

(Aus dem Institut für allgem. Pathologie der Kaiserl. Universität in Odessa.)

Über den Blutdruck in den kleinen Arterien und Venen (den Kapil- laren nahestehenden) unter normalen und ge- wissen pathologischen Verhältnissen.

Von

Privatdozent Dr. **A. Bogomolez**,
Assistenten des Instituts.

(Mit 2 Textfiguren.)

Die Verteilung des Blutdruckes in den verschiedenen Abschnitten des Gefäßsystems ist eine Frage von höchster Wichtigkeit, und zwar nicht nur vom Standpunkte der Hämodynamik, sondern auch für die ganze Physiologie. Der Blutdruck im Kapillarsystem wird als einer der wesentlichsten Faktoren betrachtet, die die regelmässige Ernährung und die regelmässige Funktion der Gewebe beeinflussen oder richtiger bedingen. Nichtsdestoweniger stützen sich wegen Ermangelung an geeigneten genauen Untersuchungsmethoden unsere Kenntnisse der Bedingungen der Blutzirkulation in der Gegend der Kapillare und der ihnen dem Durchmesser nach nahestehenden kleinen Arterien und Venen, sowie die Bestimmung des Gefälles des Blutdruckes in den verschiedenen Abschnitten der Blutbahn vom linken Ventrikel bis zum rechten Vorhof in weit höherem Grade auf eine Reihe rein aprioristischer Hypothesen als auf genaue experimentelle Erhebungen. Es nimmt infolgedessen gar nicht wunder, dass wir wegen Ermangelung an genauen Erhebungen in dieser Gegend in den theoretischen Betrachtungen der verschiedenen Autoren so vielen Widersprüchen begegnen. Ohne mich, der Kürze wegen, hier in eine detaillierte Betrachtung der einschlägigen Literatur, die in der klassischen Monographie von Tigerstedt¹⁾ und in seinem

1) Tigerstedt, Lehrbuch der Physiologie des Kreislaufs. 1893.

Aufsätze über den arteriellen Blutdruck¹⁾ eine ausgezeichnete Zusammenstellung erfahren hat, einzulassen, möchte ich mich nur auf einige kurze Notizen beschränken.

Der Versuch einer unmittelbaren Bestimmung des Blutdruckes in den kleinsten Arterien bei Bestimmung des Blutdruckes in den Kapillaren wurde gelegentlich von Ch. S. Roy und J. Graham Brown²⁾ gemacht, die unter dem Mikroskop beobachteten, bei welchem Druck auf die Schwimmhaut des Frosches eine Kollabierung der mikroskopischen kleinen Arterien eintritt. Die Autoren haben darauf hingewiesen, dass der Druck in den Arterien bei Reizung der Vasomotoren fast bis zu 0 sinken kann. Cl. Bernard³⁾ hat durch Messungen des Blutdruckes mittels des Differentialmanometers festgestellt, dass beim Pferde unter dem Einflusse einer einseitigen Durchschneidung des Halsteiles des N. sympathicus der Blutdruck in der entsprechenden A. labialis um 60 mm der Quecksilbersäule steigen kann. Analoge Experimente sind von verschiedenen Autoren in ziemlich grosser Anzahl vorgenommen worden, jedoch betreffen sie sämtlich Gefässe grösseren Kalibers.

Nicht besser steht es mit der Frage der Grösse des Blutdruckes in den Venen verschiedenen Kalibers. Zu den alten Angaben Jacobsohn's über den Blutdruck in den Venen grösseren Durchmessers, die noch heutzutage in allen grösseren Lehrbüchern der Physiologie (Nagel, Luciani u. a.) zitiert werden, ist es anscheinend bis jetzt nicht gelungen, auch nur eine einzige wesentlich neue experimentell erhobene Zahl hinzuzufügen.

Die Schwierigkeiten, welche die unmittelbare Messung des Gefälles des Blutdruckes in den verschiedenen Abschnitten des Gefässtrakts unmöglich machten, gaben den Forschern Veranlassung, die Höhe dieses Gefälles auf dem indirekten Wege von Erwägungen zu bestimmen zu suchen, die in der Hauptsache auf dem Gesetz von Poiseuille basierten. Damit im Zusammenhang wurden von einer ganzen Reihe von Autoren Schemen des Blutzirkulationssystems konstruiert. Diese schematischen Experimente ergaben gewöhnlich die sich widersprechenden Resultate.

1) Tigerstedt, Ergebnisse der Physiologie Bd. 6. 1907.

2) Ch. S. Roy and J. Graham Brown, The journal of physiology vol. 2. 1879—1880.

