser, Regel und Gesetz verratender Befunde selbst bestätigen und bekräftigen, zumal wenn diese Befunde auch in den Ergebnissen der frischen Untersuchung eine Stütze haben.

Alle andern Fixiermethoden, auch die mit Osmiumsäure, machen sich beim Muskelkern selbst unglaublich dadurch, dass sie Bilder ergeben, in denen nichts konstantes erkennbar ist als die äussere Form, die langgestreckte „Stäbchenform,“ die denn auch in den Lehrbüchern als das hauptsächlichste Charakteristikum des Muskelkernes bezeichnet wird. Dagegen lässt die innere Kernstruktur keine Spur von Gesetzmässigkeit erkennen: Bald erscheint der Inhalt des Kerns als Konglomerat regellos verteilter färbbarer Granula, — und so findet er sich in den meisten Abbildungen der Bücher dargestellt, — bald als Konvolut von Nucleinfäden, in dem allerdings die quere Richtung der einzelnen Fäden meist vorherrscht, bald auch als Gemisch von Fäden und Granula, welche letztere die Fäden mehr oder weniger verdecken oder undeutlich machen. Immer aber scheint der Kern umgeben von einer Membran, von der die Nucleinfäden auszugehen und der sie dichter anzulagern scheinen, sodass der

Kern sehr scharf vom Protoplasma abgegrenzt erscheint und einen bläschenartigen Charakter erhalte, wenn er nicht so dünn und langgestreckt wäre.

Gerade in diesem letzten, wesentlichen Punkt ergibt nun diejenige Fixiermethode, die nach obiger Auseinandersetzung als die einzig vertrauenswürdige gelten muss, merkwürdigerweise ganz abweichende Befunde: Die Kerne, in denen die Spiralfigur sichtbar ist, weisen keine Membran auf, obwohl sie vom Protoplasma scharf und deutlich abgesondert sind. Die Begrenzung wird hier nicht vom Kern, sondern vom Protoplasma gebildet. Dieses schliesst nämlich einen für den Kern ausgesparten Hohlraum ein, der von dem Kernsaft (Kerngrundsubstanz, Karyoplasma) ausgefüllt ist. Optisch hebt sich der Kernsaft vom Protoplasma durch grössere Helligkeit ab, auch am fixierten und gefärbten Präparat (s. Fig. 3).

Wenn nun die innere Struktur dieser Kerne durch die Spiralfigur ein durchaus eigenartiges Gepräge erhält, so muss andererseits betont werden, dass die Abwesenheit einer eigentlichen Kernmembran nach den Ergebnissen der Untersuchungen von Guignard¹⁾ und Ed. Strassburger²⁾ nicht mehr als eine besondere Eigentümlichkeit des Muskelkerns betrachtet werden kann. Beide Forscher kommen auf Grund von Beobachtungen der Kernteilung zu dem Schluss, dass die angenommene Kernmembran nichts ist als eine dem Protoplasma angehörige Grenzschicht gegen die Kernsubstanz hin.

Wichtiger als die Frage nach der Kernmembran scheint hier die Frage nach der morphologischen Bedeutung der Spiralfigur zu sein, die den Muskelkern vor andern auszeichnet. Denn nach der blossen Feststellung ihres thatsächlichen Vorhandenseins bleiben noch eine Reihe von Fragen zu lösen übrig nämlich:

1. Ist die Spiralfigur in allen Muskelkernen vorhanden?
2. Ist die Spiralfigur das einzige Formgebilde des Kerns, in dem sie sich befindet?
3. Aus welchem Stoff besteht die Spiralfigur?
4. Wie entsteht die Spiralfigur entwicklungsgeschichtlich?

¹⁾ Guignard. Recherches sur la structure et la division du noyau cellulaire. Annales des sciences nat. T. XVII. 6 ser. 1884.

²⁾ Ed. Strassburger. Über Kern- und Zellteilung im Pflanzenreiche nebst einem Anhang über Befruchtung. Jena 1888.

