

Ueber den Blutstrom in den ruhenden, verkürzten und ermüdeten Muskeln des lebenden Thieres.

Von
W. Sadler.

Mit 4 Tafel und 40 Holzschnitten.

Die Erfahrungen, welche man beim Auffangen des Blutes gewonnen hatte, das aus dem zusammengezogenen oder dem ruhenden Muskel des lebenden Thieres floss und die Erscheinungen die an dem künstlichen Strom beobachtet wurden, der durch den ausgeschnittenen aber noch reizbaren Muskel geführt worden, veranlassten Herrn Prof. *Ludwig*, mir eine Untersuchung des Blutstroms in dem Muskel des lebendigen Thieres anzurathen.

*Sczelkow*¹⁾, mein Vorgänger auf diesem Gebiete, hatte gefunden, dass der erregte Muskel, während er seine Form ändert, zugleich von einem rascheren Blutstrom durchsetzt wird. Insofern man in genauerer Weise den Grad dieser Aenderung feststellen will, wird man dafür zu sorgen haben, dass der Muskel nach Willkühr bald vollkommen erschläft und bald vollkommen tetanisch werde und zugleich dafür, dass der Hauptstrom, aus dem sich ein Arm für den Muskel abzweigt, sich während der Versuchsdauer im Wesentlichen gleich bleibe. Die Erfahrung belehrte mich, dass es zur Herbeiführung dieser Bedingungen öfter nothwendig, jedenfalls aber bequem sei, die Hunde, welche ich als Versuchsthiere benutzte, zu vergiften. Indem ich dieses that, verbehlte ich mir nicht, dass jedes der beiden von mir angewendeten Gifte, das Morphinum sowohl wie das Curare, den Blutstrom auf ihre besondere Weise beeinflussen. Nach der Vergiftung mit Morphinum wird in der Regel der Druck

1) Wiener Sitzungsberichte 45. Band.

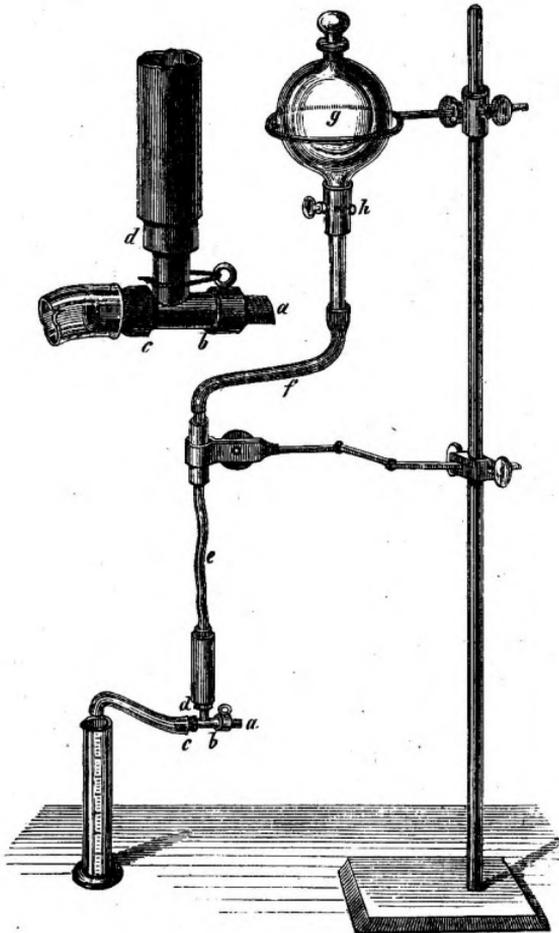
innerhalb der grossen Arterien niedriger als er vor derselben gewesen war und in der Regel röthen sich einzelne vorher blasse Körpertheile. Hieraus dürfen wir schliessen, dass das Morphinum den Tonus der Gefässwand herabsetzt. Gerade Umgekehrtes stellt sich nach der Vergiftung mit Curare ein, indem nach dieser der Blutdruck in den grossen Arterien meist wächst, viele Gefässbezirke an ihrer Peripherie erblassen und ein durch die letzteren geführter Schnitt von einer sehr geringen Blutung begleitet ist. Demnach wird der Blutstrom, welcher durch den Muskel eines Thieres geht, das auf die eine oder andere Weise vergiftet ist, nicht ohne Weiteres dem des unvergifteten gleich zu setzen sein. Von vorn herein wird sich auch gar nicht angeben lassen, nach welcher Richtung hin der Blutstrom des vergifteten Muskels von dem des unvergifteten abweicht. Wie hoch man aber auch den durch die Vergiftung bewirkten Schaden anschlagen mag, keinesfalls wird man denselben für so gross halten dürfen, dass er die Folgen zu verdecken vermöge, welche aus örtlichen Veränderungen der Gefässwand hervorgehen; mit anderen Worten, man wird nicht anstehen, die bedeutenden Unterschiede, die der Blutstrom des erschlafften Muskels im Gegensatz zu dem des verkürzten gewahren lässt, auf Rechnung der Muskelerregung, nicht aber auf die des Giftes zu schreiben, und somit die Erscheinungen des Blutstroms, welche während der Erregung des vergifteten Muskels sichtbar werden, auch auf den unvergifteten übertragen. Insofern die Richtigkeit dieser Unterstellung als selbstverständlich anzusehn, gewährt die Vergiftung mit Curare im Gegensatz zu der mit Morphinum noch ihre besonderen Vortheile, da das Curare nur die Nerven der quergestreiften Muskeln lähmt, während es die glatten der Gefässwände unberührt lässt. Somit kann es gelingen, die Wirkungen, welche die Reizung oder Lähmung der Gefässnerven veranlasst, von denen zu scheiden, welche von der Zusammenziehung der quergestreiften Muskeln herrühren.

Als Maass für die Strömung des Blutes durch den Muskel benutzte ich die Blutmenge, welche in der Zeiteinheit aus der Vene eines Muskels ausfloss. Das unmittelbare Ergebniss einer solchen Beobachtung scheint mir unter folgenden Bedingungen unverfänglich zu sein.

1. Die Blutmasse, welche dem Thiere auf diese Weise

durch die Beobachtung entzogen wird, darf nicht so gross werden, dass sie gegen die Gesamtmenge von Blut, welche das Thier enthält, insoweit in Betracht kommt, um den mittleren Blutdruck wesentlich herabzusetzen. Bei der von mir eingeschlagenen Messungsweise ist es deshalb geboten, einen relativ kleinen Muskelbezirk der Beobachtung zu unterwerfen. Dieses kann auch mit Erfolg geschehen, weil die Muskelvenen des Hundes von einer beträchtlichen Weite sind. Sollte nun aber, trotzdem dass man einen beschränkten Bezirk gewählt, das während des fortgesetzten Versuchs entleerte Blut auf ein grösseres Maass angestiegen sein, so würde man dem drohenden Nachtheil dadurch abhelfen können, dass man das entleerte Blut nach vorausgegangenem Schlagen und Filtriren dem Thiere wieder einspritzte. Diese Massregel habe ich in meinen Versuchen niemals angewendet, weil das abgezapfte Blutvolum sich immer in engen Grenzen hielt. — 2. Die höchste Sorgfalt ist auf die Lagerung des betreffenden Muskels zu wenden, vorzugsweise um einer Verdrückung der dünnwandigen Venen vorzubeugen. Aus diesem Grunde empfiehlt es sich die Vene eines Gliedmuskels für das Experiment zu verwenden, weil das Glied, dem derselbe angehört, mit Sicherheit in einer unverrückten Lage gehalten werden kann. Diese letztere ist selbstverständlich so zu wählen, dass das durch die benutzte Vene strömende Blut weder auf dem Verlauf, noch an der Mündung derselben einen Stauungswiderstand zu überwinden hat. Ich unterlasse es die Art der Befestigung, welche ich angewendet habe, genauer zu beschreiben; die Bemerkung mag genügen, dass ich zur Befestigung einen eisernen sehr stabilen Halter in Anwendung gebracht habe, zwischen dessen Armen die betreffende Gliedmaasse sanft aber sicher eingespannt wurde. — 3. Ganz besondere Schwierigkeiten werden in unsern Versuch dadurch eingeführt, dass das Venenblut der Muskeln so ungemein leicht gerinnt; jedes Gerinsel wirkt aber um so störender, weil das Blut mit einem äusserst schwachen Druck aus der Vene hervorströmt. Dieser Umstand hat mich genöthigt zu der Vorrichtung zu greifen, welche in dem umstehenden Holzschnitt versinnlicht ist. *a* stellt die kurze und sehr dünnwandige Metallcantile dar, welche in die Vene eingebunden wurde. In die Erweiterung ihres einen Endes war ein Schenkel des metallenen 1förmigen Rohres *bcd* eingeschliffen. Die zweite Mündung *c* des horizon-

talen Armes, die nach dem Einsetzen von *b* in die Venencantile noch frei blieb, wurde mit Hilfe von Glas und Kautschuk in das



Figur 4.

untergestellte Messgefäß verlängert. — Der aufsteigende Schenkel *d* des I-förmigen Rohres communizirte mittelst eines biegsamen Bleirohrs *e* und eines darauf folgenden Kautschukschlauches *f* mit dem kugelförmigen Gefäße *g*, das an seinem gläsernen Halse einen Hahn *h* trug. Zwischen dem Bleirohr *e* und dem Kautschukschlauch *f* war ein steifwandiges Messingrohr eingeschaltet, das von dem untern beweglichen Arm des Halters getragen wurde, das Kugelgefäß ruhte in dem obern Arm des Halters.