3) Cl. Bernard, Vorlesungen über die tierische Wärme. Übersetzt von Schuster. 1876.

So behauptete beispielsweise Fick¹⁾, dass der Hauptteil des Blutdruckes in Anbetracht des Umstandes, dass jede Verbindungsstelle der Blutbahn auch die Stelle eines besonders grossen Widerstandes sein müsse, beim Übergang des Blutes aus den Kapillaren in die Venen verbraucht werden müsse und in den Anfangsteilen der letzteren rasch bis zu einer sehr geringen Grösse sinke, die man in den der unmittelbaren Messung zugängigen Venen mittleren Kalibers vorfindet.

Gegen die Annahme Fick's, der seine Experimente an einem symmetrischen Röhrenchensystem mit sich wiederholenden trichotomischen Teilungen anstellte, wurden ernste Erwiderungen seitens Gad's²⁾ vorgebracht, nach dessen Meinung man selbst, wenn aus dem Experiment von Fick auch hervorgeht, dass in einem symmetrischen System von sich teilenden und wieder vereinigenden Röhrenchen der Widerstand sich nicht symmetrisch verteilt, doch in Betracht ziehen müsse, dass das Blutgefässsystem infolge des Umstandes, dass die Venen breiter sind als die Arterien, nicht symmetrisch ist, und dass somit, selbst wenn der Widerstand an den Verbindungsstellen grösser ist als an den Teilungsstellen, andererseits der Widerstand in den breiteren Venen geringer ist als in den schmalen Arterien.

Es dürfte kaum eine grosse Übertreibung sein, wenn man sagen würde, dass die Ansicht der Mehrzahl der Physiologen über die Verteilung des Blutdruckes in den verschiedenen Abschnitten des Gefässsystems in den Worten Du Bois-Reymond's³⁾ Ausdruck gefunden habe, wonach der „ganze Druck des Herzens in den Kapillaren verzehrt wird, und dass in der Mitte der Kapillaren deshalb der halbe Herzdruck herrschen muss“.

Jedoch hat bereits Volkmann⁴⁾ gegen die übertriebene Vorstellung vom Widerstand in den Kapillaren protestiert, und zwar in Anbetracht der geringen Schnelligkeit des Kapillarenblutstromes. In dem oben zitierten Aufsatz warnt Gad gleichfalls vor der Übertreibung derjenigen, die in den Kapillaren einen zu grossen Blutdruck anzunehmen geneigt sind.

Campbell⁵⁾ behauptet, dass der grösste Verbrauch des Blut-

1) Fick, Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 42. 1888.

2) Gad, Zentralbl. f. Physiol. Bd. 2. 1888.

3) Du Bois-Reymond. Zitiert nach Benno Lewy.

4) Volkmann, Hämodynamik. Leipzig 1850.

5) Campbell, The Lancet 1894. Journal of physiol. vol. 23. 1898.

druckes auf die Überwindung des Widerstandes in den Arterien geringen Durchmessers entfällt. Hier also und nicht in den Kapillaren findet auch das grösste Sinken des Blutdruckes statt. Nach den theoretischen Erwägungen von Lewy¹⁾ schwankt der Blutdruck in den Kapillaren innerhalb der Grenzen zwischen 16 und 33 mm der Quecksilbersäule, d. h. er ist etwas geringer als die von Kries nach der von ihm erfundenen Kompressionsmethode gewonnenen Normen. Nach Lewy findet das grösste Gefälle des Blutdruckes nicht einmal in den kleinsten Arterien, sondern in den unmittelbar vor diesen liegenden Abschnitten des arteriellen Systems statt. Lewy selbst erklärt jedoch am Schlusse seiner Arbeit, dass die Experimente, die er nach dem von ihm konstruierten Schema ausgeführt hat, für mutmassliche Annahmen zwar ausreichen, jedoch nicht als entscheidender Beweis zugunsten der von ihm gezogenen Schlüsse gelten können.

Die Notwendigkeit von direkten Blutdruckbestimmungen in den Gefässen möglichst geringen Durchmessers ist somit klar.

