

XVII.

Die Entstehung des Collateralkreislaufs.

Theil II. Der Rückfluss des Blutes aus ischämischen Körpertheilen.

(Aus der Königlichen chirurgischen Klinik zu Kiel.)

Von Prof. Dr. August Bier.

(Mit 18 Textabbildungen.)

Im ersten Theile dieser Arbeit¹⁾ habe ich auseinander gesetzt, dass die Widerstandsverminderung in den kleinsten Adern, wie sie vorübergehende Anämie äusserer Körpertheile bedingt, einen vermehrten Zufluss von arteriellem Blute zu diesen Adern hervorbringt. Ich habe gezeigt, dass diese Hyperämie selbst dann noch eintritt, wenn die arteriellen Zuleitungsbahnen zu diesem Gebiet nur sehr gering sind. Die Kraft, welche das arterielle Blut mit so gewaltiger Schnelligkeit selbst durch spärliche Arterien dem anämisch gewesenen Gebiete zuführt, ist der Druckunterschied in den Gefässen, welcher zwischen den anämisch gewesenen und den übrigen Körpertheilen besteht.

Es ist klar, dass die erhöhte Blutzufuhr aber bald ihre Grenzen finden muss, wenn die Zuleitungsröhren allzu beschränkt sind. Mag dann mit noch so reissender Geschwindigkeit das Blut durch die noch offenen Bahnen in das viel zu weite, blutleere Gefässgebiet einströmen, so wird sich dies nur ganz allmählich füllen können, und es würde nicht eine Verschnellerung, sondern eine Verlangsamung des Blutstroms in diesem Körpertheile die Folge sein. Denken wir uns nun, wie das gewöhnlich geschieht, die Widerstandsverminderung gegen arterielles Blut als Erschlaffung und Erweiterung der Gefässe, so müsste unter den geschilderten Umständen eine gewaltige venöse Hyperämie eintreten.

¹⁾ Dieses Archiv. Bd. 147.

So lägen — immer mechanisch-hydraulisch gedacht — die Verhältnisse, wenn der anämisch gewesene Körpertheil ungenügenden Zufluss aus Arterien erhielte. Die weitere Ueberlegung wird zeigen, dass sie keineswegs anders liegen würden, wenn der arterielle Zufluss vollständig versiegt ist. Es hat eine Zeit gegeben, wo man für die Erklärung der blutigen Anschoppung und der hämorrhagischen Infarkte innerer Körpertheile, welche nach Arteriensperrungen auftraten, grosses Gewicht darauf legte, dass diese Eingeweide klappenlose Venen haben. Nur diese sollten den Rückfluss venösen Blutes gestatten, während die mit Klappen versehenen Venen äusserer Körpertheile denselben verhindern sollten. Diese Vorstellung ist, ganz abgesehen davon, dass die Venenklappen unter den hier in Betracht kommenden Verhältnissen, wie ich noch zeigen werde, keineswegs dicht halten, nur bei oberflächlicher Betrachtung möglich. Denn nur die grossen Venen haben Klappen, die kleinen aber nicht. Trotz der Klappen haben wir also vom Scheitel bis zur Sohle ein vielfach sich verzweigendes, offenes Netz der kleinen Venen. Nun denken wir uns einmal einen Unterschenkel ohne jeden arteriellen Zufluss in eine halbwegs abhängige Lage gebracht, und seine Gefässe durch die Anämie gewaltig erschlafft, so müsste nach hydraulischen Gesetzen das Venenblut schnell nach dem tiefsten Punkte, wo ausserdem der geringste Widerstand herrscht, hinströmen, die Capillaren füllen und Blutstockung und venöse Hyperämie hervorrufen.

Selbst aber, wenn wir die Venen ganz aus dem Spiele lassen, so müsste nach einfachen hydraulischen Gesetzen das Blut aus den Capillaren anderer Körpertheile in die Adern des anämischen Gebietes, als dem Ort des geringsten Widerstandes, hineinlaufen, denn alle Capillaren äusserer Körpertheile bilden ein zusammenhängendes Netz.

Das ist das Ergebniss, wie es sich theoretisch ergibt, wenn man sich die Widerstandsverminderung in den anämisch gewesenen Gefässen gegen arterielles Blut als Erschlaffung derselben vorstellt. Im ganzen übrigen Körper höherer Druck als im anämischen Gebiete, die Adern desselben in offener Verbindung mit den übrigen, das müsste mit mathematischer Sicherheit ein sofortiges Hinströmen des Blutes nach diesem Bezirke

zur Folge haben. Da die Triebkraft nicht ausreicht oder ganz fehlt, so müsste dieses Blut entweder mit ausserordentlicher Langsamkeit sich bewegen, oder ganz stillstehen, also venös werden. Diese Blutstockung würde aber die sonstigen Folgen dauernder venöser Stauung nach sich ziehen, es würde sich Oedem bilden, und schliesslich würden die rothen Blutkörperchen aus den Gefässen austreten.

In der That stimmt diese theoretische Betrachtung wunderbar mit den Beobachtungen überein, welche man an Eingeweiden macht. Unterbindet man eine Nierenarterie, so dauert es nur eine geringe Zeit, bis die Niere anfängt, sich mit stockendem Blute zu füllen, sich blau zu färben und anzuschwellen.

Bindet man das Mesenterium eines Dünndarmes, einerlei ob unter physiologischer Kochsalzlösung oder in freier Luft, ab, so tritt sehr bald eine venöse Hyperämie ein. Nur so weit interessirt uns vorläufig die Sache. Ueber die weiteren Veränderungen des venösen Blutes, insbesondere über die Infarktbildung, werde ich später sprechen.

Ganz anders aber steht es mit äusseren Körpertheilen. Zwar sagt man: die Anämie erweitert und erschlaft die kleinen Gefässe ganz gewaltig, und ich zeigte im ersten Theile dieser Arbeit, dass dies bei inneren Körpertheilen lange nicht im gleichen Maasse der Fall ist. Die rein hydraulische Betrachtung sollte also annehmen, dass diese noch weit mehr als innere Körpertheile mit Blut volllaufen und sich blau färben sollten. Die Erfahrung aber zeigt das reine Gegentheil. Sie bleiben blass, und wehe, wenn sich in ihnen die Merkmale venöser Stauung einstellen, wenn sie blau und ödematös werden! Das ist das Zeichen des herannahenden Todes für diese Theile.

Wir sind also, wie so häufig in unseren Beobachtungen, wieder an einem Punkte angelangt, wo mechanische Denkweise und Erfahrung in schroffem Gegensatze zu einander stehen. Jene fordert mit logischer Nothwendigkeit als Folge ungenügenden Zuflusses und ungenügender Triebkraft eine ungeheuere Stromverlangsamung und venöse Hyperämie, diese zeigt das Gegentheil.

Es ist also nicht richtig, die Blässe äusserer Körpertheile nach arteriellen Kreislaufstörungen als etwas Selbstverständ-

liches hinzunehmen, während man sich abmüht, die Anschwellung, die Anschoppung des Blutes und den unter gewissen Umständen entstehenden hämorrhagischen Infarkt, welche innere Körpertheile unter gleichen Verhältnissen zeigen, zu erklären. Denn dieses stimmt mit den physikalischen Voraussetzungen, jenes nicht.

Wir wollen versuchen, ein Urtheil darüber zu gewinnen, weshalb äussere Körpertheile nach schweren arteriellen Sperrungen blass bleiben, und nicht sofort voll von venösem Blute laufen. Zunächst will ich hier eine Reihe von Thierversuchen beschreiben, bei welchen für unseren Zweck allerdings nicht gerade sehr viel herausgekommen ist, und welche nicht überall ganz eindeutig sind. Immerhin geben sie ein anschauliches Bild über das Schicksal gestauten Blutes in den einzelnen Körpertheilen.