Die Beweglichkeit des Bleirohrs gestattete, das Ω förmige Stück genau an die Canüle zu passen, ohne dass die Lage der Vene verrückt wurde. Die Kugel war mit einer Lösung von kohlensaurem Natron gefüllt.

Durch Oeffnung des Hahns konnte man nach Belieben das kohlen saure Natron in die Röhre führen und sich leicht überzeugen, ob in den das Blut ausführenden Röhren ein Gerinsel befindlich ist, beziehungsweise man konnte ein dort vorhandenes ausspülen. Nach einer jeden Messung der Ausflussgeschwindigkeit habe ich einen Strom von kohlen saurem Natron durch die Röhre geschickt; fand sich hierbei, dass ein Gerinsel anwesend war, so legte ich jenseits der Canüle an die Vene eine Klemmpincette, zog das Ω förmige Rohr aus der Canüle und reinigte die Letztere auf das Sorgfältigste, ein Handgriff, der durch die Kürze und Weite der Lichtung mit voller Sicherheit ausgeführt werden konnte. Diese Vorrichtung hat mir die wesentlichsten Dienste geleistet, indem sie mir in der Regel erlaubte, die Vene mindestens eine Stunde lang wegsam zu erhalten. Den Versuch brach ich jedesmal dann definitiv ab, wenn sich das Gerinsel auch jenseits der Canüle in die Vene hineinerstreckt hatte, sodass keine Garantie mehr für die vollständige Entfernung desselben zu leisten war. — 4. Das Blut, dessen mittlere Geschwindigkeit man misst, muss durchaus nur aus dem Muskel kommen, dessen Nerven man gereizt oder durchschnitten hat, und es muss ausserdem das Muskelrevier, welches in Betracht gezogen wird, sein Blut nur durch die Vene zu entleeren gezwungen sein, in welcher sich die Canüle befindet. Diese durch sich selbst begründete Bedingung beschränkt die Orte an denen Beobachtungen mit Erfolg anzustellen sind auf eine geringe Zahl.

Zu den Versuchen, die in den nachfolgenden Blättern beschrieben werden, sind zur Verwendung gekommen die Vene, welche aus dem obern Ende des *m. biceps femoris* und eine von denen, die aus dem obern Ende der Hand- und Fingerbeuger hervortreten. Die Benutzung der Vene, welche aus dem obern Ende des *m. biceps* hervorgeht, erfordert keine weiteren Vorbereitungen, wenn man die Canüle dort einsetzt, wo jenes Gefäss den Muskel gerade verlässt. Das Blut, welches man alsdann erhält, kommt durchaus nur aus dem Muskel und es wird, insofern nicht merkliche Hindernisse seinem Abfluss ent-

gegengesetzt werden, auch alles Blut entleert, welches die obere Hälfte des Muskels durchströmt hat. — Grössere Vorbereitungen bedarf es, wenn man das Blut aus den genannten Vorderarmsbeugern rein und vollständig fangen will. Um dies zu erlangen, wird es nothwendig, verschiedene Venen und Arterien des Vorderarms zu unterbinden. Statt einer weitläufigern Beschreibung erlaube ich mir auf die Tafel zu verweisen, die dieser Abhandlung beigegeben ist. In der Zeichnung sind durch *u* die Stellen der *art. radialis*, eines Zweiges der *art. interossea* und diejenigen mehrer Muskel- und Hautvenen angedeutet, welche ich jedesmal vor Beginn eines Versuches zu unterbinden für nöthig fand.

Die Gefässe des Vorderarms habe ich nur darum in Gebrauch genommen, um mich davon zu überzeugen, dass nicht bloss die Oberschenkelmuskeln das eigenthümliche Verhalten zeigen. Nachdem dieses einmal auch hier beobachtet ist, würde ich nicht mehr zu ihnen zurückkehren, sondern mich an den *muscul. biceps femoris* halten. Sollte ich noch einmal in die Lage kommen, die Versuche fortzusetzen, so würde ich auch die unteren Venen des genannten Muskels in Gebrauch ziehen, da es wahrscheinlich ist, dass die Nerven ihrer entsprechenden Arterien nicht in dem Stamme laufen, der den Muskel selbst versorgt.

Die Variationen des Versuches an dem Muskel, der sich in seinem natürlichen Standort befindet, sind einfach vorgezeichnet. Das Blut ist aufzufangen, bevor und nachdem der zugehörige Muskelnerv durchschnitten wurde und dann während und nach einer Reizung desselben. Ferner ist das Glied in verschiedene Stellungen zu bringen, wobei dasselbe entweder so gespannt wird, dass durch die heftigste Reizung keine Bewegung in dem Muskel eintreten kann, oder die Sehnen der Muskeln sind zu durchschneiden, sodass durch die in Folge der Reizung eintretende Zusammenziehung keine Spannung im Muskel hervorgebracht werden kann. Den eben gegebenen Vorschriften gemäss habe ich die nachfolgenden Versuche ausgeführt. — Ein gleiches ist mir für eine andere naheliegende Variation nicht gelungen. Dieselbe sollte darin bestehen, dass die sympathischen Nerven gesondert von denjenigen für die quergestreiften Muskeln gereizt und durchschnitten würden. Die Operation, welche zur Blosslegung der Ursprünge jeder der beiden ge-

nannten Nervengattungen nothwendig ist, brachte, als ich sie ausführte, so grosse Störungen in das Gesamtverhalten des Thiers, dass ich auf die Ausführung des interessanten Versuchs verzichten musste.

Um diesen, wie ich glaube nothwendigen, Versuch auszuführen, müsste man allerdings einen andern Muskel als den *m. biceps femoris* wählen. Möglicherweise sind hiezu die Muskeln des Vorderarms brauchbarer.

Zur Aufhellung der Ergebnisse, welche mir der Blutstrom des Muskels in seinem natürlichen Standort gegeben hatte, unternahm ich auch noch am ausgeschnittenen Muskel einige Versuche.

Von den Ergebnissen, welche ich erhalten habe, werde ich zuerst das besprechen, was der Blutstrom gewahren liess vor und nach Durchschneidung der Nervenstämmen, die den betreffenden Muskel versorgen, und dann das, was während und nach Reizung der Muskelnerven eintrat.

Vor Durchschneidung der Muskelnerven fliesst in der Regel aus der Vene nur sehr wenig Blut, auffallend wenig im Verhältniss zu dem Durchmesser der Arterien und der Venen, welche dem beobachteten Muskelgebiet zugehören. Venen der Haut von entsprechender Weite liefern eine um das vielfache grössere Blutmenge. Nach dem, was ich beiläufig gesehen, halte ich eine eingehendere Vergleichung des Stromquantums entsprechend weiter Haut- und Muskelvenen für eine lohnende Arbeit. Auf den sehr schwachen Strom innerhalb der ruhenden Muskeln weisen auch die geringen Blutungen der Muskelwunden hin, vorausgesetzt dass man keine Arterienstämmchen verletzt hat. Da ich über diesen Punct keine in das Einzelne gehende Beobachtungen angestellt habe, so verzichte ich darauf Folgerungen abzuleiten, die sich hieraus für die Vertheilung des Blutes und für das Leben der Muskeln ergeben.

