

Zum Schluss unserer Mittheilung halten wir es für unsere Pflicht, dem hochgeehrten Prof. J. R. Tarchanoff unsern Dank aussprechen für seine liebenswürdige Erlaubniss, in seinem Laboratorium arbeiten zu dürfen.

(Aus dem physiologischen Laboratorium von Prof. Tarchanoff in
St. Petersburg.)

Die Bestimmung der Stromgeschwindigkeit des Blutes in den Gefässen mit dem neuen Apparat — Photo- hämotachometer.

Von

Dr. Napoleon Cybulski.

Hierzu 13 Holzschnitte.

Obwohl in den letzten Jahrzehnten die Physiologie um zahlreiche graphische, mathematisch genaue Apparate bereichert wurde, welche uns die Lösung mancher wichtiger Fragen und Probleme ermöglichten, so blieb doch die Frage der genauen Bestimmung der Stromgeschwindigkeit des Blutes noch immer unentschieden. Um jedoch den hier sich anhäufenden Fragen etwas näher zu treten, hat man verschiedene indirecte Methoden benutzt, um wenigstens sich eine allgemeine Ansicht über die Frage schaffen zu können. Man benutzte z. B. zu diesem Zwecke die Bestimmung der Differenzen in der Zu- und Abnahme des Volumens des betreffenden Organs; man verwendete die Temperaturdifferenzen, die eintretenden Wechsel im Lumen der Gefässe, Veränderungen des seitlichen Blutdruckes in den Arterien und bestimmte auch die Stromgeschwindigkeit nach der Menge des ausfliessenden Blutes. Alle eben-erwähnten Methoden erlauben aber nur eine qualitative Bestimmung

der Stromgeschwindigkeit des Blutes. Ein solcher Zustand bildete bis jetzt eine nicht geringe Lücke im betreffenden Kapitel der Physiologie, um so mehr fühlbar, als es Jedermann klar ist, dass die bis jetzt angewandten Apparate in jeder Beziehung unzuverlässig und zu ungenau sind.

Um diesem Uebel abzuhelpen machte ich schon seit mehreren Jahren Versuche erstens um zu erfahren, auf welcher Basis der betreffende Apparat construirt werden müsste, und zweitens, in welcher Weise könnte man einen so construirten Apparat am besten ausnützen.

Zahlreiche Versuche bewiesen mir, dass die Methode des „Röhrchens“ von Pitot die beste sei, mit anderen Worten, dass die manometrische Bestimmung des sogenannten hydraulischen Druckes die besten Resultate liefere. Der sogenannte hydraulische Druck ist einfache Folge derjenigen Pression, welche von den Moleculen der sich in Bewegung befindlichen Flüssigkeit auf die im Wege stehenden Hindernisse ausgeübt wird.

Der Werth dieser Methode wird erheblich dadurch gesteigert, dass das fliessende Blut in dieser Weise nur in einem sehr beschränkten Maasse mit den Fremdkörpern in Berührung kommt; dieser Umstand, von einer besonderen, leider aber negativen Tragweite, tritt deutlich in allen bis jetzt angewandten Apparaten auf, weil, wie allgemein bekannt ist, die Berührung des Blutes mit den Apparattheilen sehr leicht die Gerinnung desselben hervorruft und die dadurch entstandenen Gerinnseln einen höchst nachtheiligen Einfluss auf die schon ungenauen Apparate ausüben.

Eine eingehendere kritische Besprechung aller bis jetzt zu diesem Zwecke erfundenen Apparate will ich an dieser Stelle nicht anführen, da sie bereits von mir anderorts gemacht worden ist. Ich werde nur kurz und bündig den von mir dazu construirten Apparat beschreiben, sowie auch in wenigen Worten über die trefflichen Resultate, welche ich mit ihm erhalten hatte, referiren.