Für unseren eigentlichen Zweck dagegen sind die später zu erwähnenden einfachen Beobachtungen, welche ich bei lebenden Menschen und an Menschen- und Thierleichen zufällig oder absichtlich angestellt habe, von viel grösserer Bedeutung.

Versuche an äusseren Körpertheilen.

Mit Rücksicht auf die Technik der Versuche habe ich Folgendes vorzuschicken: Bei den folgenden Versuchen ist es nothwendig, dass ein Glied durch eine einzige Arterie Blut erhält, alle anderen Zuflüsse müssen gesperrt sein. Ferner muss die Hauptvene zum Zweck von Druckmessungen frei zugänglich sein. Deshalb müssen Arteria und Vena femoralis am Hinterbeine eines Versuchsthieres in grösserer Ausdehnung hoch am Oberschenkel vollkommen freigelegt werden. Bei den Versuchen werden beide Adern, unmittelbar am Austritt aus dem Bauch beginnend, weithin aus ihrer Scheide sauber herauspräparirt. Jeder Nebenast wird freigelegt, doppelt unterbunden und zwischen den Unterbindungen durchschnitten. Diese Präparation muss mit äusserster Kleinlichkeit geschehen, denn nur bei sehr sauberer Ausführung gelingen die Versuche. Man darf sich nicht die Mühe verdriessen lassen, auch den kleinsten Nebenast vor der Durchschneidung doppelt zu unterbinden, und jede Spur der Bindegewebsscheide von der Ader zu entfernen. Ist dies geschehen, so wird, je nach dem Zweck des Versuches, entweder nur unter der Arterie, oder unter Arterie und Vene hindurch das übrige Bein abgebunden, so dass kein anderweitiger Zu- oder Abfluss von Blut in ihm möglich ist. Dies ist, wenigstens bei den vor Allem brauchbaren grösseren und musculösen Thieren, schwieriger, als man denken sollte. Sehr leicht ist ein Glied in der Weise, wie ich es im ersten Theil der Arbeit geschildert

habe, mit einem Gummischlauche abzubinden. Aber es ist sehr schwierig und unzumuthbar, diesen unter den Gefässen hindurch anzulegen. Das Bein eines muskulösen Hundes aber mit einem Bindfaden, Tau oder Draht für längere Zeit mit Sicherheit abzubinden, ist kaum möglich. Ich habe die haltbarsten Fäden und ausgeglühten Messingdraht benutzt und mit grosser Kraft gebunden oder bis zum Zerspringen gedreht. Eine Zeit lang halten sie das arterielle Blut ab, bald aber öffnen sich trotzdem einige arterielle Nebenäste und führen dem Gliede weiter Blut zu. Will man einfach und sicher unter den Gefässen hindurch ein Glied gegen jede sonstige Blutz- und -abfuhr schliessen und dabei die Hauptgefässe nicht abquetschen oder anderweitig schädigen, so muss man dazu die sogenannten Ekraseure nehmen, wie sie in der Chirurgie der Vorzeit angewandt wurden, um Körperteile an Menschen auf stumpfem Wege abzuquetschen. Die Kette eines Chassaignac'schen, oder der geglähten Messingdraht eines Drahtekraseurs lassen sich mit grosser Leichtigkeit unter den freipräparirten Gefässen eines Gliedes durchführen, ohne diese abzuklemmen oder sonst zu schädigen; sie nehmen wenig Platz fort und sind vermöge besonderer Einrichtungen mit jeder beliebigen Gewalt zuzuziehen, so dass sie einen zweifellosen Abschluss des Gliedes vom sonstigen Blutstrom des Körpers hervorbringen.

Da, wie wir sehen werden, bei unseren Versuchen der Druck in den Venen schnell abnimmt, so wird stets ein Theil der das Manometer über dem Quecksilber füllenden Flüssigkeit in die Vene hineinlaufen. Alle diese Flüssigkeiten, welche den Zweck haben, die Blutgerinnung zu verhüten, fliessen leichter durch die unversehrten Venenwände durch, als die flüssigen Bestandtheile des Blutes, und ändern auch wahrscheinlich, wenn sie in die kleinen Adern hineingelangen, die Lebenseigenschaften derselben. Deshalb sind die Ergebnisse der Versuche mit der nöthigen Vorsicht zu verwerthen.

Von solchen die Blutgerinnung hindernden Flüssigkeiten habe ich benutzt: 1) gesättigte Lösung von Soda, 2) gesättigte Lösung von schwefelsaurer Magnesia (die beiden bekannten für solche Versuche üblichen Mittel), 3) Auszug von Blutegelköpfen in Verbindung mit physiologischer Kochsalzlösung, in der Weise zubereitet, wie ihn Landois zur Verhinderung der Blutgerinnung empfohlen hat. Ich verwandte 50 Blutegelköpfe auf 110 ccm physiologische Kochsalzlösung.

Wurde diese Flüssigkeit, welche ich der Kürze halber „Blutegelsaft“ nennen will, gebraucht, so habe ich die in die Ader eingeführten Glasröhren inwendig gefettet, weil sonst doch leicht Gerinnung eintrat.

Um Bewegungen des Thieres auszuschliessen, welche bekanntlich den Venendruck bedeutend in die Höhe treiben, befanden sich sämmtliche Versuchsthiere in tiefer Aethernarkose.

Selbstverständlich sind alle Versuche, bei welchen die geringste Gerinnung in der Manometerleitung oder im Gefässe sich nachweisen liess, vollkommen unbrauchbar.

Die Versuche sind, wenn es nicht ausdrücklich anders bemerkt wird, angestellt mit einem Ludwig'schen Quecksilbermanometer, dessen Schreib-

vorrichtung auf mit gleichmässiger Geschwindigkeit sich bewegendes endloses Papier den jeweiligen Druck aufschreibt.

Versuch 54. Am Oberschenkel eines kleinen Hundes präparire ich in der beschriebenen Weise Arteria und Vena femoralis frei. Unter der Arterie schiebe ich den Draht eines Ekraseurs durch und schnüre das Bein sicher ab. Vorher ist die Arterie durch eine Klemme geschlossen. Die Vene wird mit der mit Sodalösung gefüllten Leitung des Quecksilbermanometers in Verbindung gebracht, nachdem dieses vorher auf die vermuthete Höhe des Venendrucks in die Höhe getrieben war, um das Hineingelangen von Blut in das Bleirohr des Manometers zu verhindern. Ich löse die Klemme von der Arterie und lasse letztere 3 Minuten lang Blut in das Bein führen, welches sich mit venösem Blute füllt und eine blaue Farbe annimmt. Ich öffne den Hahn des Manometers. Die Glasfeder schreibt einen Druck von 108—110 mm auf. Die Curve zeigt die Pulsationen, welche bekanntlich bei vollkommenem Abschlusse des venösen Abflusses und Erhaltung des arteriellen Zuflusses in der Vene entstehen. Jetzt schliesse ich bei einem Druck von 110 mm die Arterie durch eine Klemme. Der Druck fällt zuerst schnell, dann langsamer, wie folgende Zahlen zeigen:

Ursprünglicher Druck	110 mm,
nach 1 Minute	55 -
- 2 Minuten	42 -
- 10 -	27 -
- 20 -	17,5 -
- 30 -	16 -

Wir sehen also, trotzdem anscheinend der venöse Abfluss vollständig aufgehoben ist, zuerst schnell, dann langsam eine Druckverminderung auftreten, und zwar in 30 Minuten von 110 auf 16 mm. Das Aussehen des dunkel hyperämischen Gliedes hat sich dabei nicht geändert. Wo ist die Flüssigkeit geblieben? Haben sich die Gefässe erweitert, haben ihre Wände Flüssigkeit durchgelassen, hat der einzige Theil, welcher mit dem übrigen Körper noch, wenn auch spärliche, Gefässverbindungen hat, der Knochen, das Blut zurückgeführt, oder ist mehreres hiervon geschehen? Dies bedarf der Beantwortung.