Nach Durchschneidung der Nervenstämmen, welche die dem Versuche unterworfenen Muskeln versorgen, verhalten sich die Erscheinungen verschieden, je nach dem Gifte, welches angewendet war, oder dem Nervenstamm, resp. dem Muskel, welcher dem Versuche unterzogen wurde. — Nach Durchschneidung der Vorderarmnerven bleibt der Strom unverändert, gleichgiltig, ob das Thier mit Curare oder mit Morphium vergiftet war. Nach Durchschneidung des Nerven für den *m. biceps femoris* mehr

sich in der Regel der Strom, wenn das Thier mit Morphium vergiftet war; er bleibt dagegen unverändert, wenn mit Curare narkotisirt worden.

Als Belege führe ich einige Zahlenbeispiele vor.

No. des Hundes	Vor der Nervendurchschneidung		Nach der Nervendurchschneidung		Bemerkungen
	Im Mittel ausgeflossen während 15 Sec. in Cbcmt.	Zeitdauer der Beobachtung, aus welchen das Mittel genommen wurde in Secunden	Im Mittel ausgeflossen während 15 Sec. in Cbcmt.	Zeitdauer der Beobachtung, aus welchen das Mittel genommen wurde in Secunden	
1.	0,45	120	3,0	86	} <i>Biceps femoris.</i> Morph.-Vergiftg
2.	0,4	60	0,2	75	
3.	1,1	165	3,3	60	
4.	0,4	30	2,0	135	
5.	0,8	75	0,3	135	
7.	0,45	45	0,30	150	} Beuger d. Vorderarms. Morph.-Vergiftg.
9.	0,9	60	0,8	60	
10.	0,4	60	0,44	135	
11.	0,9	45	0,6	75	
13.	1,1	80	0,75	50	} <i>Biceps femoris.</i> Curare-Vergiftg.
14.	0,27	105	0,63	120	
15.	0,25	90	0,26	180	} Beuger d. Vorderarms. Curare Vergiftg.

Das Anschwellen der Blutung, welches nach der Durchschneidung des dem *m. biceps* zugehörigen Nervenstammes beobachtet wurde, vorausgesetzt dass die Hunde morphisirt waren, bedarf einer Erklärung. Diese kann auf zwei Weisen versucht werden, das Resultat ist jedoch in keinem Fall ein befriedigendes. Weil die Reizung unseres Nerven ein Ansteigen des Blutausschlusses bewirken kann, und weil die Zuckung, die jede Durchschneidung begleitet, die bestehende Reizung beweist, so kann von vornherein die Möglichkeit nicht bestritten werden, dass auch hier das Anwachsen des Stroms. von einer Reizung bedingt sei. — Betrachtet man jedoch die Umstände genauer, so wird es zweifelhaft, ob man die angeführte Ursache

als die wirklich giltige anzusehen habe. Denn die Reizung ist eine sehr flüchtige und dennoch ist der Strom sehr anhaltend, mindestens durch Minuten hindurch beschleunigt; eine ähnlich langdauernde Nachwirkung tritt nicht ein nach sehr viel energischeren und anhaltenderen Reizungen. — Wie dieses dagegen spricht, dass der gereizte Nerv die Ursache der stärkeren Blutströmung war, so in nicht minderem Grade die zeitliche Erscheinung des lebhafter gewordenen Stromes. Nicht selten kommt es vor, dass in einer dem Zeitpunkte der Durchschneidung näher liegenden Periode die Strömung schwächer war als in einer späteren. Wäre die Reizung die Ursache der vermehrten Geschwindigkeit gewesen, so hätte man erwarten sollen, dass vom Eintritt des sehr vorübergehenden Reizes an die Geschwindigkeit in einem allmäligen Abnehmen begriffen gewesen wäre. Endlich aber scheint mir der hier angeregte Erklärungsversuch auch darum unhaltbar, weil er uns für das dem *m. biceps fem.* entgegengesetzte Verhalten der Handbeuger im Stich lässt. Warum sollte hier die Durchschneidung weniger reizend sein als dort?

Annehmbarer als die soeben besprochene erscheint die zweite noch mögliche Unterstellung, die nämlich, dass in dem durchschnittenen Nervenstamme für den *m. biceps* die Zweige für die Kreismuskeln der Arterien enthalten waren. Aber auch der Schritt, der die Lähmung der arteriellen Gefässwand zu Hilfe ruft, hat seine zahlreichen Bedenklichkeiten. Denn obwohl der Nervenstamm für den *m. biceps femoris* jedesmal möglichst genau an derselben Stelle durchschnitten wurde, so trat doch keineswegs immer eine Vermehrung der Geschwindigkeit nach seiner Durchschneidung ein. Dieses abweichende Ergebniss könnte darin begründet sein, dass entweder die Gefässnerven ausnahmsweise einen andern Weg genommen oder dass sich dieselben schon vor der Durchschneidung auf einem niedern Grade von Tonus befunden hätten, was hier um so weniger auffallend wäre, als bekanntlich das Morphinum öfter die Gefässnerven lähmt. Ich brauche kaum hervorzuheben, dass die Gründe, die soeben für das ausnahmsweise Ausbleiben der vermehrten Geschwindigkeit nach Durchschneidung des *m. biceps femoris* vorgebracht wurden, auch für das gleiche Verhalten nach Durchschneidung der Nerven für die Handbeuger geltend zu machen wären. Ein Grund, der es dagegen zweifelhaft erscheinen lässt, ob die nach Nervendurch-

schneidung eingetretene Vermehrung der Strömung eine Folge der Gefässlähmung sei, liegt in der regelmässig wiederkehrenden Thatsache, dass die Geschwindigkeit nach kurzer, höchstens nach Minuten zu berechnender Zeit ein Maximum erreicht, von dem sie dann allmählig absinkt. Im Verlauf eines Versuches, der im Ganzen etwa eine Stunde und weniger anhält, kommt es vor, dass die Geschwindigkeit schliesslich auf den Werth herabgeht, welchen sie vor der Nervendurchschneidung besessen hatte. Hieraus würde man also, wenn man unsere Annahme festhalten wollte, zu folgern haben, dass die Gefässwand aus andern Gründen den Tonus wieder erlangt habe, der ihr anfänglich durch die Nervendurchschneidung genommen war. Allerdings hat dieser Ausweg in Anbetracht der kurzen, zur Wiederherstellung des Tonus nothwendigen Zeit etwas missliches, aber immerhin stehen ihm Analogien zur Seite.

Endlich wenn die Durchschneidung der Nerven eine Lähmung der Gefässwand und darum eine Vermehrung des Stromes hervorruft, so sollte man erwarten, dass die tetanische Reizung des peripherischen Nervenstumpfes eine Unterbrechung oder Minderung des Blutstroms bedingen würde. Dieses ist, wie wir sehen werden, durchaus nicht der gewöhnliche Fall, da in der Regel der Tetanus die Ausflussgeschwindigkeit verstärkt. Weil es sich aber doch zuweilen ereignet, dass die tetanische Reizung den Strom zum Stillstand bringt, so könnte man annehmen, es werde, wenn die Nervenreizung die Blutung steigert, die Wirkung der verengenden Gefässnerven überwogen durch die gleichzeitige Erregung von kräftiger wirkenden Erweiterungsnerven oder durch irgend welche andere von den gereizten Muskelnerven ausgelöste Umstände.

Zur Constatirung dieser Vermuthung würde nur dann zu gelangen sein, wenn es anginge, die eine Reihe von Nerven geradezu auszuschalten und die andere allein in Wirksamkeit zu setzen. Da es mir, wie erwähnt, nicht gelungen war die sympathischen Fasern, welche zu den untersuchten Muskeln gehen, auszumitteln und sie an ihren Ursprüngen zu erregen, so griff ich zum Curare, welches bekanntlich die Wirkungsfähigkeit der sympathischen Fasern unberührt lässt und nur die der quergestreiften Muskeln lähmt. Der Erfolg bestand wie erwähnt darin, dass sich die Reizung der vollkommen curarisirten Nerven als durchaus wirkungslos erwies. Die Blutung vermehrte und ver-

minderte sich nicht während der Reizung. Damit ist erwiesen, dass die unterstellte Ueberwältigung des gereizten Verengerungsnerven nicht auf Rechnung eines Vorgangs zu setzen ist, der durch die Muskelzusammenziehung eingeführt wird, denn da diese beim curarisirten Thiere ausbleibt, so hätte nun der gereizte Verengerungsnerv die Blutung stillen müssen. Aber noch mehr das Ausbleiben einer jeglichen Aenderung des ursprünglich vorhandenen Stroms macht auch die Anwesenheit eines Erweiterungsnerven sehr zweifelhaft, denn zum mindesten ist es unwahrscheinlich, dass sich die Folgen der Erregung des verengenden und des erweiternden gerade so ausgeglichen hätten, dass während der Erregung beider die Blutung gerade so stark und so schwach gewesen wäre als vorher.