Den Haupttheil des Apparates bildet ein Röhrchen, unter dem rechten Winkel gebogen mit zwei Nebenröhrchen, wie es die Fig. 1

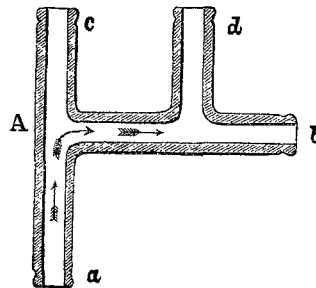


Fig. 1.

zeigt. Wenn wir die Enden a und b in diesem Röhrrchen mit einem anderen Röhrrchen verbinden und die beiden übrigen Enden c und d mit zwei Manometern in Verbindung setzen und dann das ganze Röhrrchen mit Flüssigkeit füllen, so wird uns die Flüssigkeitssäule in den beiden Manometern den gesammten Werth des Druckes zeigen, unter welchem sich die Flüssigkeit im Röhrrchen befindet; wenn wir jetzt die Flüssigkeit in dem Hauptrohre ab in Bewegung setzen und in der Richtung von a nach b treiben, wie es uns die Fig. 1 zeigt, so entsteht in beiden Nebenröhrrchen c und d ein Unterschied in den Druckhöhen; und zwar aus dem Grunde, weil auf die Flüssigkeitssäule im Röhrrchen c ausser dem im ganzen Rohrsystem bestehenden Seitendrucke noch diejenigen Flüssigkeitsmolecüle einen bestimmten Druck ausüben, welche an der Einmündungsstelle dieses Röhrrchens von ihrer primären Richtung abweichen; im Röhrrchen d aber steht die Flüssigkeit nur unter dem Seitendrucke. Derjenige Unterschied, welcher in der Höhe der beiden manometrischen Röhrrchen entsteht, steht im gewissen strengen Verhältniss zur Stromgeschwindigkeit in dem Hauptrohre ab . Dieses Verhältniss muss für jede Flüssigkeit und für jedes Röhrrchen speciell empyrisch eruiert werden. Es ist selbstverständlich, dass wenn wir schon einmal streng und genau das relative Verhältniss der Druckunterschiede in beiden Manometern zur Stromgeschwindigkeit einer gewissen Flüssigkeit bestimmt haben, so sind wir im Stande, auch umgekehrt aus der Verschiedenheit der Flüssigkeitshöhen einen Schluss über die Stromgeschwindigkeit im Rohre ab zu ziehen und in solcher Weise aus der Berechnung der Niveaudifferenzen in Manometern die Stromgeschwindigkeit der Flüssigkeit im Rohre ab zu berechnen.

Die Bestimmung der Abhängigkeit dieser Niveaudifferenzen in Manometern von der Stromgeschwindigkeit der Flüssigkeit im Rohre ab bietet keine besonderen Schwierigkeiten dar. In meinen Untersuchungen habe ich die graphische Methode zu diesem Zweck angewandt. Zuerst bestimmte ich empyrisch auf dem experimentellen Wege die Stromgeschwindigkeit der Flüssigkeit im Rohre aus der gesammten Menge der ausfliessenden Flüssigkeit im Zeitraume von einer Secunde und zugleich notirte ich die dieser Stromgeschwindigkeit entsprechende Niveaudifferenz der Flüssigkeitssäulen in beiden manometrischen Röhrrchen. Dann habe ich die Stromgeschwindigkeit im Rohre gewechselt und zwar durch

den Querschnittwechsel der Ausflussöffnung des Rohres und berechnete zugleich die Niveaudifferenz in Manometern, welche damit im Zusammenhange blieb. In solcher Weise erhielt ich eine Reihe von Werthen für die Stromgeschwindigkeit der Flüssigkeit und für die dabei entstehenden Niveaudifferenzen in den Druckhöhen der beiden Manometer. Wenn ich jetzt die Werthe der manometrischen Druckdifferenzen auf die Abscisse verzeichnete und die Werthe der entsprechenden Geschwindigkeiten auf correspondirende Coordinaten verlegte, so erhielt ich für jede Flüssigkeit eine gewisse Curve, welche alsdann schon sehr leicht benutzt werden konnte zur leichten Berechnung aller anderen Stromgeschwindigkeiten derselben Flüssigkeit, sobald uns nur die Niveaudifferenzen in Manometern bekannt waren.