Versuch 55. Ich treffe dieselbe Versuchsanordnung, wie im vorigen Falle. Vorher aber habe ich den Oberschenkelknochen etwa da, wo der abschnürende Ekraseur liegen soll, von einer kleinen Wunde aus durchsägt. Der entferntere Theil des Knochens wird aus der Wunde herausgedrängt und weit vom Periost entblösst. Etwa 1 cm unterhalb des Knochenrandes säge ich eine flache Rille in den Knochen, breite einen wasserdichten Stoff über das Knochenende und befestige ihn vermittelst eines geglühten Messingdrahtes in der Rille des Knochens. Dieser ist jetzt wasserdicht geschlossen.

Er wird zurückgebracht, die äussere Wunde wird mit Verbandmull ausgestopft und darüber vernäht. Jetzt fällt der Versuch anders aus. Als Beispiel gebe ich die vergleichenden Druckhöhen an beiden Beinen desselben Hundes, wo auf der einen Seite der Knochen offen, auf der anderen geschlossen war.

Bei Beginn des Versuches	Knochen offen	Knochen geschlossen
beträgt der Druck	111 mm	101 mm
nach 2 Minuten	44 -	86 -
- 5 -	23 -	81 -
- 10 -	27 -	77 -

Der Druckunterschied beträgt also bei offenem Knochen in 10 Minuten 84 mm, bei geschlossenem Knochen in derselben Zeit 24 mm.

Daraus folgt die bemerkenswerthe Thatsache, dass bei einer solchen schweren venösen Stauung, wie sie in der Natur wohl nur sehr selten vorkommt, ein Theil des gestauten venösen Blutes sich einen Weg durch den Knochen sucht, um in den Körper zurückzuffliessen.

Den Unterschied bei geschlossenem und offenem Knochen habe ich in zahlreichen Versuchen nie vermisst. Allerdings habe ich ihn in der Regel nicht so hoch gefunden, wie im vorigen Versuche. Als zweites Beispiel, welches gleichzeitig zeigt, dass auch bei offenem Knochen zwischen verschiedenen Thieren Unterschiede bestehen, gebe ich den folgenden Versuch. Er stellt den geringsten Druckunterschied dar, welchen ich bei geschlossenem und offenem Knochen und das langsamste Sinken der Curve, welches ich bei offenem Knochen gefunden habe.

Versuch 56.

Bei Beginn des Versuches	Knochen offen	Knochen geschlossen
beträgt der Druck	114 mm	105 mm
nach 2 Minuten	83 -	90 -
- 10 -	46 -	65 -

Worin dieses verschiedene Verhalten liegt, weiss ich nicht. Es hängt vielleicht ab von der Gefässanordnung im Knochen, von der Menge oder der Beschaffenheit des venösen Blutes, welches sich im Gliede befand.

Auch bei geschlossenem Knochen sehen wir einen ziemlich schnellen Druckverlust eintreten. Da bekanntlich die venöse Stauung zu Oedemen führt, so liegt die Vermuthung nahe, dass

der Druckverlust durch Fortlaufen des Blutwassers durch die Gefässwände entstanden ist. Allerdings ist das Wasser nicht sofort als Oedem in den Geweben nachzuweisen, denn bei erhaltenen arteriellem Zuflusse und völlig aufgehobenem Abflusse blieb noch nach 6 Minuten der Fingerdruck am Bein eines Hundes nicht stehen. Jedes nachweisbare Oedem erfordert eben einen ziemlich hohen Wassergehalt der Gewebe. In wie hohem Grade aber und mit welcher Hartnäckigkeit Flüssigkeit durch die Gefässwände hindurchläuft, das sehen wir, wenn wir statt Blut eine leichter durchtretende Flüssigkeit, am besten physiologische Kochsalzlösung, nehmen. Zwar passt der Versuch ganz und gar nicht für den von lebendigem Blute durchströmten Körper, aber er giebt doch einen guten Begriff von den hier in Betracht kommenden physikalischen Verhältnissen.

Versuch 57. Unter der freipräparirten Vena und Arteria femoralis eines grossen Hundes wird ein Drahtekraseur durchgeschoben, und das Bein fest abgeklemmt. Die Vene wird, nachdem das Bein so lange mit physiologischer Kochsalzlösung von der Arterie her durchspült ist, bis aus der Vene die Flüssigkeit klar abläuft, mit dem Quecksilbermanometer in Verbindung gebracht, dessen Leitung mit physiologischer Kochsalzlösung gefüllt ist. Vermittelst einer Spritze spritze ich 150 ccm physiologische Kochsalzlösung so langsam in die Arterie, dass der Druck im Manometer 190 mm nicht übersteigt. Sobald die Einspritzung vollendet ist, fällt das Manometer zuerst jäb, dann langsamer. Jedesmal wenn es auf 60—70 mm gefallen ist, wiederhole ich die Einspritzung, und stets tritt das schnelle Sinken des Druckes wieder ein. In den ersten 10 Minuten werden auf diese Weise 450 ccm Kochsalzlösung eingespritzt. Jetzt habe ich schon eine Pause von 4 Minuten nöthig, bis der Druck von 188 auf 66 mm gefallen ist. Das Bein ist sehr stark ödematös; der Fingerdruck hinterlässt eine tiefe Delle. Nach Ablauf der 4 Minuten beginne ich wieder mit Einspritzen und führe im Laufe einer weiteren halben Stunde noch 550 ccm, also im Ganzen in 40 Minuten 1 Liter Kochsalzlösung ein. Nach jeder neuen Einspritzung sinkt der Druck langsamer. Nach der letzten Einspritzung muss ich 10 Minuten warten, bis der Druck von 190 auf 54 mm gesunken ist. Er würde noch weiter gesunken sein, wenn ich den Versuch länger fortgesetzt hätte.

Nachdem 800 ccm Kochsalzlösung eingespritzt sind, fliesst in langsamer Tropfenfolge Kochsalzlösung aus der ödematösen Wunde ab. Aber der Verlust von Flüssigkeit ist höchst unbedeutend. Das ganze Glied ist allmählich angeschwollen, nach Beendigung des Versuches ist es unförmlich dick. An gleichen Stellen dicht oberhalb des Knies gemessen beträgt der Umfang des gebrauchten Beines 45 cm, der des nicht gebrauchten 32 cm. Während Anfangs sich leicht der Finger eindrücken liess, ist zum Schluss das Oedem so

prall geworden, dass nur mit Mühe eine Grube zu drücken ist, welche sich schnell wieder ausfüllt.

Man sieht aus diesem Versuche, mit welcher Hartnäckigkeit die Gefässwände bei aufgehobenem Abflusse Flüssigkeit in die Gewebe sickern lassen, und ferner, einen wie merkwürdig geringen Einfluss die Spannung der Gewebe auf den Druck in den Gefässen ausübt. Derselbe sinkt immer wieder, und wenn durch das Oedem die Gewebe auch noch so prall gespannt sind.

Mit Rücksicht auf die Beurtheilung der Druckcurven ist noch zu untersuchen: 1) Wie verhalten sich die verschiedenen die Manometerleitung füllenden Mittel beim Durchlaufen durch die Gefässwände? 2) Durch die Wände welcher Gefässe läuft die Flüssigkeit besonders ab, nur durch die der kleineren, oder auch durch die der grösseren Gefässe?