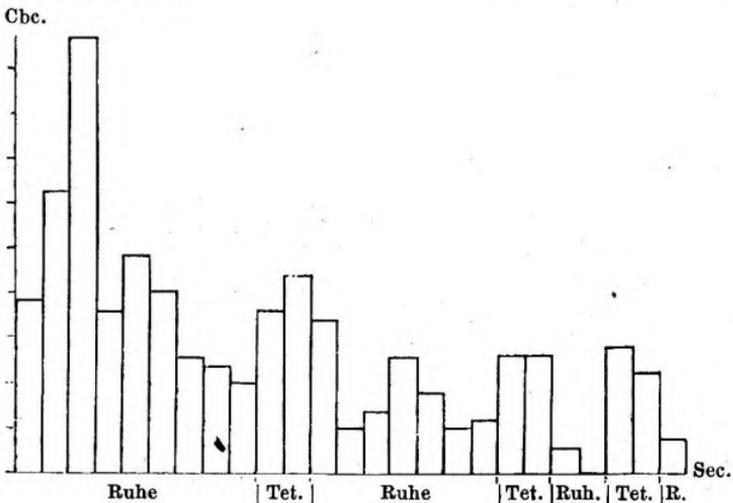
Diese Erwägung der Thatsachen bestimmt mich, von einer bindenden Aussage abzustehen, und die Aufdeckung des Abhängigkeitsverhältnisses glücklicheren Händen und erneuten Versuchen zu überlassen.

Die Aenderungen, welche das Tetanisiren der Nerven im Blutstrom des Muskels hervorbringt, sind dieselben, gleichgiltig, ob man die des Oberschenkels oder des Vorderarms wählte. Derselbe Muskel liefert jedoch ein sehr verschiedenes Strömungsergebnis, je nachdem das Thier, dem er angehörte, mit Morphinum oder mit Curare vergiftet war. Ich bespreche hier zunächst die Morphinumversuche.

Während der Morphinumnarkose ändert die tetanische Nervenregung den Blutstrom in so mannigfacher Art, dass eine auch nur einigermaßen klare Uebersicht der Ergebnisse nur durch die graphische Ausdrucksweise gegeben werden kann. Zur Mittheilung wähle ich vorzugsweise Beispiele am *m. biceps femoris* aus, theils wegen Schönheit der Erscheinung, theils auch wegen der Einfachheit der Strombahnen; denn an diesem Orte hat man es sicherlich nur mit Muskelblut zu thun.

Zu den Holzschnitten diene die erklärende Bemerkung, dass die Zahlen auf der Abscisse Secunden, die an den Ordinaten Cbc. der ausgeflossenen Blutmengen bedeuten. Die Beobachtungen, welche der Darstellung zu Grunde liegen, wurden so angestellt, dass ein Gehilfe nach je 10 oder 15 Secunden den Stand ablas, auf welchen das Blut in dem dasselbe auffangenden Messgefäß gestiegen war. Ein anderer Gehilfe schrieb diese Zahlen nieder. Ein dritter endlich reizte den Nerven oder be-

endete die Reizung auf Commando. In die Zeichnung sind die Ausflussmengen auf die Ordinaten eingetragen, welche während 10 oder 15 Secunden notirt wurden, wobei zur Vermeidung von Missverständnissen die Bemerkung nicht überflüssig, dass für je einen Muskel entweder nur 10 Sec. oder nur 15 Secunden als Zeiteinheit benutzt ist. Indem die Darstellung nur das wirklich beobachtete Resultat giebt, unterlässt sie das Genauere der mit der Zeit veränderlichen Geschwindigkeit zu verzeichnen. Auch hierauf mache ich besonders aufmerksam, damit nicht etwa der Schein entsteht, als ob sich die Geschwindigkeiten sprungweise geändert hätten. Dieses war, wie der Augenschein lehrte, nicht der Fall; der Anschein entsteht nur dadurch, weil mir meine Beobachtungsmittel die Aenderungen der Geschwindigkeit innerhalb des Zeitraums von 10 oder 15 Sec. nicht gegeben haben, sondern nur die mittlere während der genannten Zeit.

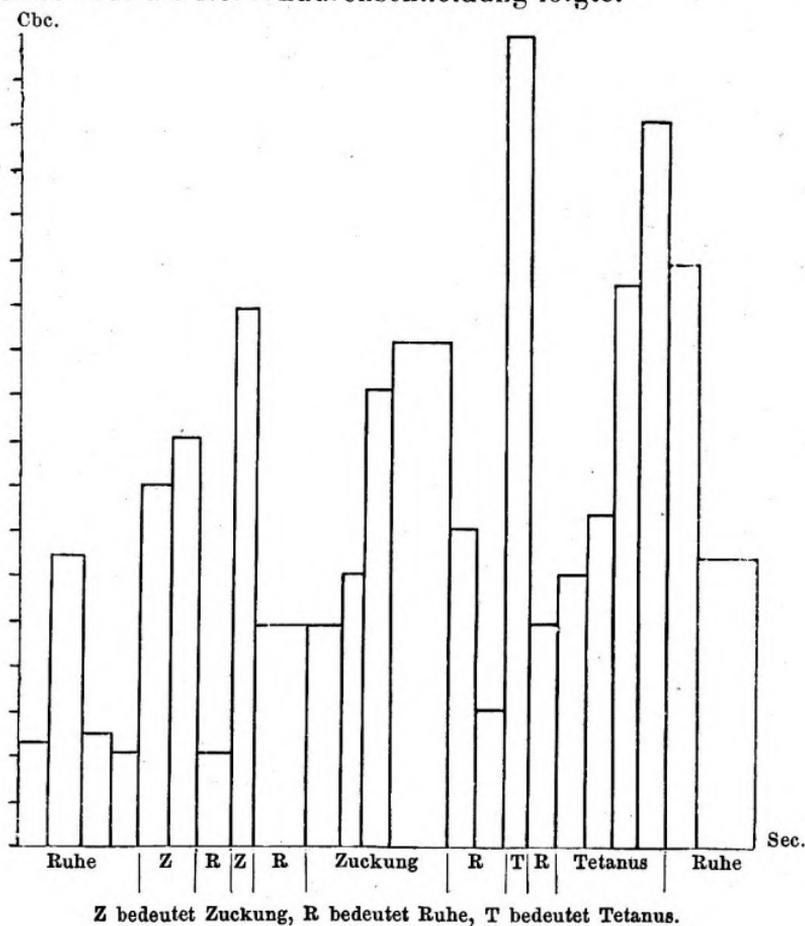


Figur 2.

m. biceps femoris. Morphiumvergiftung; 0.1 Cbcmtr. = 1 Mm. Ordinate; 15 Sekunden = 3 Mm. Abscisse.

Figur 2. Die Beobachtung beginnt nachdem der Nerv kurze Zeit vorher durchschnitten war. Der ersten der hier verzeichneten Ruhezeiten war demnach keine Reizung vorgegangen. In dieser Zeit steigt das Stromvolum allmählig an und nimmt mit der Beobachtungsdauer allmählig ab. Der Nerv wurde dann mit dazwischenliegenden Pausen dreimal je 30 Sekunden lang tetanisirt. Unmittelbar mit jedem Tetanus wuchs das

Stromvolum über den Werth an, den es vor der Reizung besessen hatte. Die Blutmenge, welche während des Tetanus entleert wurde, war zum ersten Male grösser als in jedem der beiden folgenden Male. In den Pausen, welche zwischen den Reizungen gelegen waren, nahm die Strömung allmählig wieder ab und gelangte schliesslich zu einem Werthe, der bedeutend geringer als der geringste während der Ruhezeit war, die unmittelbar auf die Nervendurchschneidung folgte.