Bekanntlich war Poiseuille der Meinung, dass wir durch die Einführung einer Kanüle in das periphere Ende der Vene eine unmittelbare Messung des Blutdruckes in dem entsprechenden Kapillargebiet vornehmen können. In Wirklichkeit aber wird bei dieser Versuchsanordnung der Druck in der nächsten breitesten Anastomose der betreffenden Vene gemessen, der natürlich infolge des Verschlusses der Vene etwas steigen kann. Somit konnte die Methode der Einführung einer Kanüle in das periphere Ende der Vene, wie dies beispielsweise Sjawcyлло²⁾ an der A. lingualis vorgenommen hat, zuverlässige Resultate nur im Falle der sogenannten Endarterien geben, wenn deren Verschluss nicht häufig sehr starke Störung der Blutzirkulation bewirkte. Sofern das Fehlen von Anastomosen bei diesen letzteren angezweifelt werden kann, sofern erscheint auch die Methode selbst nur mit grossen Einschränkungen anwendbar. Die Einführung einer Endkanüle in eine Vene grösseren Kalibers kann Stauungserscheinungen zur Folge haben. Der Einfluss der letzteren auf die Versuchsergebnisse wird durch die Anwendung einer T-förmigen (Sprengel'schen) Kanüle beseitigt werden, jedoch

1) Benno Lewy, Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 65. 1897.

2) Sjawcyлло, Arbeiten aus dem Institut für allgemeine Pathologie der Moskauer Universität Bd. 3.

bleibt die Anwendung dieser Kanüle aus erklärlichen Gründen nur auf Gefässe grösseren Kalibers beschränkt.

Der Einfluss der Stauung kann bei der Einführung einer Endkanüle ausgeschaltet werden, wenn man die Messung des Blutdruckes in sehr kleinen anastomosenreichen Venen vornimmt, und zwar an denjenigen Stellen, wo man die Veränderungen in der Blutfüllung der Gefässe ad oculos wahrnehmen kann. Als solche Stellen kommen beispielsweise das Darmmesenterium, die Ohren der Kaninchen, namentlich der Albinos, in Betracht. Als Kanüle kann die Nadel einer Spritze verwendet werden. Um die zur Vergleichung des Druckes im Gefäss und im Manometer erforderliche Zeit abzukürzen und das Gerinnen des Blutes in der feinen Nadel zu verhüten, erwies es sich als zweckmässig, die Methode anzuwenden, der sich Landerer¹⁾ zur Bestimmung des Gewebdruckes bedient hatte. Dieselbe besteht darin, dass die Flüssigkeit in die Blutgefässe zunächst unter grösserem Drucke als der in den Gefässen herrschende so lange eingeführt wird, bis zwischen dem Blutdruck im Gefässe und dem Quecksilberdruck im Manometer Gleichgewicht eingetreten ist. Bekanntlich hat sich die Methode von Landerer für die Zwecke des Autors als nicht ganz einwandfrei erwiesen, weil sich Ödem, Absorption der Flüssigkeit und andere Momente einstellten, deren Einfluss auf die Versuchsergebnisse nicht beseitigt werden konnte. Diese Einwendungen werden jedoch hinfällig, wenn in die Gefässe eine geringe Flüssigkeitsmenge hineingegossen wird, wo der ganze Prozess der Verdrängung des Blutes aus den Gefässen des betreffenden Gebietes durch die zur Einführung gelangende Flüssigkeit und die Wiederanfüllung derselben mit Blut mit dem eintretenden Ausgleich des Blutdruckes in den Gefässen und des Quecksilberdruckes im Manometer innerhalb weniger Minuten unter den Augen des Forschers vor sich gehen.

Das Manometer (siehe umstehende Fig. 1), dessen ich mich bediente, stellt, wie aus der beigefügten Photographie zu ersehen ist, ein gewöhnliches U-förmiges Quecksilbermanometer dar, dessen einer Schenkel *B* des Glasröhrchens ungefähr zweimal so kurz war wie der andere (*A*), während das Ende desselben (*C*) horizontal abgebogen war. Auf diesem Ende sitzt ein festes Gummi-

1) Landerer, Die Gewebsspannung in ihrem Einfluss auf die örtliche Blut- und Lymphbewegung. Leipzig 1884.

rohr (*D*), welches den Manometer mit der Nadelspritze, die als Kanüle dient, verbindet. Am Gummirohr (*D*) ist eine T-förmige Glaskanüle (*E*) angebracht, die mit ihrem unpaarigen Ende mittels Gummiröhrchen mit einem an die Spritze herangehenden Ansatz (*F*) verbunden ist.