Versuch 58. Ich fülle die Leitung eines Quecksilbermanometers mit physiologischer Kochsalzlösung, treibe das Manometer hoch und schliesse den Verbindungshahn. An das Bleirohr des Manometers befestige ich ein $2\frac{1}{2}$ cm langes Stück von der Vena femoralis eines mittelgrossen Hundes. Das untere Ende der Vene ist zugebunden, alle Seitenäste sind, noch während die Vene Blute führte, sorgfältig unterbunden. Die Vene wird mit physiologischer Kochsalzlösung gefüllt. In dem Augenblick, wo ich den Hahn öffne, steht das Manometer auf 120 mm, fällt, während gleichzeitig tropfenweise Flüssigkeit durch die Wand der Vene tropft, in der ersten Minute auf 33, in der zweiten auf 16, in der dritten auf 11 mm.

Versuch 59. Ich mache im Uebrigen denselben Versuch, nur fülle ich die Leitung des Manometers und ein anderes, $2\frac{1}{2}$ cm langes Venenstück mit gesättigter Lösung von schwefelsaurer Magnesia. Bei Beginn des Versuches steht das Manometer auf 157 mm, fällt in 5 Minuten auf 18 mm, in 10 Minuten auf 8 mm.

Versuch 60. Bei der gleichen Versuchsanordnung fülle ich die Leitung des Manometers und ein $2\frac{1}{2}$ cm langes Venenstück mit Blutegelsaft. Bei Beginn des Versuches steht das Manometer auf 110 mm und fällt in 2 Minuten auf 37 mm.

Versuch 61. Bei Füllung mit gesättigter Sodalösung steht bei Beginn des Versuches das Manometer auf 140 mm, fällt in 5 Minuten auf 120, in 10 Minuten auf 109 mm.

Versuch 62. Ich fülle ein $3\frac{1}{2}$ cm langes Venenstück mit Blut und bringe es mit dem Manometer in Verbindung, dessen Leitung, um die Blutgerinnung zu verhüten, mit gesättigter Sodalösung gefüllt ist. Das Blut wird unter folgenden Vorsichtsmaassregeln in die Vene gebracht: Die Vena femoralis eines grossen Hundes wird in der Ausdehnung von 8 cm in ge-

wohnter Weise freipräparirt und jeder Nebenast genau unterbunden. Den einen paarigen Schenkel eines \perp Rohres bringe ich mit der Vene, den anderen mit dem Manometer in Verbindung. Am unpaarigen Schenkel befindet sich ein kurzes Gummirohr, welches ich nach Belieben öffnen und schliessen kann; auch das \perp Rohr und der Gummischlauch sind zunächst mit Sodalösung gefüllt. Jetzt öffne ich die vorher geschlossene Arteria femoralis und den Gummischlauch am \perp Rohr bis reines Blut aus dem Schlauche abfließt. Dann schliesse ich Arterie und Schlauch. Die Vene und die Hälfte des \perp Rohres sind jetzt mit Blut gefüllt. Ich unterbinde die Vene $3\frac{1}{2}$ cm unterhalb ihrer Verbindung mit dem \perp Rohre und schneide sie ab, so dass ein $3\frac{1}{2}$ cm langes Stück frei am Manometer hängt. Jetzt wird der Hahn des vorher hochgetriebenen Manometers geöffnet. Bei Beginn des Versuches steht das Manometer auf 108 mm und fällt in 5 Minuten auf 101 mm. Ich überzeuge mich nach Beendigung des Versuches, dass das Blut in der Vene und im \perp Rohr vollkommen flüssig geblieben, und dass, wie aus der Farbe leicht ersichtlich, keine oder wenigstens nur eine sehr geringe Mischung des Blutes im Venenstück mit Sodalösung stattgefunden hat.

Aus diesen Versuchen geht hervor, dass die Wand einer grösseren Vene mit grosser Schnelligkeit physiologische Kochsalzlösung, schwefelsaure Magnesia und Blutegelsaft, mit sehr viel geringerer Schnelligkeit Sodalösung und mit sehr geringer Geschwindigkeit wässrige Blutbestandtheile durchlässt. Dies werden wir in allen Versuchen zu berücksichtigen haben, wo in Folge des Druckverlustes aus der Leitung des Manometers diese Flüssigkeiten in die Venen laufen. Für solche Versuche sind also schwefelsaure Magnesia und Blutegelsaft wenig brauchbar. Die Sodalösung ist am brauchbarsten, da sie im Durchlaufen durch die Wand der grösseren Venen dem Blut am nächsten kommt. Immerhin läuft auch diese noch schneller durch als Blut. Das ist bei der Beurtheilung der Curven mit in Betracht zu ziehen.

Ferner geht aus Versuch 62 hervor, dass selbst bei sehr hohem Drucke Blutwasser nur in geringen Mengen durch die Wand der grösseren Venen hindurchgeht. Diese Thatsache wird uns bei der gleich zu erörternden Schlussfähigkeit der Venenklappen von Bedeutung sein.

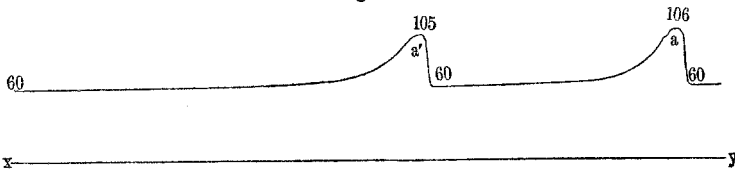
Ich erwähnte schon Eingangs dieser Arbeit, dass bei venöser Stauung keineswegs die Klappen aller Venen dicht schliessen. Eine Anzahl von Versuchen sollen dies beweisen. Da hier nur kurze Curvenstücke in Betracht kommen, so will ich der grösseren

Anschaulichkeit halber eine Anzahl derselben hier im Texte wiedergeben.

Ich schicke voraus, dass alle Curven stark verkleinert sind (die jeweilige Druckhöhe ist in Millimeter Quecksilber dazu geschrieben) und dass sie sämmtlich von rechts nach links zu lesen sind.

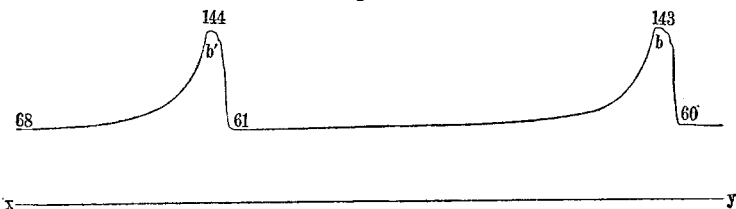
Versuch 63. Ich bringe in der gewöhnlichen Weise die Vena femoralis eines Hundes in Verbindung mit dem Manometer. Der Knochen des Gliedes ist verschlossen. Ich habe die Vene bereits 10 Minuten lang ihre Druckcurve aufschreiben lassen. In den letzten 5 Minuten hat das Manometer einen Druckverlust von nur 11 mm angezeigt. Jetzt umfasse ich, als das Manometer auf 60 mm steht, den Fuss des Beines mit der ganzen Hand und übe einen so kräftigen Druck aus, dass ich ungefähr alles in ihm befindliche Blut auspresse. Das Manometer steigt auf 106 mm, fällt zuerst schnell, dann langsam wieder bis auf 60 mm. Jetzt übe ich denselben Druck auf den Fuss noch einmal aus mit dem gleichen Erfolge. Fig. I zeigt das betreffende Curvenstück. Seine Umlaufszeit beträgt $1\frac{3}{4}$ Minuten. xy stellt die Nulllinie dar.

Fig. I.