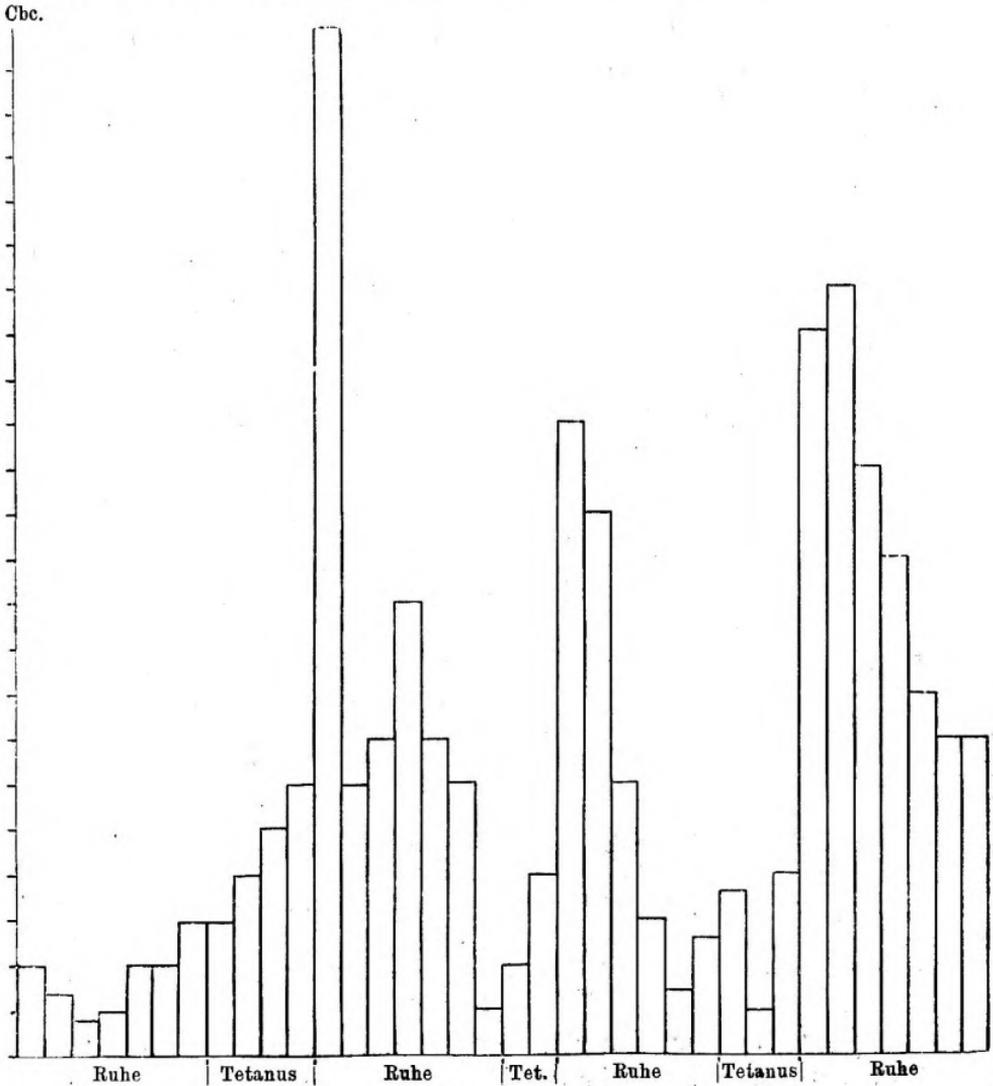


Figur 3.

m. biceps femoris. Morphinumvergiftung; 0.1 Cbcmtr. = 0.5 Mm. Ordinate; 15 Sekunden = 3 Mm. Abscisse.

Figur 3. Der Versuch beginnt nach der Durchschneidung des Nerven. Während dieser Ruhezeit steigt und fällt das Stromvolum. Der Nerv wurde fünfmal hintereinander erregt, die drei ersten Male geschah dieses so, dass der Muskel

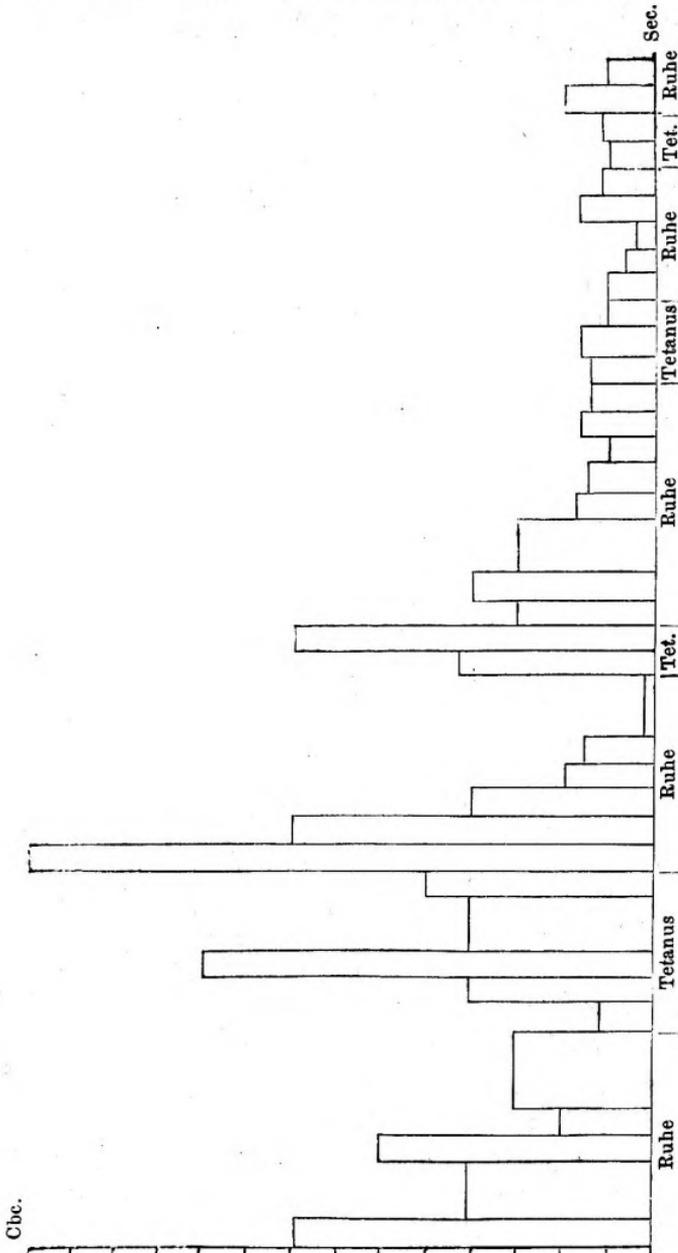
in Zuckungen gerieth, die beiden letzten Male wurde der Nerv tetanisirt. Unmittelbar mit der beginnenden Reizung wächst das Stromvolum, gleichgültig, ob die Muskeln ein klonischer oder ein tetanischer Krampf befiehl. Das Anwachsen war während des Tetanus ein grösseres, als während der Zuckungen. In den Pausen nach der Reizung übertraf das Stromvolum im Mittel dasjenige, welches während der ersten vor der Reizung vorhandenen Ruhezeit anwesend war.



Figur 4.

m. biceps femoris. Morphinumvergiftung; 0.1 Cbcmtr. = 1 Mm. Ordinate; 15 Sekunden = 3 Mm. Abscisse.

Figur 4. Die Beobachtung beginnt nach Durchschneidung des Nerven. Während der ersten Ruhezeit sinkt zuerst das Stromvolum ab und nimmt dann allmählig wieder zu. Der Nerv wird dreimal tetanisirt. Jedesmal wächst sogleich mit dem beginnenden Reiz das Stromvolum über den Werth, welchen es vor Beginn der Reizung besessen hatte. Die beiden



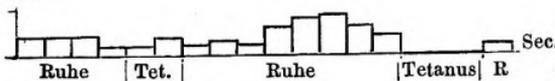
Figur 5.

m. biceps femoris. Morphiumvergiftung; 0.1 Cbentr. = 1 Mm. Ordinate; 15 Sekunden = 3 Mm. Abscisse.

ersten Male dauert dieses Wachstum so lange als die Reizung, während der dritten Reizung sinkt das Stromvolum vorübergehend ab. Unmittelbar nachdem die Reizung beendet, steigt das Stromvolum mächtig an und nimmt während der Dauer der Ruhe stetig oder auch mit zwischenliegenden Steigungen ab.