Ad 1) Die Frage, ob die Spiralfigur ein allgemeiner, integrierender Bestandteil des Muskelkerns ist, kann verschieden weit gefasst werden, je nachdem man nur die Kerne der glatten Muskelzellen oder auch die der gestreiften Muskelfasern in's Auge fasst. Was die gestreiften Muskelfasern betrifft, so habe ich bei Säugern, Vögeln und Fischen und auch bei Arthropoden niemals an den Kernen im frischen Zustand etwas wie Querstreifung sehen können, geschweige denn, dass es mir gelungen wäre, an Dauerpräparaten Spiralfiguren sichtbar zu machen. Vielmehr hatte ich den Eindruck, als sei hier der Kern meist auf ein kleines, nahezu kompaktes Klümpchen von Nuclein reduziert. Dagegen habe ich beim Amphibium, nämlich an den abgemagerten Fasern eines überwinterten Frosches, die Spiralfigur in allen Kernen gesehen, und zwar in so ausserordentlich schöner Entwicklung, dass es gar keiner Zusätze bedurfte, um sie schon bei 400facher Vergrößerung deutlich zu machen. Doch kann ich für diese Wahrnehmung, obwohl ich sie selbständig machte, nicht das Prioritätsrecht in Anspruch nehmen. Van Gehuchten¹⁾ hat sie eingehend studiert und ausführlich beschrieben. Seine Abbildungen bieten zum Teil eine überraschende Ähnlichkeit mit den meinigen dar, die ich vor Kenntnisnahme seiner Arbeit gezeichnet habe. Diese Übereinstimmung ist mir eine erfreuliche Bestätigung meiner Beobachtungen. Zur Sichtbarmachung der Spiralfiguren empfiehlt v. G. besonders Methylgrün, womit die erst mit Citronensaft durchtränkten, dann ausgewaschenen Fasern zu färben sind. Ich kann v. G.'s Angaben aus eigener Anschauung bestätigen, muss aber bemerken, dass mir die Kernspiralen der Froschmuskelfaser am allerdeutlichsten erschienen, wenn sie gar keiner Vorbehandlung noch Färbung unterworfen wurden. Da ich keine nachträgliche Publikation van Gehuchten habe finden können, die auf denselben Gegenstand Bezug hätte, so nehme ich an, dass er auf der irrigen Ansicht stehen geblieben ist, es läge in den Kernspiralen ein auf die gestreifte Muskelfaser des Frosches beschränktes, für sie spezifisches Merkmal vor. In seinen glatten Muskellzellen hat aber der Frosch ganz dieselben Kernspiralen, die allerdings bei der geringen Menge glatter Muskulatur und bei der schwer zu vermeidenden

¹⁾ Van Gehuchten: Les noyaux des cellules musculaires striées de la grenouille adulte. Anatom. Anzeiger 1889. IV. Jahrg. S. 52.

Verunreinigung der Zupfpräparate mit massenhaften Epithelzellen nicht so bequem und leicht zu finden sind wie in der gestreiften Muskelfaser.

Was nun die glatten Muskelzellen im Allgemeinen betrifft, so kann ich leider nicht sagen, ob die Spiralfigur ein Wesensbestandteil dieser Gewebsart ist, wenn man den Begriff der Gewebsart so weit fasst, dass er die ganze Tierreihe begreift, in der die Gewebsart vorkommt. Bei Würmern und Schnecken nämlich, die bekanntlich nur „glatte“ Muskelfasern haben, ist es mir nicht möglich gewesen, an ihren äusserst schmalen Muskelkernen etwas wie eine Struktur zu erkennen, zumal da das ungemein trübe, oft auch pigmentbeladene Protoplasma die Untersuchung erschwert. Doch muss ich gestehen, dass ich meine Untersuchungen nach dieser Richtung vielleicht nicht mit der nötigen Geduld und Ausdauer verfolgt habe, und hat vielleicht ein Anderer hier doch glücklichere Erfolge.