Die zur Prüfung der Genauigkeit dieser Methode angestellten Experimente erwiesen, dass die Fehler bei der Berechnung von Stromgeschwindigkeit nach dieser Methode sehr klein sind und nicht über 1% diejenigen Zahlen übersteigen, welche wir durch die Mengenbestimmungen der ausgeflossenen Flüssigkeit erhalten. Diejenigen Hindernisse, welche wir durch die Einschaltung des gebogenen Röhrchens im ganzen Rohrsystem erzeugen, sind so geringfügig (wie das sowohl aus rein theoretischen Betrachtungen, sowie auch aus den Untersuchungen von Volkmann und Jacobson folgt), dass wir sie nicht mehr zu berücksichtigen brauchen. Die Bedingungen, unter welchen die Blutcirculation in den Gefäßen vor sich geht, wie z. B. der bedeutende Seitendruck und die Schwankungen der Stromgeschwindigkeit, welche durch verschiedenste Momente beeinflusst werden, vor Allem aber von der Herzthätigkeit abhängig sind, gestatten uns diesen oben angeführten Gedanken auf experimentellem Wege zu prüfen. Nach mehreren misslungenen Versuchen ist mir schliesslich gelungen alle die Behinderungen, welche bei der practischen Anwendung meiner Methode zu Tage traten, glücklich zu überwinden durch die Anwendung eines differentiellen, speciell dazu construirten Luftmanometers. Der Manometer besteht aus einem gleich einer Haarnadel gebogenen Glasrohre, wie es die Zeichnung in der Fig. 2 uns veranschaulicht.

Sobald wir diesen Manometer mit den Ansatzröhrchen *c* und *d* an dem gebogenen Rohre *ab* in Verbindung setzen (Fig. 1) und dann das ganze System mit der Ausnahme der höheren Hälfte

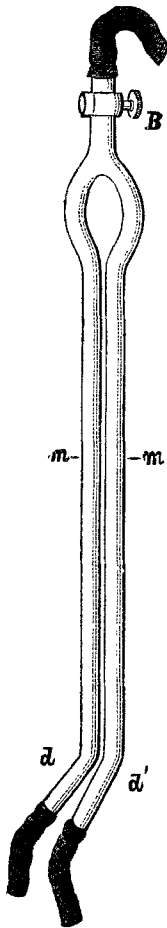


Fig. 2.

des differentiellen Manometers mit Flüssigkeit füllen und den Hahn *B* schliessen, so stehen die beiden manometrischen Röhren *m* und *m* mit einander in Verbindung mittelst der mit Luft gefüllten Strecke im gebogenen Theile des (Luft-)Manometers. Es ist klar, dass bei jeder Druckänderung im Hauptrohre, sobald die darin befindliche Flüssigkeit sich im Zustande der Ruhe befindet, das heisst, wenn sie in keine fortschreitende Bewegung geräth, das Niveau der Flüssigkeit in beiden manometrischen Röhren auf einer horizontalen Linie stehen bleibt. Die Schwankungen des Seitendruckes im Röhrensystem äussern sich nur in der gesteigerten oder verminderten Compression der Luft im oberen Theile des Manometers, was sich dadurch kund giebt, dass die beiden Niveaus gleichzeitig entweder steigen oder sinken. Wenn wir aber jetzt die Flüssigkeit im Hauptrohre *ab* in der von Pfeilen bezeichneten Richtung sich bewegen lassen, so tritt sofort eine Niveaudifferenz in beiden manometrischen Röhren ein. Der Werth dieser Differenz ist gleich demjenigen Drucke, welcher von uns hydraulischer Druck genannt worden ist und welcher stets im strengen Verhältnisse zur Stromgeschwindigkeit im Hauptrohre steht. Wir bezeichnen diesen Werth ein für alle Mal mit *h*. Wenn uns be-

reits der Werth von *h* bekannt ist, so ist es gar nicht schwer, daraus die Stromgeschwindigkeit im Rohre zu bestimmen.