Figur 5. (Siehe vorhergehende Seite.) Die Beobachtung beginnt nach der Nervendurchschneidung. Die Geschwindigkeit nimmt während dieser ersten Ruheperiode in Schwankungen ab. Es geschahen vier tetanisirende Reizungen. Während eines jeden Tetanus stieg die Geschwindigkeit an und nahm während des ersteren länger dauernden wieder ab. Jede folgende tetanische Periode zeigt eine geringere Stromgeschwindigkeit als die vorhergehende. In der ersten Ruhe nach tetanischer Reizung zeigt sich anfänglich ein sehr starker Strom, der aber allmählig bis nahe zu Null herabgeht, in der Ruhezeit nach dem zweiten und dritten Tetanus zeigt sich Anfangs die Geschwindigkeit noch als eine nicht unbeträchtliche, doch ist sie nicht mehr so gross, als nach der des vorhergehenden Krampfes, sie nimmt zudem mit der Dauer der Ruhe ab. Während des vierten Tetanus sinkt das Stromvolum unter den Werth der vorhergehenden Ruhe, und steigt in der nachfolgenden Erschlaffung wieder an. Da auch für die verschiedenen Ruhezeiten die Regel gilt, dass das Maximum des Stromvolums in jeder folgenden Periode kleiner ist als in der vorhergehenden, so nimmt schliesslich der Ausfluss Werthe an, die geringer sind als sie in der ersten Ruhe vor aller Reizung vorhanden waren.

Cbc.



Figur 6.

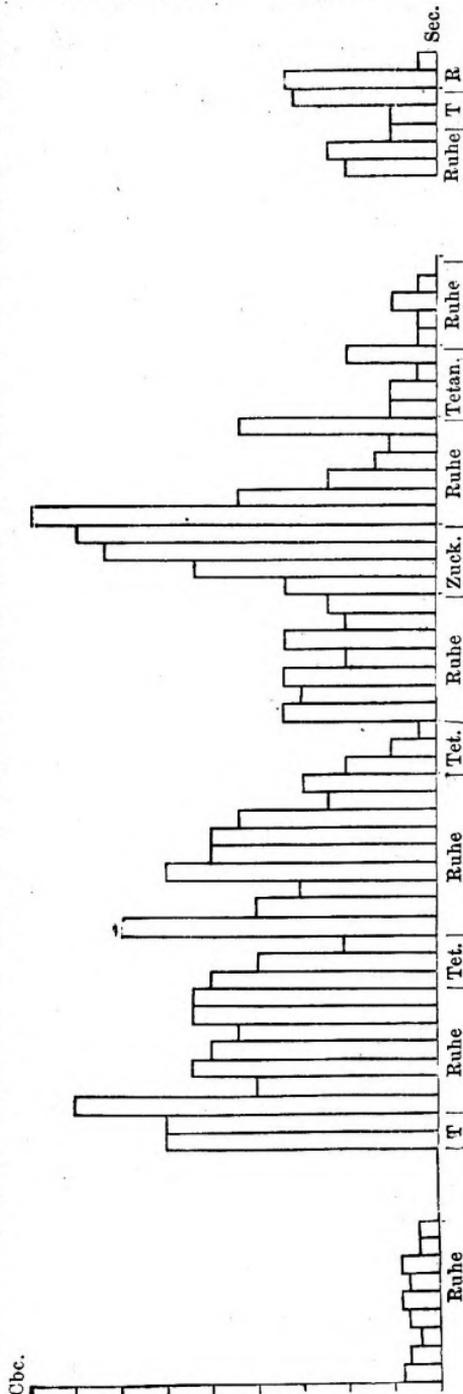
m. biceps femoris. Morphiumvergiftung; 0.1 Cbcmtr.
= 1 Mm. Ordinate; 15 Sekunden = 3 Mm. Abscisse.

Figur 6. Die Beobachtung beginnt nach Durchschneidung des Nerven. Der letztere wird im Verlauf der Beobachtung zweimal tet-

tanisirt. Die erste der beiden Reizungen ruft keine merkliche Aenderung hervor, die zweite bedingt eine vollständige Unterbrechung des Stromes. In der zwischen der ersten und zweiten Reizung gelegenen Pause tritt allmählig ein schwaches aber deutliches Ansteigen der Stromvolumina ein.

Figur 7. Die Mittheilung des Versuchs beginnt nach Durchschneidung des Nerven. Nach dieser ersten hier verzeichneten Ruhe wurde der Nerv gereizt, ohne dass es gelang

das Blut aufzufangen. Ausser dieser eben erwähnten wurden noch sechs Reizungen angestellt, fünf tetanische und eine intermittirende. Beim ersten Tetanus ist die ausgeflossene Blutmenge eine beträchtliche und der Strom fliesst während der Reizung mit gleichbleibender Geschwindigkeit. In allen folgenden tetanischen Reizungen nimmt die Geschwindigkeit mit dem Beginn der Reizung gegen diejenige ab, welche unmittelbar vorher vorhanden war und während der Dauer des Tetanus wird der Strom schwächer und schwächer. Das Maximum der während einer tetanischen Periode vorhandenen Strömung ist in jeder folgenden Reizung geringer als in der vorhergehenden. Eine Ausnahme hiervon findet sich in der sechsten tetanischen Periode, welche eingeleitet worden war, nachdem man dem Muskel eine längere Zeit hindurch Ruhe gegönnt hatte. Unmittelbar nach Beendigung des Tetanus trat mit Ausnahme der fünften Ruhe ein starkes Anwachsen des Stromvolums ein. Aus dieser Erscheinung wird es begreiflich, dass der Ausfluss in der Zuckungs-



Figur 7.

m. biceps femoris. Morphiumvergiftung; 0.1 Ccmtr. = 1 Mm. Ordinate; 15 Sekunden = 2 Mm. Abscisse.

periode einen beträchtlicheren Werth annahm, als während der Tetanisirung. Bemerkenswerther Weise steigt aber nach Beendigung derselben das Stromvolum noch an.

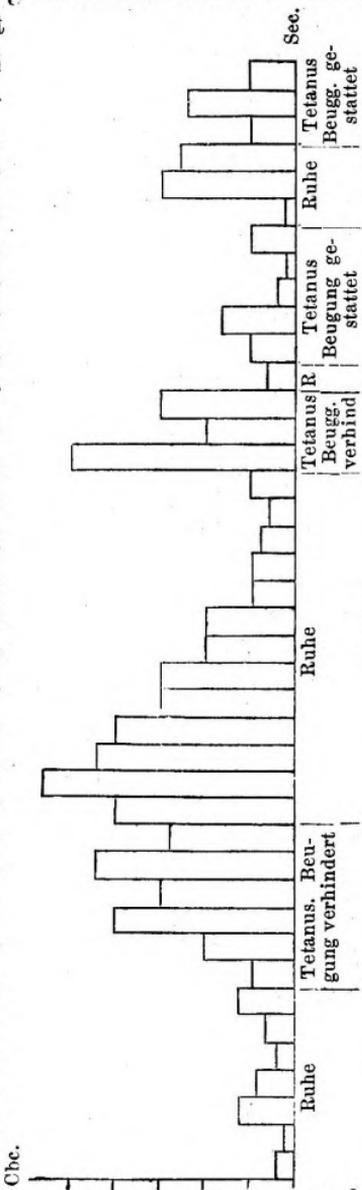
In den vorstehenden Holzschnitten sind die wesentlichsten Typen meiner Beobachtungen wiedergegeben; demnach bedingt die intermittirende und tetanische Reizung der Muskelnerven in der Regel ein Anschwellen des musculären Blutstroms. Dieses letztere erscheint um so sicherer, je weniger der Muskel schon durch vorhergehende Reizungen erschöpft ist und, insofern mich meine allerdings noch beschränkte Erfahrung nicht täuscht, um so gewisser, je lebendiger und jugendkräftiger das zur Verwendung gekommene Thier war.

Aber auch wenn die Reizung das Ausfliessen des Blutes beschleunigt, geschieht dieses nicht in immer gleicher Weise. Bald erreicht der Strom sein Maximum schon während der Zusammenziehung, andremale aber erst nachdem die Erschlaffung wiedergekehrt und niemals hält sich der Strom für längere Zeit auf gleicher Höhe, sondern es schwankt, in derselben Weise wie es *Dogiel* am Strom der *a. carotis* beobachtet hat, die Geschwindigkeit fortwährend auf und ab, selbst wenn die Zusammenziehung des Muskels tetanisch verharrete.