Wenn man nun auch den Begriff der Gewebsart enger fasst, d. h. auf die Spezies beschränkt, so bleibt doch die Frage nach der Allgemeinheit, bzw. Frequenz der Spiralfigur immer noch sehr schwer zu beantworten, und zwar wegen der schon dargelegten, offenbaren Unzuverlässigkeit der Nachweis-Methoden. Infolge dieser Unsicherheit ist es schwer zu sagen, ob die Spiralfigur bei den Tierarten, in deren Muskelkernen sie vorkommt, sich in allen Muskelkernen findet. Denn wenn sich in demselben Präparat, das die Spiralfigur partienweise an allen Kernen erkennen lässt, andere Partien finden, wo die Kerne grossenteils eine mehr oder weniger abweichende Struktur zeigen, so bleibt immer noch die Möglichkeit zu erwägen, dass in diesen letzteren Partien die konservierende Flüssigkeit weniger gut eingewirkt haben kann, sodass die vielleicht doch vorhanden gewesen Spiralfiguren bei ihrer grossen Labilität zerfallen konnten, ehe sie fixiert wurden. Schon van Gehuchten (l. c.) betont die ausserordentliche Hinfälligkeit der Kernspiralen der Froschmuskelfaser, die alle seine Versuche vereitelte, die beschriebenen Figuren nach den sonst allgemein gebräuchlichen Fixier- und Färbemethoden sichtbar zu machen.

Immerhin glaube ich, wenn auch nur aus logischen Gründen, den Satz aufstellen zu dürfen, dass die Spiralfigur bei den Tierarten, in deren Muskelkernen sie vorkommt,

einen Wesensbestandteil aller normalen, funktionierenden, ruhenden Kerne darstellt, wobei „ruhend“ im üblichen Sinne verstanden ist, d. h. nicht in Teilung begriffen. Es ist zum mindesten sehr wahrscheinlich, dass in einem fertig entwickelten Gewebe diejenigen Formelemente funktionell tauglich und tätig sein müssen, welche die Hauptmasse des betreffenden Gewebes ausmachen; wäre es z. B. im Muskelgewebe umgekehrt, so hätte die arbeitende Minorität bei der Kontraktion einen Ballast von untätigen Gewebsmassen zu überwinden, der grösser wäre als sie selbst. Gesetzt also, die wenigen, nicht spiralig durchwundenen Kerne eines gelungenen Präparats seien in Lebenstreue, in ihrer natürlichen Struktur erhalten, so können sie doch, weil in Minderheit, nicht als die funktionierenden Kerne angesehen werden. Bei dieser Folgerung ist freilich stillschweigend vorausgesetzt, dass der Kern in der Physiologie der Gesamtzelle eine wesentliche Rolle mitspielt, dass Zellfunktion und Kernfunktion Hand in Hand gehen, und dass der Kern auf die Funktion des Protoplasmas einen wichtigen Einfluss ausübt.

Jene Kerne aber, die mit ihrer abweichenden Struktur die Minderheit bilden, müssen demnach eine andere Bedeutung haben, und zwar kommen für ihre Beurteilung verschiedene Möglichkeiten in Frage. Es kann sich handeln:

- a. Um Abnormitäten.
- b. Um Degenerationserscheinungen.
- c. Um den „Schlummerzustand,“ d. h. die Kerne hätten die Bedeutung von zur Regeneration bestimmten Reservekernen.
- d. Um Vor- oder Nachstadien des Kernteilungsvorganges.

Von diesen 4 Möglichkeiten glaube ich die erste als die unwahrscheinlichste ausschliessen zu können. Bezüglich der drei andern Möglichkeiten besteht indessen kein Grund, warum man sie nicht als nebeneinander bestehend annehmen sollte.

Fig. 6 z. B., ein Kern aus der Muscularis des Rattendarmes frisch untersucht, macht den Eindruck als sei seine Spiralfigur in degenerativem Zerfall begriffen, und wenn man von der nur noch schwach angedeuteten Querstreifung absieht, so erinnern die im Innern sichtbaren krümeligen Massen zusammen mit der scheinbaren Kernmembran an die Bilder, die man an solchen

Dauerpräparaten gewöhnlich sieht, die mit ungeeigneten Reagentien fixiert wurden.