Beim Einsetzen des gebogenen Röhrechens in die durchgeschnittene Arterie können wir die Aenderung des Werthes *h* leicht beobachten in dem mit dem Hauptrohre in Verbindung gesetzten differentiellen Manometer. Und wenn wir noch vordem auf empirischem und experimentellem Wege diejenige Curve bestimmt haben, welche uns das Verhältniss von *h* zur Stromgeschwindigkeit des Blutes bei der entsprechenden Thierart zeigt, so sind wir jetzt im Stande, aus den notirten Schwankungen des Werthes *h* die entsprechende Stromgeschwindigkeit des Blutes zu berechnen.

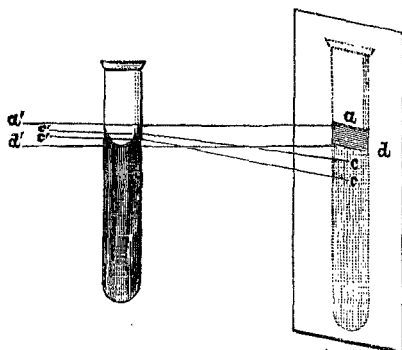


Fig. 3b.

In Folge dessen werden Lichtstrahlen, welche durch das Röhrechen perpendicular zu seiner Axe fallen, in der Richtung zur Flüssigkeit gebrochen, Fig. 3a—cc und Fig. 3b—c"—d", so dass wir hinter dem Röhrechen einen dunklen kleinen Streifen a—d und c—d erhalten, weil er der Lichtstrahlen entbehrt. Aehnliche Streifen werden erhalten auch hinter den beiden Röhrechen des

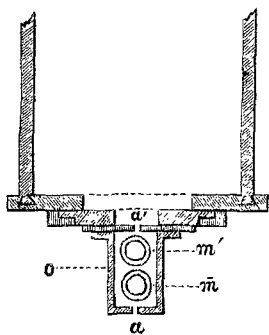


Fig. 4.

differentiellen Manometers, Fig. 3b, wobei sie selbstverständlich genau dem Niveau der Flüssigkeitssäule in jedem Röhrechen entsprechen. Zum Zweck der genauesten Bestimmung der Niveaudifferenzen der Flüssigkeiten in beiden manometrischen Röhrechen schloss ich den Manometer in eine besondere metallische Umfassung ein, welche an zwei gegenüberliegenden (entsprechenden) Seiten mit einer $\frac{1}{2}$ mm breiten Spalte versehen war. Fig. 4 stellt uns den Manometer mit Umfassung dar.

Bei solcher Einstellung des Manometers gehen die durch die Spalte a eindringenden Lichtstrahlen in der Richtung von a zu a' durch beide manometrische Röhrechen gleichzeitig hindurch. Also wenn wir jetzt die Spalte vor dem Lichte betrachten und wenn der Manometer die Flüssigkeit enthält, so sehen wir einen dunklen schmalen Streifen, wenn die Flüssigkeit in beiden Manometern in einem Niveau steht, und zwei dunkle Streifen, wenn das Niveau in den manometrischen Röhrechen verschieden hoch steht. Wenn

wir hinter den ganzen Apparat einen Spiegel stellen, so bekommen wir gleichfalls einen oder zwei dunkle Streifen, welche die helle der Spalte entsprechende Linie kreuzen.

Um die photographische Abbildung aufzufangen, habe ich den Manometer sammt Umfassung mit doppelter dunkler Kammer verbunden, wie es die Figur 5 zeigt.

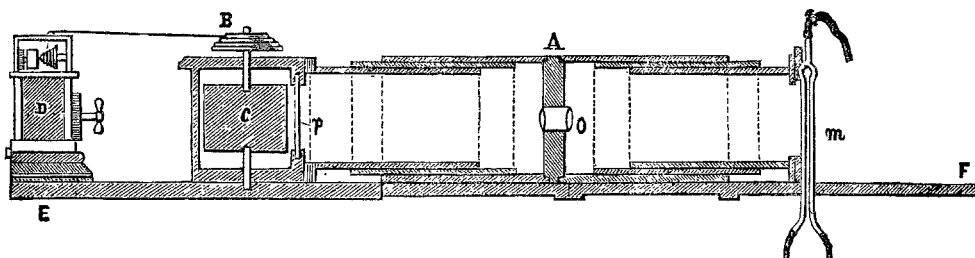


Fig. 5.