Der Versuch, die Ursachen dieser auffallenden Erscheinung zu ergründen, wird zuerst die Veränderungen zu berücksichtigen haben, welche durch die Formänderungen der Muskelmasse in das Strombett eingeführt werden. Nach allem, was wir über die Gestalt des zusammengezogenen Muskels wissen, müssen wir schliessen, dass durch dieselbe die Spalten, in welchen die Blutcapillaren laufen, verengt werden, sodass durch die Contraction die Widerstände, welche der Blutstrom zu überwinden hat, eher vermehrt als vermindert werden. Obwohl dieser Grund dafür spricht, dass die tetanische Contraction an und für sich nicht die Ursache der beschleunigten Strömung sein könne, so hielt ich es dennoch für gerathen, einige Versuche mit Muskeln anzustellen, welche während der tetanischen Reizung ihrer Nerven an jeglicher Formänderung dadurch gehindert waren, dass ihr oberer und unterer Ansatzpunct unverrücklich in einer bestimmten Entfernung von einander gehalten wurde.

Die Figur 8 giebt Aufschluss über den Befund eines solchen Versuchs, welcher, wie man sieht, in vollkommener Uebereinstimmung mit den Thatsachen steht, die von den Muskeln

mitgetheilt wurden, welchen die Formänderung in ausgedehntem Maasse gestattet war. Während der beiden ersten tetanischen Contractionen wurde die Beugung der Hand und des Vorderarms durchaus unmöglich gemacht und nichts desto weniger sehen wir während derselben die Geschwindigkeit des Blutstroms zu einer bedeutenden Höhe ansteigen. Als in der dritten und vierten tetanischen Reizung den Muskeln eine ausgiebige Verkürzung gestattet war, trat zwar ebenfalls eine raschere Strömung ein als sie während der ersten Ruheperiode sichtbar gewesen, aber dennoch waren während dieser Reizungen die Ausflussmengen kleiner als in den vorhergehenden Erregungen. Wenn sich nicht sehr häufig die Beobachtung wiederholte, dass während der späteren Tetanisierungen das Anwachsen des Stroms ein geringeres ist, so würde man geneigt sein, die Abschwächung der Stromschwellung auf eine Steigerung der Hindernisse zu schieben, welche durch die eingetretene Formveränderung bewirkt seien. Wie dem nun auch sein mag, jedenfalls lehrt dieser Versuch, dem ich ähnliche zur Seite stellen kann, dass die Vermehrung der musculären Stromgeschwindigkeit hier in bedeutendem Maasse eintrat, wenn die Formänderung nicht gestattet wurde, während sie in andern zahlreichen Fällen sehr mächtig zum Vorschein kam, wenn der Muskel seinem Contractionsbestreben ungehindert folgen konnte. Daraus erfließt unmittelbar, dass die Ursache der starken Strömung, die



Figur 8.

Beuger der Hand. Morphiumvergiftung; 0,1 Cbcmtr. = 1 Mm. Ordinate; 15 Secunden = 3 Mm. Abscisse.

nicht gestattet wurde, während sie in andern zahlreichen Fällen sehr mächtig zum Vorschein kam, wenn der Muskel seinem Contractionsbestreben ungehindert folgen konnte. Daraus erfließt unmittelbar, dass die Ursache der starken Strömung, die

beim Tetanisiren der Muskelnerven auftritt, nicht in einen unmittelbaren Zusammenhang mit der Formveränderung des Muskels zu bringen ist. Nach der Ausschliessung dieser Möglichkeit kann der Grund, nach dem wir suchen, nur in einer Erweiterung der kleinen Muskelarterien gefunden werden und es kann deshalb nur die Frage sein, ob die Erschlaffung der Muskelwand von einer Einwirkung der Nerven oder von irgend einer andern die Gefässmuskeln unmittelbar betreffenden herrührt.

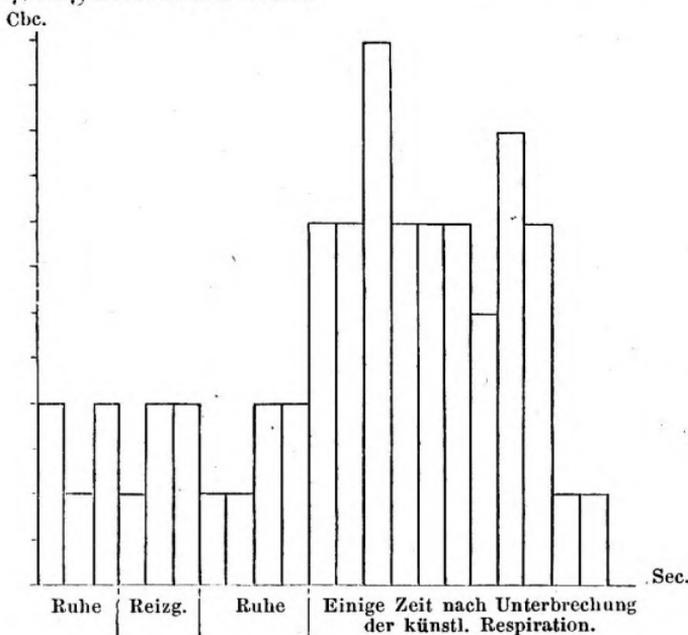
Da wir schon an zahlreichen Stellen des Arteriensystems Nerven kennen, welche während ihrer Erregung den normalen Tonus der Gefässe herabsetzen, so hat es nichts Verhängliches, ähnliche Beziehungen zwischen gewissen in die Muskeln eintretenden Nerven und den Arterien derselben voranzusetzen. Ferner bei der Unbekanntschaft, in der wir uns über die anatomischen Bedingungen finden, die zur Herstellung der erschlaffenden Nervenwirkung erfüllt sein müssen, würde es auch nicht gerade bedenklich sein, gewissen in die Muskeln eintretenden Nerven etwas ähnliches zuzuschreiben, trotzdem dass in dem Verlaufe derselben bis dahin keine Ganglien aufgefunden sind. Andererseits aber muss man eine endgiltige Entscheidung der vorliegenden Frage so lange verschieben, bis es gelungen sein wird, die Erweiterungsnerven der Muskelgefässe isolirt zu reizen, sodass das Anschwellen des Blutflusses die einzige Folge der Tetanisirung ist. An einer frühern Stelle dieser Abhandlung waren wir andererseits schon auf Thatsachen gestossen, die auch auf die Anwesenheit von verengenden Gefässnerven hinwiesen. Käme es also nur darauf an, ein Spiel von Kräften hinzustellen, mit dem die beschriebenen Erscheinungen des veränderlichen Blutstroms zu erklären seien, so würde es am nächsten liegen, die gleichzeitige Anwesenheit von Erweiterungs- und Verengungsnerven zu unterstellen. Um aber dann auch die zahlreichen Aenderungen der Stromgeschwindigkeit, welche während und nach der Tetanisirung erscheinen, aus der Anwesenheit zweier entgegengesetzt wirksamer Nervengattungen zu erläutern, würde noch der Zusatz nöthig sein, dass die Reizbarkeit einer jeden der beiden Nervenarten in der Zeit mancherlei Schwankungen erfahre. Die Lösung der Aufgabe würde also erst dann gefunden sein, wenn die Ursachen der schwankenden Reizbarkeit aufgedeckt sein würden. Obwohl der soeben ausgesprochene hypothetische Versuch, einer Erklärung näher zu

treten, gegenwärtig nicht zu widerlegen ist, so hege ich dennoch ein gewisses Misstrauen gegen ihn. Denn wenn wir auch den Kampf zweier um die Herrschaft streitender Nerven im weitesten Umfang wollten gelten lassen, so würde doch eine andere Reihe von Thatsachen den Beweis liefern, dass durch denselben nicht alles erklärbar wäre. In erster Linie zähle ich zu den von der Nervenerregung nicht ableitbaren Veränderungen diejenigen, welche der Strom eines ruhenden Muskels zeigt, dessen Nerven durchschnitten sind. Zwischen den vielen Unregelmässigkeiten, die sich hier einstellen, bietet sich jedoch eine immer wieder hervortretende Regel, die nämlich, dass ein anfänglich rascher Strom allmählig sich mehr und mehr verlangsamt. An die Allgemeingültigkeit dieses Verhaltens, wofür die mitgetheilten Figuren mehrfache Beispiele geben, glaube ich um so mehr, als sich auch eine gleiche Erscheinung sehr regelmässig wiederfindet am ausgeschnittenen, von arteriellem Blute unter constantem Druck durchströmten Muskel. Da in diesen Fällen jede Ursache zu einer veränderlichen Erregung der Nerven wegfällt, so wird man wohl genöthigt sein, die Erklärung für das angegebene Verhalten in einem Wechsel des Tonus der Gefässwände zu suchen, der mindestens von äusseren auf den Stamm der Nerven wirksamen Reizen ganz unabhängig ist.