Nach Eröffnung beider Klemmen (*K* und *L*) und nach Füllung des ganzen Raumes zwischen dem Quecksilber und der Nadel durch

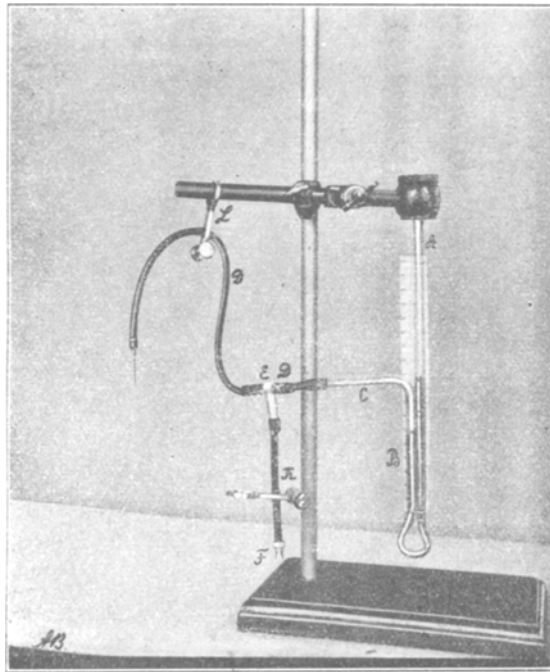


Fig. 1.

die Öffnung *F* mit 1%iger Lösung von Natrium oxalicum schliesst man die Klemme *L*, während man durch die Öffnung *F* mit der Spritze die Oxalatlösung weiter eingiesst, wodurch man den Quecksilberdruck im Manometer bis zur erforderlichen Höhe steigert. Nachdem man nun die Klemme *K* geschlossen hat, um ein Zurückfließen der Flüssigkeit resp. ein Sinken des Druckes im Manometer zu verhindern, entfernt man die Spritze.

Die hier in Rede stehenden Experimente wurden am Ohr von Kaninchen ausgeführt. Die Nadelkanüle wurde in die Arterie oder

Vene gegen den Blutstrom eingeführt, wobei man eine Nadel von solchem Durchmesser wählte, dass dieselbe das Gefäss für das Blut vollkommen undurchgängig machte. Mittels Okularmikrometers wurden die Gefässe unmittelbar vor und nach der Messung des Blutdruckes in denselben gemessen. An den Arterien wurde der Durchmesser desjenigen Gefässes gemessen, in dessen Fortsetzung (Ast) die Nadel eingeführt wurde, an den Venen der Durchmesser der weiteren Anastomose der Vene, in welche die Nadel eingestochen wurde. An den rasierten Ohren von Albinokaninchen ist es, wenn man die betreffende Stelle des Gefässes zuvor mit Tinte kennzeichnet, sehr leicht, die Messung vorzunehmen, weil sie bei durchschimmerndem Licht durchsichtig sind. Die Grösse des eventuellen Fehlers übersteigt bei gewisser Übung nicht 0,04 mm.

Führt man die Nadel in die *A. auricularis media* gegen den Blutstrom in der Nähe der Ohrwurzel, d. h. zur Abgangsstelle der *A. auricularis media* von der *A. auricularis posterior* ein, so zeigt augenscheinlich das Manometer die Höhe des Blutdruckes in dieser letzteren an. Führt man die Nadel in das peripherische Ende der *A. auricularis media* in der Richtung des Blutstromes ein, so messen wir den Blutdruck in dem breiteren der Bögen, durch welche die *A. auricularis media* sich mit den lateralen Arterien des Ohres vereinigt¹⁾. Die *A. auricularis media* ist in der Norm so schmal, dass man in dieselbe durch die Haut eine Nadel, ohne die Gefässwand zu zerreißen, nur im Augenblick ihrer Erweiterung unter dem Einflusse von gewissen Bedingungen einführen kann, beispielsweise von Hyperämie infolge von Überhitzung, welche ich erzeugte, indem ich das Versuchstier in einem speziell zu diesem Zwecke hergerichteten Brutschrank so placierte, dass der Kopf und der grösste Teil des Halses aussen blieben. Nach Beseitigung der die Erweiterung des Gefässes hervorrufenden Ursache wartete ich, ohne die Nadel herauszuziehen, bis die Arterie zu ihrem normalen, zuvor natürlich gemessenen Durchmesser zurückgekehrt ist, und dann liegt die Möglichkeit vor, den normalen Blutdruck in dieser Arterie zu messen.