Fig. 7 zeigt einen Kern aus der Blasenmuskulatur des Kaninchens, frisch durch Zupfen isoliert und mit Thionin gefärbt. Die hier verbindungslos quer und schräg verlaufenden dicken Nucleinstränge scheinen durch Zerfall einer gewesenen Spiralfigur entstanden zu sein, wie die an den Polteilen noch sichtbaren Reste einer solchen vermuten lassen. Allerdings könnte auch eine mechanische Zerreißung an der Trennung des Zusammenhangs schuld sein, wobei sich die Teilstücke zurückgezogen hätten.

Als schlummernde, zur Regeneration bestimmte Reservekerne können wohl Formen angesehen werden, wie Fig. 8 sie wiedergibt. Diese Kerne, derengleichen nicht eben selten in sonst gelungenen Präparaten vorkommen, zeichnen sich schon durch ihre kurze, rundliche Form vor den gewöhnlichen, stäbchenförmigen Kernen aus und bekunden dadurch, wie auch durch die innere Struktur, einen Zustand verhältnismässiger Indifferenz, d. h. sie nähern sich dem allgemeinen Kerntypus mit seinem anastomosierenden, korbblechtartigen Gerüstwerk. Vor einer Verwechslung mit Bindegewebskernen habe ich mich durch Färbung ihres Protoplasmas mit Pikrinsäure gesichert, die für das kontraktile Protoplasma geradezu spezifisch ist.

Was endlich diejenigen von der Regel abweichenden Kernbilder betrifft, die ich als besondere Entwicklungsstadien deuten möchte, so sollen dieselben später, im Zusammenhang mit der Frage nach der Entwicklung der Spiralfigur, besprochen werden.

Ad 2). Die Frage, ob die Spiralfigur das einzige Formgebilde des Kernes ist, in dem sie sich befindet, ist ebenfalls schwierig zu beantworten, nicht nur wegen der Unsicherheit der Präparationsmethoden, sondern auch wegen der Kleinheit der Dimensionen, um die es sich beim Muskelkern handelt; bedenkt man, dass die meisten Muskelkerne nur ca. 3—4 μ dick sind, und dass die Entfernung zwischen den einzelnen Windungen der enggewundenen Spiralen meist fast unmessbar klein ist, so wird klar, welche optischen Schwierigkeiten dem Versuch entgegenstehen, zu entscheiden, ob im Innern des Kernes etwa noch ein Gerüstwerk, oder ein Nucleolus vorhanden sind oder nicht. Diese Schwierigkeiten werden am gefärbten Präparat nicht geringer, sondern grösser als am frischen. Nachdem einmal als allgemeine Regel

gilt, dass ein Gerüstwerk und ein Nucleolus zur Struktur eines Kernes gehören, liegt es natürlich nahe, diese Elemente auch im Muskelkern vorauszusetzen und danach zu suchen. Ich habe danach gesucht und sie nur ausnahmsweise gefunden, d. h. nur in solchen Kernen, die oben als schlummernde, zur Regeneration bestimmte Reservekerne gedeutet worden sind. In keinem einzigen Kern jedoch, der die Spiralfigur zeigte, habe ich etwas gesehen, was zur Annahme eines Gerüsts, sowie eines Nucleolus berechtigen könnte. Demnach ist der normale, ruhende Muskelkern seinem Wesen nach nichts als eine in unfärbbare (achromatische) Substanz eingelassene färbbare (chromatische) Spiralfigur. Diese Reduktion kann übrigens nichts sonderlich überraschendes an sich haben, nachdem in der Histologie schon andere Ausnahmen von der allgemeinen Regel der Kernstruktur festgestellt sind; ich meine die Kerne der Samenelemente, die ja auf ein kompaktes Nucleinklumpchen reduziert sind, dem das Paranuclein anlagert.