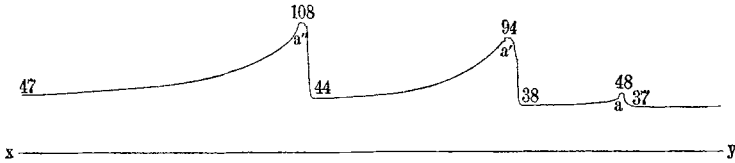
Man ersieht deutlich aus der Curve, dass unter den hier vorhandenen Umständen keineswegs die Klappen dicht schliessen. Doch läuft nicht plötzlich oder stossweise das Blut in die entleerten Gefässe zurück, sondern allmählich. Dass wirklich alles verdrängte Blut wieder in den Fuss zurückgelaufen ist, geht daraus hervor, dass ein zweiter Druck mit der Hand bei a' von demselben Erfolge begleitet ist, wie der erste bei a. Ich halte es für wichtig genug, alle hier in Betracht kommenden Verhältnisse an einer Reihe von Curvenstücken zu zeigen.

Fig. II.



Versuch 64 (Fig. II). Es handelt sich um die Fortsetzung der Curve, welche Fig. I darstellt. $xy = \text{Nulllinie}$. b und b' bedeuten starken Druck mit der ganzen Hand auf den Unterschenkel, d. h. die Hand umfasst das Glied. Die Umlaufszeit dieses Curvenstückes beträgt $1\frac{3}{4}$ Minuten. Der Knochen ist verschlossen, die Arterie mit einem Schieber abgeklemmt.

Fig. III.



Versuch 65. Fig. III zeigt die Verhältnisse bei einem anderen Hunde. $xy = \text{Nulllinie}$. a Druck mit 2 Fingern, a' und a'' starker Druck mit der ganzen Hand auf den Fuss. Der Knochen ist offen. Die Arterie mit einem Schieber abgeklemmt. Die Umlaufszeit des Curvenstückes beträgt $1\frac{1}{2}$ Minuten.

Versuch 66. Fig. IV, V, VI zeigen den weiteren Verlauf der Curve, aus welcher Fig. III stammt, b und b' in Fig. IV bedeuten schwachen Druck mit 2 Fingern auf den Unterschenkel, b und b' in Fig. V starken Druck mit der ganz das Glied umfassenden Hand auf den Unterschenkel. c in Fig. VI bedeutet Druck mit 2 Fingern, c' und c'' bedeuten stärkeren Druck mit der Hand auf den Oberschenkel.

Die Umlaufszeit von Fig. IV beträgt etwas weniger als $\frac{2}{3}$, von Fig. V und VI je $1\frac{1}{2}$ Minuten.

Fig. IV.

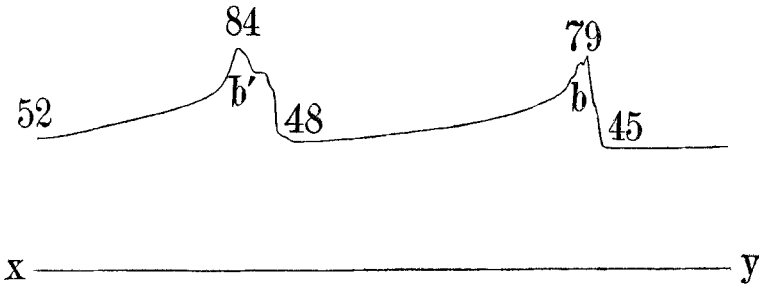


Fig. V.

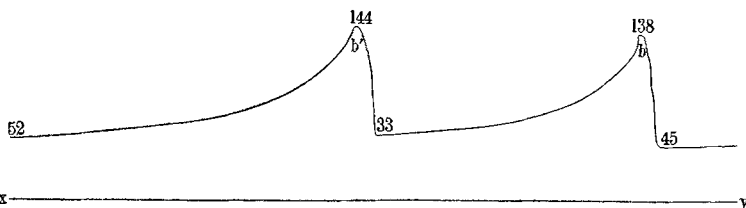


Fig. VI.

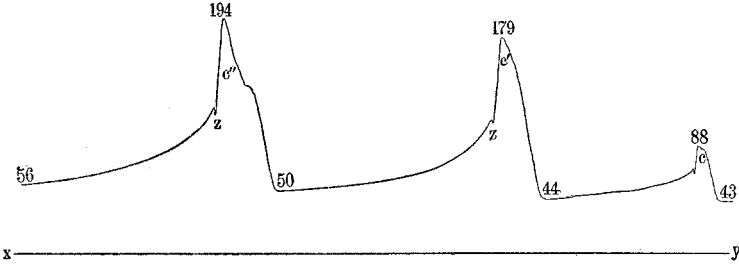
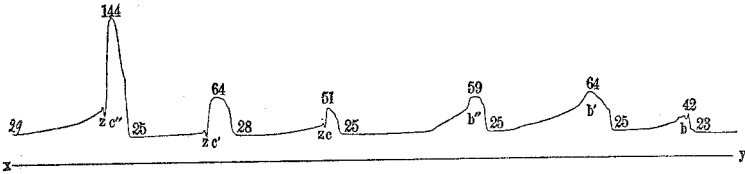
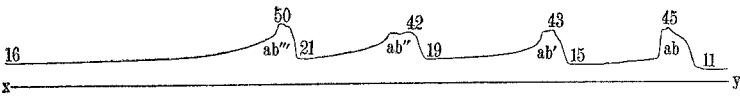


Fig. VII.



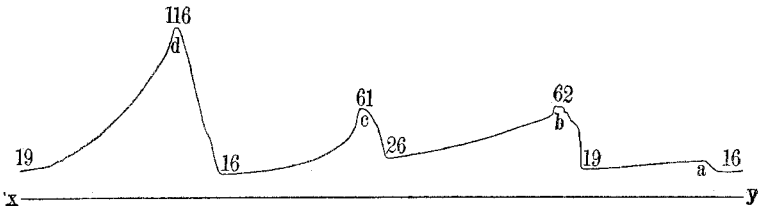
Versuch 67. Fig. VII zeigt den Einfluss des Druckes auf Unter- und Oberschenkel desselben Hundes neben einander. Es bedeutet: b = schwachen, b' und b'' = starken Druck auf den Unterschenkel; c = schwachen, c' mittel-starken, c'' = sehr starken Druck auf den Oberschenkel. Der Knochen ist offen, die Arterie durchschnitten. Umlaufszeit des Curvenstückes = $1\frac{3}{4}$ Minuten.

Fig. VIII.



Versuch 68. Fig. VIII zeigt die Verhältnisse bei einem anderen Hunde bei verhältnissmässig niedrigem Blutdruck in den Venen. xy = Nulllinie. ab, ab', ab'' und ab''' bedeuten Druck mit der Hand auf Fuss und Unterschenkel. Der Knochen ist durchschnitten, die Arterie mit einem Schieber abgeklemt. Die Umlaufszeit des Curvenstückes beträgt $1\frac{1}{2}$ Minuten.

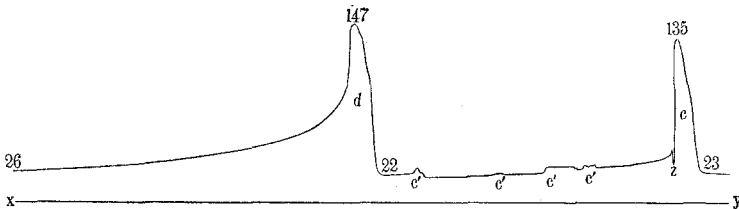
Fig. IX.



Versuch 69. Fig. IX zeigt ebenfalls die Verhältnisse bei niedrigem Blutdruck in der Vene eines anderen Hundes. xy = Nulllinie. a be-

deutet Druck auf den Fuss, b auf den Unterschenkel, c auf den Oberschenkel, d auf das ganze Bein. Der Knochen ist geschlossen, die Arterie durch einen Schieber abgeklemt. Die Umlaufszeit beträgt $1\frac{1}{2}$ Minuten.

Fig. X.