Nachdem man nun in das Gefäss die Nadel des Manometers eingestochen hat, in welchem der Druck zuvor etwas höher gebracht

1) Krause, Die Anatomie des Kaninchens, 2. Aufl., 1884.

werden muss als der mutmassliche Blutdruck in dem betreffenden Gefässe, und nachdem man hierauf die Klemme *L* geöffnet hat, kann man sehen, wie rasch, fast augenblicklich, sobald die Nadel in die Arterie eingestochen ist, das entsprechende Gebiet des Ohres infolge der durch die 1% ige Natron-Oxalatlösung bewirkten Blutverdrängung erblasst. Dem parallel geht das Sinken der Quecksilbersäule im Manometer. Allmählich verlangsamt es sich, und man kann gleichzeitig die Rückkehr des Blutes in die Gefässe beobachten, die wieder durch ihre rote Farbe auf dem erblassten Hintergrund des Ohres hervortreten beginnen. In diesem Augenblick, in dem das Blut an die Nadel herantritt, hört das Sinken des Druckes im Manometer auf, da der Druck der Quecksilbersäule dem Blutdruck in den Gefässen gleich geworden ist. In denjenigen Fällen, in denen die Messung des Blutdruckes in der *A. auricularis posterior* vorgenommen wurde (die Nadel wird gegen den Blutstrom in die *A. auricularis media* möglichst in der Nähe der Wurzel eingestochen), die unter dem Einflusse der vorangegangenen Exstirpation des Ganglion cervicale superior des *N. sympathicus* der entsprechenden Seite erweitert war, wurden die Pulsschwankungen auch dem Quecksilber im Manometer übermittelt. Ich halte es für angebracht, diesen Umstand mit Nachdruck hervorzuheben, der auf die Empfindlichkeit des Apparats bezw. auf die Genauigkeit der zur Anwendung gelangten Methode hinweist. Die unmittelbare Nachprüfung desselben durch den Vergleich der Angaben meines Apparats mit den gewöhnlichen manometrischen Messungen in der *A. carotis* haben ergeben, dass man in beiden Fällen ein und dieselben Zahlen erhebt. Die Anbringung der Klemmen (*K* und *L*) in meinem Apparat gewährt die Möglichkeit, ohne die Nadel herauszunehmen, die Messungen in dem betreffenden Gefässe zu wiederholen, indem man den Druck im Manometer durch Einführung von Oxalatnatron durch die Öffnung *F* bei geschlossener Klemme *L* steigert.

An dieser Stelle möchte ich nur die Resultate der Messungen des arteriellen und venösen Druckes in den kleinen Ohrgefässen des Kaninchens unter normalen Verhältnissen, desgleichen die Veränderungen desselben unter dem Einflusse der von mir ausgeführten Exstirpation des Ganglion cervicale superior des *N. sympathicus* und der durch Überhitzung hervorgerufenen Hyperämie wiedergeben. Die experimentellen Untersuchungen zum Zwecke des Studiums der

Veränderungen des Blutdruckes bei Entzündung und unter dem Einflusse von gewissen Substanzen, die auf das Blutsystem eine spezifische Wirkung ausüben, werde ich an einer anderen Stelle veröffentlichen. Der Kürze wegen nehme ich davon Abstand, die Protokolle sämtlicher von mir ausgeführten zahlreichen Experimente in extenso wiederzugeben, um so mehr, als die Resultate der in ihrer Anordnung gleichartigen Experimente gewöhnlich identisch waren. Hier einer der ersten Versuche einer Bestimmung des Blutdruckes unter normalen Verhältnissen und die Veränderungen desselben bei durch Überhitzung erzeugter Hyperämie.

Weisses männliches Kaninchen. Körpergewicht 1210 g.

Versuchsbedingungen	Art. carotis communis		Arcus art. auric. med.		Anastomose der äusseren Randvene	
	<i>D</i> ¹⁾	<i>H</i> ¹⁾	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>D</i>	<i>H</i>
Rechte Seite. Hyperämie infolge von Überhitzung	} 1,3	133	0,4	65 {	0,25 0,4	22 10
Linke Seite. Norm	1,3	133	0,1	14	0,25	9

Der Blutdruck in einer Arterie, deren Durchmesser 0,1 mm beträgt, macht somit vor allem im ganzen 14 mm der Quecksilbersäule bei einem Druck von 133 mm der Quecksilbersäule in der A. carotis communis aus. In derselben Arterie beträgt der Blutdruck bei Vergrösserung ihres Durchmessers um das Vierfache unter dem Einflusse von Hyperämie durch Überhitzung 65 mm der Quecksilbersäule, d. h. er ist fast fünfmal so gross.