Ad 3). Aus welchem Stoff die Spiralfigur besteht, diese Frage scheint mir ebenfalls nicht leicht zu beantworten, und braucht auch in dieser morphologischen Arbeit vorerst nicht erschöpfend behandelt zu werden. Die einzigen Anhaltspunkte in dieser Beziehung gewährte das Verhalten gegenüber Farbstoffen, weil man dasselbe an gut aufgehellten Balsampräparaten mit Musse und hinreichender optischer Sicherheit studieren kann. Fast alles, was bis jetzt über den Chemismus der einzelnen morphologischen Bestandteile des Zellkerns ermittelt ist, verdanken wir Untersuchungen am pflanzlichen Zellkern, weil dieser durch seine grösseren Dimensionen günstigere optische Bedingungen zur Beobachtung der Reaktionen bietet, als der tierische Zellkern. Der Muskelkern mit seinen winzigen Dimensionen ist nun ganz besonders ungünstig für solche Untersuchungen.

Mit der Tatsache nun, dass die Spiralfigur sich mit Chromatinfärbemitteln färbt, ist noch nicht erschöpfend dargetan, dass sie aus demselben Substanzengemenge besteht, aus dem die Nucleinstränge des Kerngerüsts gebildet sind. Indessen lassen die dicken Spiralfiguren der Fig. 4 und 5, die mit Hämatoxylin gefärbt und mit Pikrinsäure differenziert sind, in ihrem färberischen Verhalten eine entschiedene Analogie mit gewöhnlichen Gerüstbalken erkennen: Sie erscheinen nicht gleichmässig gefärbt, sondern ge-

fleckt, wie aus zwei Substanzen von verschiedener Färbbarkeit zusammengesetzt, von denen die dunkle offenbar dem Chromatin, die helle dem Linin entspricht.

Wenn die Ansicht Derjenigen richtig ist, die mit Frank Schwarz¹⁾ den Nucleolus aus einem eigenen, einheitlichen Stoff, dem „Pyrenin“ bestehen lassen — eine Ansicht, die E. Strassburger (l. c.) nicht teilt —, so würde folgen, dass der normale, ruhende Muskelkern, da er keinen Nucleolus enthält, auch kein „Pyrenin“ enthielte. Es wäre aber doch wohl möglich, dass die im Nucleolus eingeschlossenen Substanzen auch in der Spiralfigur enthalten wären.

Ad 4). Wie die Spiralfigur entwicklungsgeschichtlich entsteht, darüber kann ich leider ebenfalls weder sichere noch erschöpfende Angaben machen. Der Gedanke, die verschiedenen Phasen der Karyokinese aufzusuchen bis zu ihrem völligen Ablauf, liegt nahe. Es ist mir indes trotz aller Bemühung nicht gelungen, in der glatten Muskulatur junger Tiere auch nur ein einziges unzweifelhaftes Bild einer echten Karyokinese zu finden, und ich würde auf Grund dieses meines Misserfolgs fast glauben, dass in dieser Gewebsart keine Karyokinese vorkomme, wenn nicht Pfitzner und H. Stilling²⁾ sie beschrieben hätten, zwei Autoren, deren Vertrauenswürdigkeit ausser Zweifel steht. Merkwürdig ist, dass auch van Gehuchten (l. c.) in der quergestreiften Froschmuskelfaser, wo die Nucleinspiralen so prächtig ausgebildet sind, vergeblich nach Karyokinesen gefahndet hat: „Malgré tous nos soins, nous n'avons jamais rencontré dans ces cellules musculaires des stades évidents d'une division cinétique.“ Dagegen glaubt er, dass die Kernspiralen sich durch Wachstum in die Länge mit nachfolgender Abschnürung vermehren, eine Ansicht, die er auf die Beobachtung von reihenweise angeordneten Spiralen gründet, die oft ununterbrochene oder nur wenig unterbrochene Ketten bildeten. „Ces colonnes de noyaux semblent provenir d'une caryosténose, ou division directe active, plutôt que d'une caryocinese ou division indirecte.“

Auch ich habe, in der glatten Muskulatur junger Säuger (Ratten), ähnliche Kettenbilder gesehen, zwar nicht von so auf-

¹⁾ F. Schwarz: Die morphologische und chemische Zusammensetzung d. Protoplasma. Breslau 1887.