Versuch 70. Fig. X stellt ein anderes Stück derselben Curve dar, von welcher Fig. IX stammt. c bedeutet starken, c' ganz schwachen Druck mit dem Finger auf den Oberschenkel, d starken Druck auf das ganze Bein. Der Knochen ist geschlossen, die Arterie durch einen Schieber abgeklemt. Die Umlaufszeit beträgt $1\frac{1}{2}$ Minuten.

Die Betrachtung der 10 oben abgebildeten Curven ergibt mehrere wichtige Thatsachen:

1. Haben bei keinem der Versuchsthiere unter den hier obwaltenden Verhältnissen die Venenklappen dicht geschlossen und zwar eben so wenig, wenn es sich um schwere venöse Stauung und hohen Blutdruck (Fig. I, 60 mm), als wenn es sich um leichte Stauung und niedrigen Blutdruck in den Venen handelte (Fig. VIII, 11 mm).

2. Treibt man das Blut, welches sich im Fusse, also weitab von der grossen Vene, in den kleineren Adern befindet, in die grosse Vene hinein, so folgt auf das steile Ansteigen der Curve ein sanftes Abfallen. (Alle diejenigen Erhebungen, welche in den Curven mit a, beziehungsweise mit a und Strichen bezeichnet sind.) Dasselbe gilt, wenn man das Blut aus dem Unterschenkel nach den grossen Sammelvenen des Oberschenkels treibt (b und b mit Strichen in den Curven); indessen ist hier der Abfall doch bereits etwas steiler. Treibt man indessen selbst mit gewissen, gleich zu schildernden Vorsichtsmaassregeln das Blut aus dem Oberschenkel in die Hauptvene, so folgt auf ein steiles Ansteigen der Curve ein ganz jäher steiler Abfall, welcher plötzlich mit einem Ruck angehalten wird, wie die Schwingung des Quecksilbers (bei z in den Curven) anzeigt. Nur ein einziges Mal (c in Curve IX) war dies nicht der Fall.

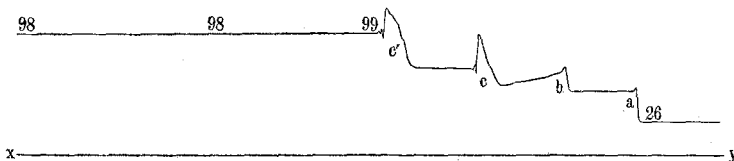
Hier wurde auch, wie die für den Druck auf den Oberschenkel geringe Steigerung beweist, nur verhältnissmässig wenig Blut ausgetrieben und, wie ich hinzufüge, aus einer ganz entfernten, an der Hinterseite liegenden Stelle. (Alle mit c, beziehungsweise mit c und Strichen bezeichneten Erhebungen der Curven bedeuten Druck auf den Oberschenkel.) Um sich hier vor Trugschlüssen zu hüten, muss man beherzigen, dass die Röhre des Quecksilbermanometers nur eng, die Vena femoralis dagegen bei grösseren Thieren sehr weit ist. Deshalb kann ein Druck auf eine kleine umschriebene Stelle der Hauptvene bereits ein sehr erhebliches Steigen des Manometers hervorbringen. Nachlass des Druckes würde ein steiles Abfallen verursachen und doch würde es sich hier nicht um eine grössere Blutbewegung in den Venen, sondern nur um ein geringes Hin- und Herpendeln der Blutsäule in der grossen Hauptvene handeln. Deshalb muss man jeden Druck auf die Gegend des Hauptvenenstammes vermeiden und kleinere Thiere zum Versuche wählen, wo das Missverhältniss zwischen Durchmesser des Manometer- und des Venenrohres nur sehr gering oder überhaupt keiner vorhanden ist. Mit Anwendung dieser Vorsichtsmaassregeln sind die Curven gewonnen. Mir scheint deshalb Folgendes aus der Form der Curven unzweifelhaft hervorzugehen: Es findet trotz der Venenklappen unter den hier obwaltenden Verhältnissen stets ein venöser Rückstrom statt. Beim Druck auf den Fuss werden nur Capillaren, und kleinere Venen entleert, sie entfalten sich gegen das zurückkehrende Blut nur allmählich. Bei Druck auf den Unterschenkel sind schon grössere Venen mitbetheiligt, die sich schneller entfalten, deshalb ist der Curvenabfall schon steiler. Bei Druck auf den Oberschenkel aber werden neben Capillaren und kleinen Venen auch grosse Sammelvenen entleert, die schnell das zurückkehrende Blut wieder aufnehmen. Nun besteht hier der Curvenabfall aus zwei Theilen, einen jäh und plötzlich und einen allmählich abfallenden. Der erste jähe Theil des Abfalles wird unterbrochen durch einen plötzlichen Ruck. (z in den Curven.) Vielleicht ist das ein Klappenschluss in den Venen. Wir müssten uns demnach vorstellen, dass zum dichten Schluss der Klappen (natürlich immer unter den hier obwaltenden Verhältnissen, d. h. in Aethernarkose und bei völliger Aufhebung

des arteriellen Zuflusses und bei venöser Stauung) ein plötzlicher Stoss, welcher hier durch die Geschwindigkeit des Abfalles erzeugt wird, gehört, während dem allmählichen Rückfluss die Klappen kein Hinderniss entgegensetzen. Doch ist es nicht sicher, ob es sich bei z in der Curve wirklich um Klappenschluss handelt, denn ähnliche und sogar viel grössere ruckförmige Unterbrechungen der Curve sieht man auch nach Druck auf gestaute Körpertheile mit klappenlosen Venen, z. B. Niere und Darm.

Dass ein dichter Schluss der Venenklappen nicht stattfindet, beweisen schon die oben mitgetheilten Versuche, welche ich oftmals mit demselben Erfolge wiederholt habe. Denn schliesse die Venenklappe wirklich, so dürfte nicht bei offenem Knochen rückläufig ein Theil des Blutes durch diesen hindurchgehen, und würde nicht bei geschlossenem Knochen ein schnellerer Druckverlust eintreten, als der Durchgängigkeit der Wand einer grösseren Vene für Blutwasser entspricht. Der Umstand, dass dieser Druckverlust in Wirklichkeit bedeutend grösser ist, beweist, dass das Blut fortwährend aus den grossen Venen in die kleinen Gefässe zurückläuft, wo der grösste Wasserverlust stattfindet.

Uebrigens habe ich in Ausnahmefällen gefunden, dass die Venenklappen ziemlich vollkommen schlossen. Ich gebe hier als Beispiel 2 Curven.

Fig. XI.



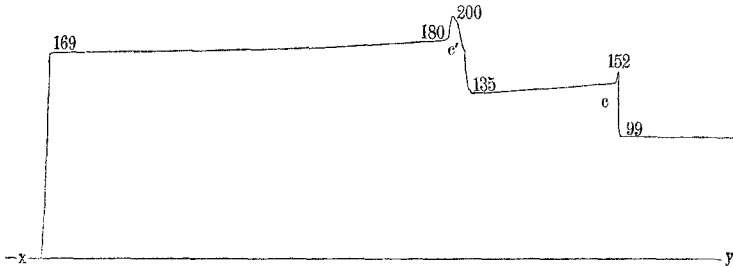
Versuch 71. $xy =$ Nulllinie. a bedeutet Druck auf den Fuss, b auf den Unterschenkel, c auf den Oberschenkel. Der Knochen ist geschlossen. Die Umlaufzeit des Curvenstückes beträgt $1\frac{1}{4}$ Minuten. Die Curve ist vorher schon 10 Minuten gelaufen.

Ich habe in diesem Falle keinen Versuchsfehler finden können, bemerke aber, dass ein einige Minuten vorher an demselben Beine desselben Hundes gemachter Versuch die Durchlässigkeit der Venenklappen bewies.