In der äusseren Randvene der rechten Seite habe ich den Druck an zwei Stellen, entsprechend ihren beiden Anastomosen von verschiedenem Durchmesser gemessen. Es ergab sich dabei, dass die Grösse des Gefälles des Blutdruckes bei Hyperämie infolge von Überhitzung denen Venen entlang relativ sehr gross ist (= 12 mm HG.), was augenscheinlich mit einer bedeutenden Vergrösserung der Schnellig-

1) Mit *D* bezeichne ich in den Tabellen den Gefässdurchmesser in Millimetern, mit *H* den Blutdruck in dem Gefäss in Millimetern der Quecksilbersäule.

keit des Blutstromes in den Venen einhergehen muss. Das Gefälle des Blutdruckes auf der Strecke von den kleinsten, der Messung zugänglichen Arterien bis zu den kleinen Venen beträgt dagegen in einigen Fällen im ganzen 5 mm Hg. Diese Zahlen müssen namentlich diejenigen im Auge behalten, die im Kapillarsystem ein grosses Hindernis für den Blutstrom zu erblicken und dem auf Rechnung der Kapillare zu setzenden Sinken des Blutdruckes grosse Werte beizumessen geneigt sind. Demgegenüber beträgt das Sinken des Blutdruckes auf der Strecke von der A. carotis communis bis zum Arcus der A. auricularis media 119 mm Hg, was 89,5 % des Druckes ausmacht, der vom Herzen entfaltet wird.

Sofern ich die mir zugängliche Literatur der Frage der Verteilung des Gefälles des Blutdruckes dem arteriellen System entlang in Betracht ziehe, gibt die Maximalzahlen für das Gefälle Hürthle¹⁾ an, nach dessen Beobachtungen der Blutdruck in den peripherischen Arterien um 25—40 % geringer sein kann als der systolische Druck im Herzen. Andere Autoren (Volkmann, Fick usw.) geben einen noch geringeren Prozentsatz für das Gefälle an. Speziell fand v. Schulten²⁾ in der Aorta des Kaninchens einen nur um 8 % höheren Druck als in den peripherischen Arterien. Wenn man die von Recklinghausen³⁾ gemachten Angaben in Erwägung zieht, so müsste man auch diese geringen Normen des Gefälles augenscheinlich als sehr hoch betrachten.

Aus der Gegenüberstellung der bei Hyperämie durch Überhitzung und der in der Norm erhobenen Zahlen geht jedoch hervor, dass die Grösse des Gefälles des Blutdruckes auf der Strecke von den kleinen Arterien bis zu den kleinen Venen unter einigen Bedingungen wesentliche Änderungen erfahren kann. So betrug dasselbe in unserem Falle bei Hyperämie durch Überhitzung 43 mm Hg, d. h. es übertraf das normale Gefälle um das Neunfache. Dies weist darauf hin, dass die unter dem Einflusse der Überhitzung auftretende Erweiterung der Arterien mit einer entsprechenden Erweiterung der Kapillare nicht einhergeht. Augenscheinlich gehen die Veränderungen

1) Hürthle, Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 47. 1890.

2) v. Schulten, Arch. f. klin. Chirurgie Bd. 32. 1885.

3) v. Recklinghausen, Arch. f. experim. Pathol. u. Pharm. Bd. 55. 1906.

des Lumens in diesen beiden Gebieten des Gefässsystems einander nicht parallel — eine Tatsache, die durchaus nicht zugunsten der Anhänger der Ansicht spricht, nach der der Einfluss der Vasomotoren sich auch auf das Kapillarsystem der Blutzirkulation erstreckt (Steinach, Kahn usw.).

Weisses männliches Kaninchen, Körpergewicht 1170 g. Exstirpation des rechten Ganglion cervicale superior nervi sympathici dextri. Eine halbe Stunde nach der Exstirpation werden Messungen des Blutdrucks vorgenommen.

Versuchsbedingungen	Art. carotis. communis		Art. auricul. post		Arcus art. auric. med.		Anastomose d. äusseren Randvene		V. jugul. externa	
	D	H	D	H	D	H	D	H	D	H
Rechts. Exstirpation d. Gangl. cervic. sup. n. sympathici'	1,2	126	0,8	62	0,2	22	0,25	12	1,9	0
Links. Hyperämie durch Überhitzung	1,2	126	0,7	58	0,25	30	0,2	9	2,1	0
Norm	1,2	126	0,5	32	0,1	10	0,2	8	2,1	0

Auch in diesem Experiment entspricht die Verteilung des Blutdruckes den verschiedenen Abschnitten des Gefässsystems entlang unter normalen Bedingungen voll und ganz den Erhebungen des vorangehenden. Das Gefälle des Blutdruckes auf der Strecke des Kapillarsystems (von den kleinsten, der Messung zugänglichen Arterien bis zu den initialen Venen) wird hier mit einem noch geringeren Wert berechnet, indem es im ganzen 2 mm der Quecksilbersäule erreicht. Die Grösse dieses Gefälles schwankt in unseren Experimenten in den Grenzen von 2—43 mm Hg. Augenscheinlich kann die Grösse dieses Gefälles des Blutdruckes bei der Strömung des Blutes durch die Kapillare in weiten Grenzen schwanken, und zwar von Grössen, die 0 mm Hg nahe sind (wenn die Schnelligkeit des Blutstromes in dem betreffenden Kapillargebiet fast 0 beträgt) bis zu relativ sehr grossen Zahlen. Ich halte es jedoch für notwendig, mit Nachdruck darauf hinzuweisen, dass die Grösse des Gefälles auf der Strecke des Kapillarsystems des Kaninchenohres unter normalen Verhältnissen im allgemeinen sehr gering ist.