In der Wand, welche die Kammer in zwei Theile theilt, befindet sich die Linse *O*. Das Licht dringt in die Kammer ein nur durch die Spalte im manometrischen Kästchen. Jenseits der Linse bekommen wir das reelle Bild mit allen seinen Einzelheiten. Wenn wir in der Ebene des Linsenfocus ein mattes Glas einstellen und es mit einem Tuche, wie es beim Photographen gemacht wird, bedecken, so bemerken wir das reelle Bild der Spalte in Form einer hellen Linie. Wenn die beiden Oberflächen der Flüssigkeitssäulen in beiden Manometern im gleichen Niveau stehen, so wird diese Linie von einem schmalen, dunkeln Streifen quer durchschnitten. Wenn aber die Niveaus verschieden sind, so bekommen wir zwei dunkle Streifen.

Wenn aber die Entfernung der Manometer zur Objectivlinse dermaassen geregelt wird, dass die Grösse des Bildes vollkommen der Grösse des Objectes entspricht, so ist es selbstverständlich, dass in solchem Falle die Entfernung der dunkeln Streifen der wirklichen Differenz der Niveaus in beiden manometrischen Röhrchen entspricht (Fig. 3 b). Um eine dauerhafte photographische Abbildung aller kleinsten Wechsel zu erhalten, muss man an der Stelle des matten Glases eine dunkle Kammer mit dem Cylinder, welcher mit dem lichtempfindlichen Bromgelatin-Papier bedeckt ist, einstellen (Fig. 5 c). Ein solcher Cylinder kann selbstverständlich mit der beliebigen Geschwindigkeit um seine veritable

Axe rotirt werden. Der ganze Apparat muss mit grösster Sorgfalt gearbeitet werden, so dass die Lichtstrahlen ausschliesslich nur durch die Spalte in der manometrischen Umfassung eindringen können. In solcher Weise bekommen wir die photographische Abbildung von zweien Flüssigkeitsniveaus in beiden Manometern in der Gestalt von zwei weissen Linien, an den übrigen Stellen erhalten wir einen dunklen Streifen. — Die Entfernung in jedem gegebenen Augenblicke zwischen diesen beiden hellen Linien gibt uns das richtigste Maass von der wirklichen Distanz zwischen den Flüssigkeitsoberflächen in beiden Manometern. Ausserdem aber ermöglichen gewisse optische Gesetze, uns noch eine in diesem Falle sehr wichtige Erscheinung sich gelten zu lassen. Nämlich die Strecke zwischen diesen beiden hellen Streifen tritt auf dem photographischen Bilde durch ihre dunklere Färbung hervor und zwar in Folge der helleren Beleuchtung im Vergleiche zu anderen Strecken derselben Spalte. Mit Hülfe dieser Methode ist es mir gelungen, die photographische Abbildung des Werthes h zu erhalten, trotzdem dass der Werth im Zeitraume einer Secunde viel wechselt.

Es ist aber von eminenter Wichtigkeit, dass man aus diesen in solcher Weise notirten Werthen h leicht die ihnen entsprechende Stromgeschwindigkeit des Blutes berechnen kann und zwar in Folge des strengen Zusammenhanges der Grösse h mit der Stromgeschwindigkeit der Flüssigkeit im Rohre a b .

Eine ganze Reihe von Untersuchungen, welche ich mit diesem Apparat ausführte, hat mich zu der Ueberzeugung gebracht, dass wir in dieser Weise in den Stand gesetzt sind, alle, wenn auch die geringsten Schwankungen der Stromgeschwindigkeit des Blutes sehr genau zu bestimmen, so z. B. die Stromschwankungen zur Zeit einer einzigen Herzevolution, dann auch bei der Systole resp. Diastole, die Schwankungen, welche mit der Respiration im Zusammenhange stehen, dann die Schwankungen der Blutgeschwindigkeit in den Gefässen bei Aenderungen der Körperlage, die Veränderungen der Geschwindigkeit nach dem Durchschneiden verschiedener Nerven, nach der Application von Chloroform, Curare u. s. w.