Mehrmals habe ich gefunden, dass Klappen, welche bei geringeren Drucksteigerungen in derselben Weise, wie dies in

Figur I—X dargestellt ist, das Blut rückläufig durchliessen, plötzlich vollständig schliessen, wenn der Druck sehr hoch getrieben wurde. Ich gebe auch davon ein Beispiel:

Fig. XII.



Versuch 72. Es handelt sich in diesem Falle um einen sehr kleinen Hund. $xy =$ Nulllinie. c und c' sehr starker Druck auf den Oberschenkel. Umlaufszeit reichlich $1\frac{1}{2}$ Minuten. Knochen geschlossen. Die Curve ist vorher schon 10 Minuten gelaufen und zu Versuchen über den Klappenschluss gebraucht. Vorher haben die Klappen nicht geschlossen.

Es liegt nahe, aus solchen Versuchen den Schluss zu ziehen, dass dieselben Klappen, welche bei niederem Drucke das Blut zurücklaufen lassen, bei hohem Drucke vollkommen dicht schliessen. Das wäre ja an und für sich ganz verständlich, aber ich will den Schluss lieber nicht ziehen, weil hier ein Versuchsfehler nicht ausgeschlossen ist: Bei dem oft wiederholten Druck, und zwar besonders bei hohem Druck auf das Bein, wird immer eine grössere Menge Blut in die Leitung des Manometers hineingetrieben, mischt sich dort mit Sodalösung, und, wenn auch keine Gerinnung eintritt, so bildet sich doch häufig eine dicke schlammige Masse, welche durch Klappen und kleinere Gefässe natürlich schwerer zurückläuft.

Angenommen aber selbst, dass diese Versuche, wie sie in Figur XI und XII wiedergegeben sind, einwandfrei wären, so kann man nach Curve I—X zweifellos sagen, dass in der über-grossen Mehrzahl unter den hier obwaltenden Verhältnissen die Venenklappen nicht dicht schliessen.

Ich habe noch einige Versuche angestellt, um zu erfahren, ob die Schlussfähigkeit der Klappen in verschiedenen Venen verschieden gross ist, und habe dabei gefunden, dass die Klappen der Hautvenen, auch unter den oben geschilderten Umständen,

so gut, wie vollkommen dicht schliessen; dass die ohnehin viel spärlicheren Klappen der tiefen Venen dagegen erst durch einen wesentlichen Stoss, wie ihn wohl unter natürlichen Verhältnissen plötzliche Muskelbewegungen, aussergewöhnliche Lageveränderungen und dergleichen hervorbringen, geschlossen werden. Um nicht zu weitschweifig zu werden, will ich auf die Beschreibung der Versuche verzichten.

Stellt man sich Arterien und Venen als communicirende Röhren vor, welche durch die Capillaren mit einander verbunden sind, so sollte bei schwerer Stauungshyperämie, da unter den dabei obwaltenden Umständen, wie wir eben sahen, die Venenklappen nicht dicht schliessen, Durchschneiden der Arterie ein Auslaufen von Blut aus derselben zur Folge haben. Da ich beim Durchschneiden der oberhalb geschlossenen Arterie den Druck in derselben auf Null herabsetzte, so wäre, nach jener Voraussetzung, nur zweierlei denkbar: Entweder muss mit solcher Geschwindigkeit das Blut nach der Arterie zurücklaufen, dass ein genügend grosser Stoss entsteht, um die Klappen zu schliessen, oder das Rücklaufen des Blutes durch die Capillaren erfolgt so allmählich, dass überhaupt kein Klappenschluss stattfindet. In jenem Falle müsste das Manometer den ruckförmigen Schluss der Klappen durch ein plötzliches Aufhören des Abfalles, in der Curve kenntlich durch eine Schwingung des Quecksilbers (z in den Curven VI, VII, X), anzeigen, in diesem müsste alles Blut allmählich aus der Arterienwunde ausfliessen. Eine Anzahl Curven, von verschiedenen Hunden stammend, mögen zeigen, dass keins von beiden in Wirklichkeit der Fall ist. Vorher beschreibe ich noch genauer die Versuchsanordnung.

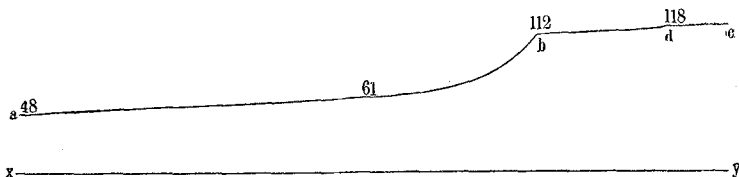
Versuch 73. Folgenden Versuch machte ich bei zahlreichen Hunden: Ich präparirte in gewohnter Weise Arteria und Vena femoralis hoch am Oberschenkel frei. Theils durchschnitt und verschloss ich den Knochen, theils blieb er ganz. Die Arterie wurde durch eine Klemme geschlossen. Unter der Arterie wurde der Drahtekraser durchgeföhrt und das Bein abgeklemt, so dass jeder Blutzufluss stockte. Die Vene wurde mit dem Quecksilbermanometer in Verbindung gebracht. Dann liess ich durch die Arterie Blut in das Glied föhren und schloss dieselbe wieder durch einen Schieber, wenn der Druck in der Vene die gewünschte Höhe erreicht hatte. In den einen Fällen durchschnitt ich nun unmittelbar, in den anderen längere Zeit nach dem Bluteinföhren die Arterie. Das betreffende Blut hatte also, je nachdem,

im verschieden hohen Grade unter den Wirkungen einer vollständigen Stauung gestanden. In allen Fällen, auch da, wo geringerer Druck besteht, arbeiten wir mit Venendrüken, wie sie in der Natur wohl sehr selten vorkommen. Dabei sind die Arterien nicht leer, wie sie es bei der plötzlichen Unterbrechung des Blutstromes (v. Esmarch'sche Blutleere, wie ich später zeigen werde) in der Regel sind, sondern sie sind so weit gefüllt, dass die Druckhöhen in Venen und Arterien sich das Gleichgewicht halten.

Beim Durchschneiden der Arterie bei so hohem Venendrucke ergiesst diese stets plötzlich einen stärkeren Blutstrom von dunkler Farbe, dessen Farbenton noch von der Dauer der Stauung und der Unterbrechung des Blutstroms abhängt. Dann nimmt der Ausfluss schnell ab, findet nur tropfenweise statt und schliesslich versiegt er ganz. Das Verhalten des Druckes in den Venen dabei zeigen die Figg. XIII—XVIII.

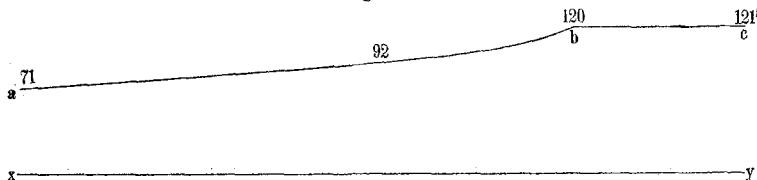
Auch hier sind die Curvenstücke verkleinert und sollen von rechts nach links gelesen werden.

Fig. XIII.



x y = Nulllinie, a c die Druckcurve. Die Curve ist vorher schon 16 Minuten gelaufen und hat zu einem anderen Stauungsversuche gedient. Dann ist die Arterie, welche geschlossen war, wieder eröffnet und hat 6 Minuten lang, bei vollständiger Sperrung des Abflusses (der Knochen ist geschlossen) Blut in das Glied geführt. cd zeigt ein kleines Curvenstück, während dessen die Arterie noch geöffnet war, kenntlich an den Pulsationen¹⁾. Bei d wird die Arterie geschlossen, bei b durchschnitten. Die Umlaufszeit des Curvenstücks beträgt 2 Minuten.