²⁾ Archiv f. mikrosk. Anat. Bd. 28, S. 396.

fallender Länge wie die van Gehuchens, aber mit derselben charakteristischen Unterbrechung; ich beschränke mich auf die Wiedergabe der gesehenen Bilder. (Fig. 9 und 10.) Eine besondere Beachtung scheint mir aber Fig. 11 zu verdienen, die ganz den Eindruck macht, als sei die Spiralfigur im Begriffe, sich in zwei zu teilen. Die Präparate, die den Figuren 9—11 wie auch allen folgenden zu Grunde liegen, waren frisch mit Citronensäure behandelt, ausgewaschen, mit Thionin gefärbt und in Glycerin bei 800facher Vergrößerung untersucht.

Angenommen nun, die direkte Teilung durch Längenwachstum und Abschnürung sei in der glatten Muskelzelle der gewöhnliche Modus der Kernvermehrung, ja selbst gesetzt, alle Spiralen könnten auf eine einzige zurückgeführt werden, so bliebe doch der Ursprung dieser einzigen Ur-Spirale noch dunkel. Da auch die Vorfahren der Muskelzellen in einer frühen Periode des Embryonallebens morphologisch noch indifferent sind, und sich wie alle andern karyokinetisch teilen und vermehren, so muss doch irgendwo und -wann ein Uebergang von der indifferenten Kernstruktur zu der spezifischen des Muskelkernes stattfinden. So wenig Sicheres ich über diesen Uebergang angeben kann, will ich mir doch die Vermutung auszusprechen erlauben, die sich mir durch vergleichende Betrachtung der Bilder aufgedrängt hat, welche in den Figuren 12, 13, 14 und 15 wiedergegeben sind. Die Figuren sind der Blasenmuskulatur der neugeborenen Ratte entnommen. In Fig. 12 ist eine bauchig aufgetriebene Muskelzelle zu sehen, deren Verdickung hauptsächlich auf Rechnung des Kernes zu setzen ist. Dieser zeigt in einem runden hellen Hofe drei intensiv färbbare, walzen- oder wurstförmige Gebilde von fast homogenem Aussehen. Die ungleiche Grösse der drei Gebilde ist wohl nur scheinbar, indem die kleineren sich wahrscheinlich im optischen Querschnitt bzw. Schrägschnitt präsentieren. Das Ganze kann wohl nur als Endphase eines indirekten Teilungsvorganges verstanden werden. Ob der hier abgelaufene Vorgang eine typische Karyokinese gewesen ist, wage ich weder zu behaupten noch zu bezweifeln, da ich, wie gesagt, keine karyokinetischen Figuren in glatten Muskelzellen gesehen habe, während mir sonderbarerweise gerade das hier wiedergegebene Bild wiederholt vor Augen gekommen ist, aber leider immer im nämlichen Stadium. Es mag hieran viel-

leicht persönliches Missgeschick schuld sein. Wie dem auch sei, es besteht sicherlich eine auffallende Aehnlichkeit zwischen den drei Teilungsprodukten der Fig. 12 und dem in eine schwanzartige Verlängerung ausgezogenen Nucleinkörper der Fig. 13. In Fig. 14 ist dieser ausgezogene Faden spiralig aufgerollt, ebenso wie in Fig. 15, wo die Windungen kleiner sind. Das zur Vervollständigung des Kernbildes noch erforderliche Kernplasma schien im Präparat, dem Nucleinkörper in geringer Menge anliegend, schon vorhanden zu sein.

In demselben Präparat fand sich auch das eigentümliche Kernbild der Fig. 16, das den Eindruck eines sehr dicken, spiralig gedrehten, walzigen Nucleinkörpers macht, dessen wenige chromatische Substanz der reichlichen achromatischen in Bandform angelagert ist.