Ausserdem verdient besonders hervorgehoben zu werden der Umstand, dass wir zu gleicher Zeit auf diesem photographischen Papierstreifen auch die Curven der Athmung, des Pulses, cardiographische Curven, sowie auch die Curven des Seitendruckes und manometrische Curven photographiren können.

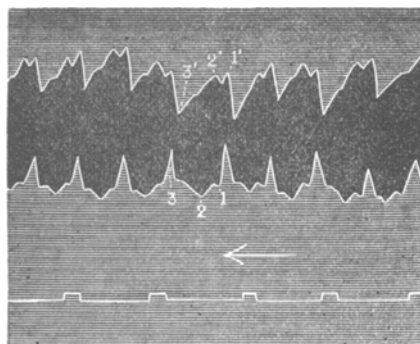


Fig. 6.

Die erhaltenen Photogramme der Niveaudifferenzen im Manometer bei Bestimmung der Schnelligkeit in A. Carotis. Die Grösse dieses Unterschiedes ist doppelt verkleinert; bei 1—1' ist die Schnelligkeit gleich 248 mm; bei 2—2' gleichfalls 248 mm; bei 3—3' = 127 mm. Die erste Schnelligkeit entspricht der Systole, die zweite der diastolischen Welle, die dritte der Diastole.

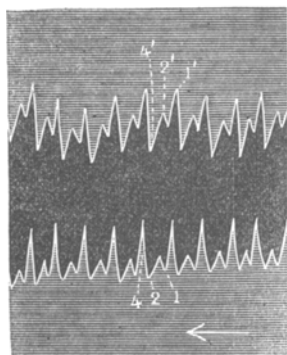


Fig. 7.

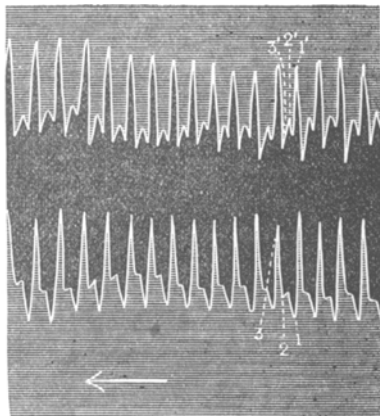


Fig. 8.

Fig. 7. Das siebente Photogramm von demselben Thiere. Gleichfalls in A. Carotis. Die Schnelligkeit ist gleich bei 1—1' 238 mm, bei 2—2' = 225, bei 3—3' = 156. — (Die Grösse der Differenzen ist hier normal.)

Fig. 8. Die von demselben Thier erhaltenen Photogramme in A. Femoralis. Die Grösse der Differenzen ist normal. Bei 1—1' ist die Schnelligkeit gleich 356 mm, bei 2—2' = 300, bei 3—3' = 177 mm.

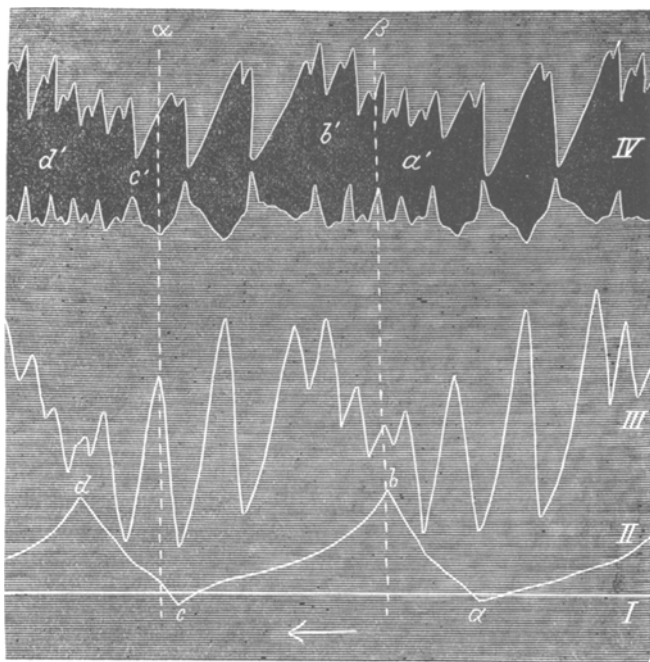


Fig. 9.