Gesetzt aber man wollte eine selbstständige Veränderlichkeit im Verkürzungsgrade der Gefässmuskeln annehmen, so könnte man den eben erwähnten Fall am einfachsten dadurch erklären, dass die von einem anhaltenden Strom arteriellen Blutes berührten Gefässmuskeln durch irgend eine Einwirkung des Sauerstoffs zur Verkürzung geführt würden. Für diese Unterstellung lässt sich in der That noch mancherlei vorbringen.

Zunächst das Verhalten, das der Blutstrom in einem curarisirten Muskel zeigt, dessen Nerven durchschnitten sind. In einem so beschaffenen Muskel bringt, wie beispielsweise Figur 9 (folg. Seite) darlegt, die Reizung des Nerven keine Veränderung des Stromes hervor. Im Grossen und Ganzen ändert sich hier der Blutstrom überhaupt nicht, solange die künstliche Respiration hinreicht um dem Blute eine kräftig arterielle Färbung zu bewahren. Diese Erscheinung ist an und für sich auffallend unter der Annahme, dass die Aenderung des Stromes durch eine unmittelbare Einwirkung der Nerven auf die Gefässwand veranlasst werde, da bekanntlich die Gefässnerven durch das Cu-

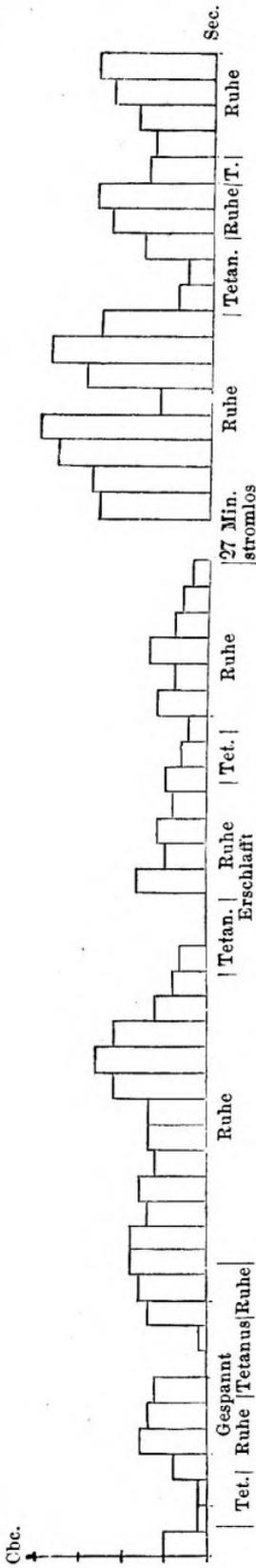
rare nicht angegriffen werden. — Wenn dagegen durch Unterbrechung der künstlichen Respiration das Blut dunkelfärbig wird, so beginnt nun, trotz des seltner gewordenen Herzschlags, welcher ein stetiger Begleiter der Erstickung ist, der Strom aus der Muskelvene rascher zu fließen. Nimmt man jetzt die künstliche Respiration wieder auf, so verlangsamt sich der Blutstrom von Neuem. Beim gegenwärtigen Stand unsrer Kenntnisse kann man wohl kaum dieser Erscheinungsreihe eine andere Erklärung geben, als die oben versuchte, wornach dem hellrothen Blut eine verengende, dem dunkeln eine erweiternde Wirkung zugeschrieben wird.



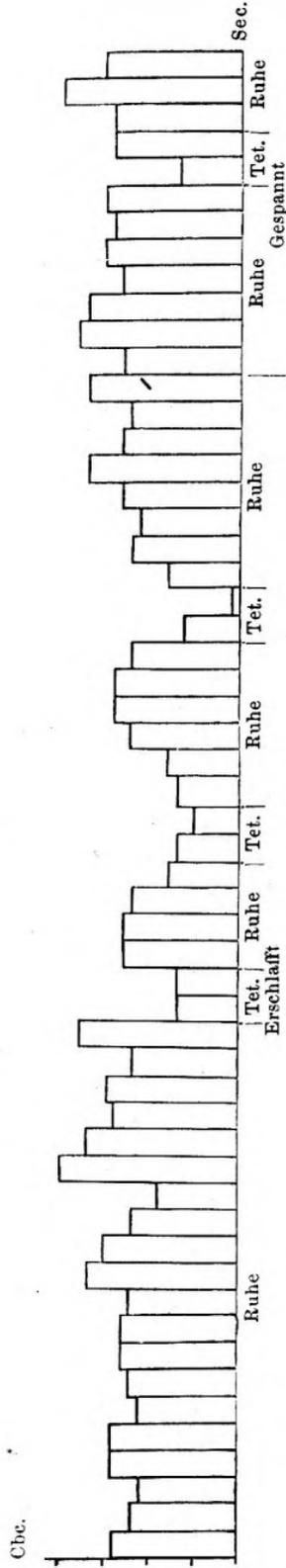
Figur 9.

m. biceps femoris. Curarevergiftung; 0.1 Cbcmtr. = 10 Mm.
Ordinate; 15 Sekunden = 3 Mm. Abscisse.

Ähnlich wie der dem Nerveneinfluss entzogene Muskel des curarisirten Thieres verhält sich auch der ausgeschnittene unvergiftete Muskel. Eine tetanische Reizung seines Nerven bedingt an ihm, wie Figur 10 gewahren lässt, gewöhnlich eine Verminderung des Stroms, auf welche nach Beendigung des Tetanus ein schwaches, längere Zeit hindurch dauerndes Ansteigen des Stromes folgt. Je öfter bei gleichbleibendem Druck der Wechsel von Tetanus und Ruhe wiederholt wurden, um so mehr sinkt die Stromgeschwindigkeit. Wenn dieselbe auf einen sehr



Figur 40a.



Figur 40b.

Ausgeschnittener *m. biceps femoris*. Künstlicher Blutstrom; 0,1 Cbcmtr. = 1 Mm. Ordinate; 15 Sekunden = 3 Mm. Abscisse.

geringen Werth herabgekommen ist, so kann man sie leicht wieder und zwar auf einen relativ hohen Werth dadurch zurückbringen, dass man den Blutstrom etwa eine halbe Stunde lang ganz unterbricht. Sowie nach dieser Pause der Strom unter dem früheren und damals fast wirkungslosen Druck von Neuem beginnt, fliesst jetzt das Blut viel rascher als vorher aus. Es steht nichts im Wege auch diese Erscheinung auf einen localen Erstickungszustand der Muskeln zurückzuführen.

Bei dieser Sachlage verdient auch die Aenderung der Farbe unsere Aufmerksamkeit, welche das Blut erfährt, das während und nach dem Tetanus aus dem Muskel des mit Morphinum vergifteten Thieres hervorströmt. Ausnahmslos ist das im raschen Strome hervorkommende Blut sehr dunkel, vorausgesetzt dass es nach beendigtem Tetanus hervorquillt, und es scheint, soweit der Augenschein maassgebend ist, die Geschwindigkeit in dem Maasse abzunehmen, in welchem die gewöhnliche Farbe des venösen Blutes wiederkehrt. Auch diese Erscheinung stimmt zu der von mir versuchten Erklärung. Meiner Meinung weniger günstig ist dagegen der Umstand, dass das Blut, welches beim Beginn des Tetanus im raschen Strome hervorstürzt, sehr oft eine ausgesprochen hellrothe Farbe zeigt, gerade so wie dies dem Venenblut der gereizten Speicheldrüse eigen. Aus dieser Thatsache wäre zu schliessen, dass auch das zuletzt verwendete Erklärungsprincip nicht für alle Fälle ausreichend wäre. Welche Erklärung aber auch spätere Versuche für die Erscheinungsreihe geben, die uns hier beschäftigt hat, immerhin wird sie schon jetzt wegen ihrer physiologischen Folgen zu beachten sein. Der schwache Strom durch den ruhenden Muskel, das Ausspülen des Muskels mit Blut nach jeder Zusammenziehung, der rasche und grosse Verlust an Sauerstoff, den das dunkle Venenblut andeutet, sind Thatsachen, deren Wichtigkeit für den Stoffwechsel und die Temperatur des Muskels einleuchten. Zugleich ist bei der gegenseitigen Abhängigkeit der Strömung in den verschiedenen Abtheilungen des Aortenbaums der plötzliche Abfluss des Blutes durch die bisher mässig durchströmten Muskeln für die übrigen Reviere gewiss bedeutungsvoll und zwar um so mehr, je grösser die contrahirte Muskelmasse war.