Man hätte annehmen können, dass hierbei rein lokale Momente in Betracht kommen, beispielsweise dass die geringste Blutzirkulation ausreicht, um die Gewebe des Kaninchenohres ausreichend zu ernähren. Diese Erklärung erweist sich jedoch schon beim ersten Blick auf die Verteilung des Gefälles des Blutdruckes den verschiedenen Abschnitten des arteriellen Systems entlang als vollkommen unzureichend. Auf den Durchgang des Blutes von den initialen Abschnitten der *A. carotis communis* und weiter durch die *A. auricularis posterior* bis zur Abgangsstelle der *A. auricularis media* wird normalerweise ein Druck von 94 mm Hg verausgabt, was mehr als 74,6 % des Blutdruckes in der *A. carotis* ausmacht. Der Durchmesser der *A. auricularis posterior* erweist sich hierbei als 2,5 mal geringer als der Durchmesser der *A. carotis communis*.

Auf den Durchgang des Blutes von der *A. auricularis posterior* bis zum Arcus der *A. auricularis media* wird im ganzen ein Druck von 22 mm Hg verausgabt, was weniger als 17,5 % des Anfangsdruckes ausmacht. Der Durchmesser des Arcus der *A. auricularis media* ist hierbei fünfmal so gering wie derjenige der *A. auricularis posterior*.

Der Hauptteil der Arbeit des Herzens wird somit auf die Überwindung des Widerstandes in den Arterien bei weitem nicht des geringsten Durchmessers (auf der beigefügten Kurve auf die Strecke von *A* bis *B*) verwendet.

Auf der beigefügten schematischen Kurventabelle habe ich durch eine ununterbrochene schwarze Linie die Verteilung des Gefälles des Blutdruckes den verschiedenen Abschnitten des Gefässtraktus entlang auf Grund der von mir gemachten experimentellen Erhebungen mittelst unmittelbarer Messung des Blutdruckes unter normalen Verhältnissen dargestellt. Die punktierte Linie stellt die Verteilung des Druckes den verschiedenen Abschnitten des Gefässsystems des Kaninchenohres entlang bei Exstirpation des entsprechenden Ganglion cervicale superior des *N. sympathicus* dar.

Auf der Abszissenlinie entspricht die Entfernung *A—B* der Entfernung zwischen der Einstichstelle der Nadel in der *A. carotis communis* und der Abgangsstelle der *A. auricularis media* von der *A. auricularis posterior*; der Abstand von *B* bis *C* entspricht der Entfernung vom Beginn der äusseren lateralen Arterie des Ohres bis zum Ende des Arcus der *A. auricularis media*; von *C—D* laufen die

Kapillare; von $D-E$ die Venen bis zur Einstichstelle der Nadel in die V. jugularis externa. Die Länge der Abszissenlinie von $A-C$ und von $D-E$ ist $2\frac{1}{2}$ mal so gering wie die durchschnittliche Länge der entsprechenden Abschnitte des Gefäßsystems eines kleinen Kaninchens von 1200–1300 g Körpergewicht. Der Abstand von $C-D$ übertrifft natürlich um das Vielfache die wahre Länge des Kapillarnetzes. Eine kleine Teilung der Ordinate entspricht 2 mm Hg.