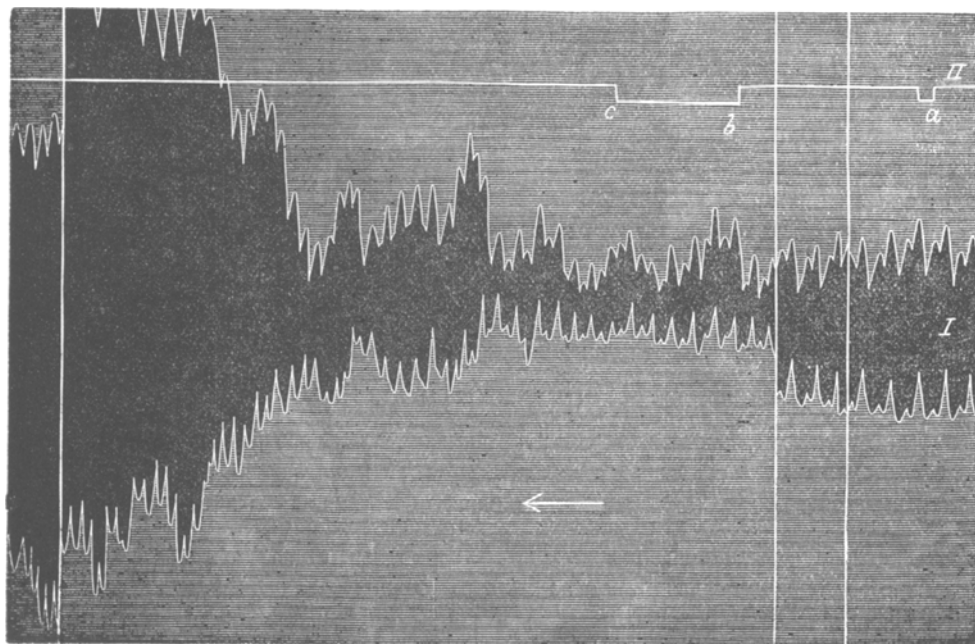


Fig. 10.

Fig. 9. In diesem Photogramme stellt I eine Linie vor, die von der Nulllinie des Manometers 70 mm entfernt ist; II die Curve des Athmens: *a b* inspiratio und *b c* expiratio; III die Curve des Blutdruckes, Maximum 212 mm der Quecksilbersäule, Minimum 152 mm; IV die Schnelligkeit, bei *a'* die mittlere Quantität des durchfließenden Blutes = 2156 cmm, bei *b'* = 2600 cmm.

Fig. 10. Die Untersuchung in A. Carotis: I die Schnelligkeit, II das Signal. Bei *a* Durchschneidung des N. Vagus auf der entgegengesetzten Seite; bei *b* auf derselben Seite. Die Nervi sympathici sind durchgeschnitten. Die Querlinien bezeichnen eine Pause von fünf Secunden. Die Schnelligkeit vor der Durchschneidung: Systole 238 mm, Diastole 177 mm. Die Schnelligkeit nach der Durchschneidung: Systole 440 mm, Diastole 425 mm.

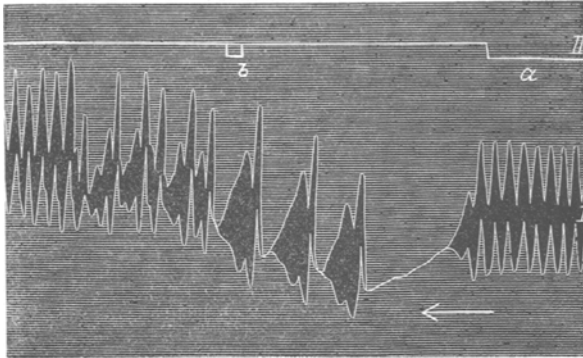


Fig. 12.