Somit ist die Verteilung des Blutdruckes den verschiedenen Abschnitten des Gefäßsystems entlang, dessen graphische Darstellung die soeben wiedergegebene Kurve gibt, nach unseren Erhebungen

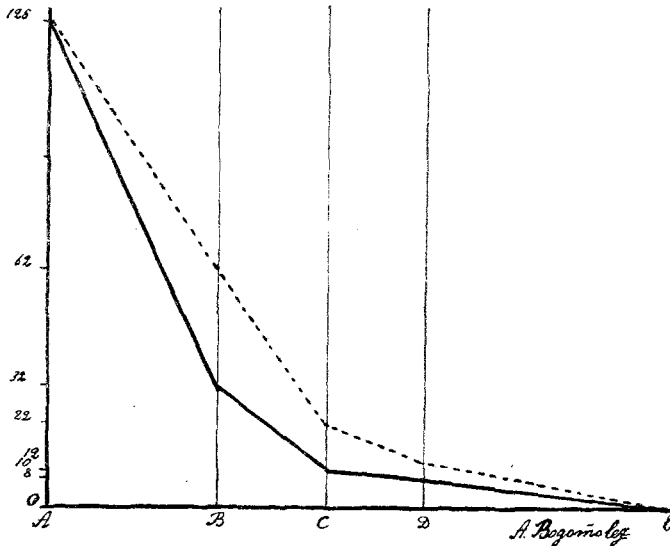


Fig. 2.

im Vergleich zu den, wie es scheint, allgemein akzeptierten Vorstellungen (conf. beispielsweise Fick, l. c.) denselben diametral entgegengesetzt.

Die Resultate meiner Experimente stimmen somit mit den theoretischen Vorstellungen von Campbell, Gad und anderen Autoren vollkommen überein, die nicht geneigt sind, dem Widerstand in den Kapillaren eine übermäßige Bedeutung für das Gefälle des Blutdruckes beizumessen.

Wenn wir zu dem von mir zuletzt wiedergegebenen Experiment zurückkehren, so sehen wir, dass der Effekt der Hyperämie sowohl infolge von Überhitzung des Tieres als auch infolge der Exstirpation

des Ganglion cervicale superior des N. sympathicus ein und derselbe ist. Mit der Erweiterung der dem Herzen näher liegenden Gefässe verschiebt sich das grösste Gefälle des Blutdruckes in der Richtung zur Peripherie. Dem entsprechend steigt auch die Grösse des Gefalles des Blutdruckes bei der Strömung des Blutes durch das Kapillarsystem. Besonders beachtenswert ist dabei der Umstand, dass bei maximaler Hyperämie das Gefälle des Blutdruckes vom Herzen bis zum Arcus der A. auricularis media des Kaninchens, wie aus der Punktierlinie zu sehen ist, augenscheinlich fast vollkommen regelmässig verläuft.

Zusammenfassung.

Auf Grund sämtlicher vorstehenden Ausführungen glaube ich folgende Thesen aufstellen zu können:

1. Unter normalen Verhältnissen wird der Hauptteil des Blutdruckes auf die Überwindung des Widerstandes der Arterien bei weitem nicht des geringsten Kalibers verbraucht. Auf dieses Gebiet kommt folglich auch das grösste Gefälle des Blutdruckes, welches bisweilen 90 % des ursprünglichen Blutdruckes ausmacht.

2. Das Gefälle des Blutdruckes auf dem Wege des Blutes durch die Kapillare schwankt innerhalb weiter Grenzen je nach der veränderlichen Grösse des Widerstandes in höher liegenden Abschnitten des Gefässsystems (in meinen Experimenten innerhalb der Grenzen von 2 bis etwas weniger als 43 mm Hg). Unter normalen Verhältnissen der Zirkulation des Blutes ist dies Gefälle jedoch sehr gering und beträgt für die Kapillare des Kaninchenohres im Durchschnitt ca. 4 mm Hg.

3. Bei der Bewertung der Bedeutung des Filtrationsdruckes, dem eine so wichtige Rolle in den Prozessen der Gewebsernährung, Lymphbildung usw. beigemessen wird, muss man die ausserordentliche Veränderlichkeit seiner Grösse im Auge behalten.

4. Die Zunahme des Gefalles des Blutdruckes auf dem Wege des Blutes durch das Kapillarsystem sowohl bei Hyperämie durch Überhitzung des Tieres sowie auch bei Hyperämie infolge von Exstirpation des Ganglion cervicale superior des N. sympathicus weist auf das Fehlen eines Parallelismus bei der Erweiterung des arteriellen und kapillaren Bettes hin.

5. Der Druck in den kleinen Venen stellt eine veränderliche Grösse dar, deren Grenzen für die Ohrvenen des Kaninchens von 0,2—0,3 mm im Durchmesser unter verschiedenen Versuchsbedingungen mit 4—23 mm Hg festgestellt werden konnten.

Zum Schlusse meiner Arbeit ist es mir eine angenehme Pflicht, dem hochverehrten Herrn Prof. W. Woronin für die liebenswürdige Hilfe, die er mir bei der Ausführung dieser Arbeit hat zuteil werden lassen, auch an dieser Stelle meinen aufrichtigsten Dank zu sagen.