Die Photogramme der Schnelligkeit in Art. femoralis bei einem mittelst Curare vergifteten Thiere. Bei *a* fängt die Reizung des Herzens der N. vagus an, bei *b* hört die Reizung auf.

Fig. 11 siehe umstehend.

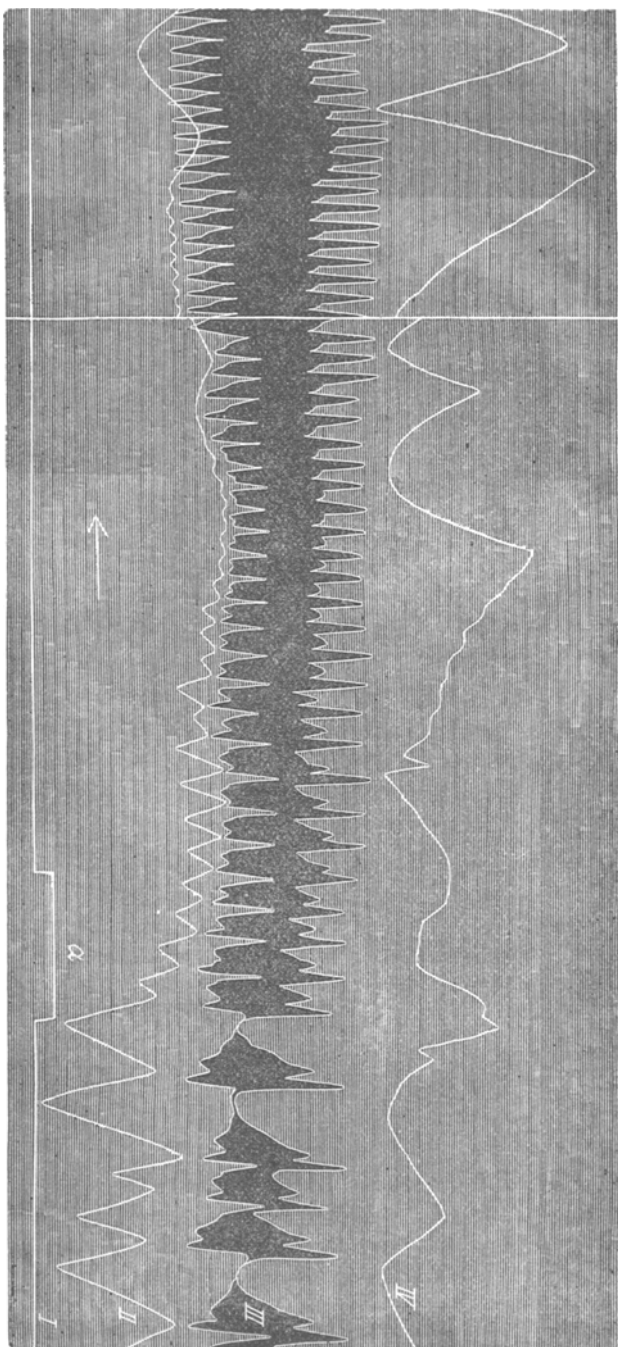


Fig. 11.

Die Untersuchung in Art. femoralis: I das Signal, dasselbe ist von der Nulllinie 55 mm weit entfernt; II die Curve des Blutdruckes in Art. brachialis, III die Schnelligkeit, IV die Curve des Atmens; *a* Durchscheidung der beiden N. vagi. Die Querschnittslinie vor Aufenthalt war 10". (Die Photogrammenhöhe = $\frac{1}{2}$), die mittlere Schnelligkeit vor der Durchscheidung der N. vagi = 287, die mittlere Schnelligkeit nach der Durchscheidung der N. vagi = 457.