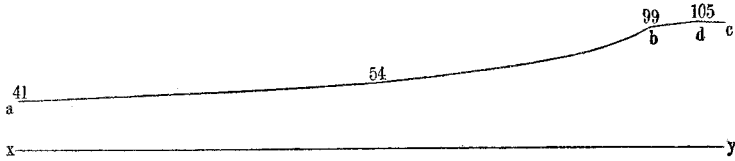
Fig. XIV.



x y = Nulllinie, a c die Druckcurve. Arterie vorher mit Schieber geschlossen, bei b durchschnitten. Curve vorher nicht gebraucht. Knochen geschlossen. Umlaufszeit des Curvenstückes $1\frac{1}{2}$ Minuten.

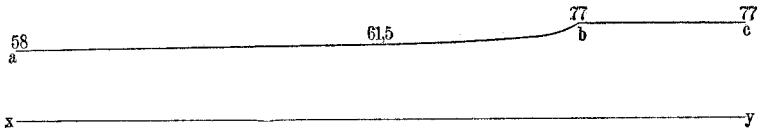
¹⁾ Wegen der starken Verkleinerung der Curven ist von den Pulsationen fast nichts zu sehen.

Fig. XV.



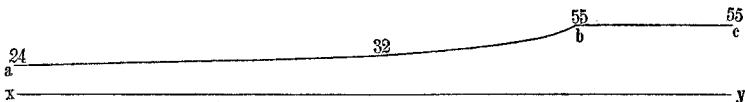
$x y$ = Nulllinie, $a c$ die Druckcurve. Bei d wird die Arterie geschlossen ($d c$ zeigt die Pulsationen bei geöffneter Arterie, wegen der starken Verkleinerung fast nicht zu sehen), bei b durchschnitten. Der Knochen ist verschlossen. Die Umlaufszeit des Curvenstückes beträgt $1\frac{3}{4}$ Minuten.

Fig. XVI.



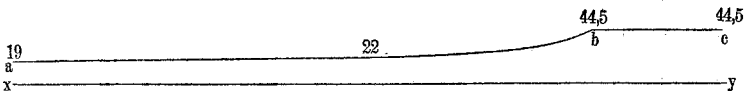
$x y$ = Nulllinie, $a c$ die Druckcurve. Bei b wird die vorher mit einem Schieber verschlossene Arterie durchschnitten. Der Knochen ist geschlossen. Die Umlaufszeit des Curvenstückes beträgt $1\frac{3}{4}$ Minuten. Die Curve ist vorher 10 Minuten gelaufen, ohne zu anderen Versuchen gebraucht zu sein.

Fig. XVII.



$x y$ = Nulllinie, $a c$ die Druckcurve. Bei b wird die vorher verschlossene Arterie durchschnitten. Der Knochen ist offen. Die Umlaufszeit des Curvenstückes beträgt $1\frac{3}{4}$ Minuten. Die Curve ist vorher schon 8 Minuten gelaufen und hat zu Versuchen über Klappenschlüsse gedient.

Fig. XVIII.



$x y$ = Nulllinie, $a c$ die Druckcurve. Bei b wird die vorher schon verschlossene Arterie durchschnitten. Der Knochen ist verschlossen. Die Umlaufszeit des Curvenstückes beträgt $1\frac{3}{4}$ Minuten. Die Curve ist vorher schon $11\frac{1}{2}$ Minuten gelaufen, ohne zu anderen Versuchen gebraucht zu sein.

Sämmtliche Curven bestätigen die oben gemachte Erfahrung, dass die Klappen nicht dicht schliessen. Denn in allen Fällen ergoss die angeschnittene Arterie (Eröffnung eines Nebenastes

hat denselben Erfolg) eine gewisse Menge Blut, und gleichzeitig damit trat sofort ein Sinken des Druckes ein.

Die Form der Curven beweist, dass es sich bei der Blutung nicht etwa bloss um das in den Arterien und Capillaren befindliche Blut handelt, wodurch ja in Folge der Spannungsveränderung im hyperämischen Beine auch ein Druckabfall denkbar wäre. Denn die grösste Menge des Blutausschlusses erfolgt plötzlich, es müsste also in diesem Falle der Curvenabfall steil sein; während er in Wirklichkeit wegen des allmählichen Nachfliessens des Blutes aus den Venen durch die Capillaren in die Arterien sich sanft senkt.

Das Sinken der Curven besteht aus zwei Theilen, einem ersten, schneller, und einem zweiten, langsamer abfallenden. Die Drucksenkung hält mehrere Minuten an. Sie ist bis zu einem hohen Grade unabhängig von der Höhe des Drucks, welcher in den Adern herrscht. Wohl erfolgt die Drucksenkung bei hohem Druck im Allgemeinen etwas schneller und anhaltender, doch zeigt sie in allen Fällen, ob nun der Druck hoch oder niedrig war, dasselbe Gepräge.

Verfolgen wir die Curven weiter, so ergibt sich eine interessante Beobachtung. Die Curve, von welcher Fig. XIII stammt, zeigt nach 3 Minuten, vom Ende des dargestellten Curvenstückes an gerechnet, einen Druck von 36 mm, also einen weiteren Druckverlust von 12 mm. Nach Ablauf der nächsten 5 Minuten aber zeigt das Manometer noch 34 mm Druck. Es hat also, nachdem der Druck bis auf eine gewisse Höhe gesunken ist, keine grössere Druckverminderung stattgefunden, als dies bei gleicher Druckhöhe und verschlossenem Knochen der Fall ist, wenn die Arterie nicht eröffnet ist.

Die Curve, welcher Fig. XIV entnommen ist, zeigt nach $2\frac{1}{2}$ Minuten, vom Ende des Curvenstückes an gerechnet, 51 mm, nach weiteren 2 Minuten 45 mm Druck.

Die Curve, welcher Fig. XV entnommen ist, zeigt nach $3\frac{1}{4}$ Minuten, vom Ende des Curvenstückes an gerechnet, 29 mm, nach weiteren 5 Minuten 23 mm Druck.

Die Curve, welcher Fig. XVI entnommen ist, zeigt nach $3\frac{1}{4}$ Minuten, vom Ende des Curvenstückes an gerechnet, 55 mm Druck.

Aus diesem Weiterverfolgen der Curven geht hervor, dass nach einem Anfangs recht erheblichen Zurückströmen von Blut dieses mehr und mehr abnimmt, bis es ganz aufhört und die Curve keine grössere Druckverminderung aufweist, als dies bei gleicher Druckhöhe und verschlossenem Knochen der Fall ist, wenn die Arterie nicht eröffnet ist. Da unter gleichen Verhältnissen, wie wir sahen, die Klappen, jedenfalls in der Regel, nicht dicht schliessen, und das Vorkommen eines Rückstroms aus den Venen in die Arterien durch die Versuche bewiesen ist, so bleibt keine andere Erklärung übrig, als dass gleichzeitig mit dem venösen Rückstrom die kleinen Gefässe oder gewisse Abschnitte derselben anfangen, sich mehr und mehr zu verengen, bis sie schliesslich gar kein Blut mehr zurücklaufen lassen.

Eröffnet man, anstatt der Hauptarterie einen Nebenast derselben, so beobachtet man genau das Gleiche. Schliesst man ihn dann, lässt von Neuem kurze Zeit die Arterie Blut dem Gliede zuführen, und eröffnet den Nebenast abermals, so tritt bei den verschiedensten Druckhöhen immer wieder der Druckverlust nach dem oben abgebildeten Typus ein.

Dieses Versuchsergebniss steht im besten Einklange zu einem im ersten Theile dieser Arbeit erhaltenen. Ich rufe dem Leser den Versuch 27¹⁾ in's Gedächtniss zurück:

Ich legte bei einem ätherisirten Schweine 10 Minuten lang künstliche Blutleere an und verschloss ihm alsdann die Luftröhre. Als es nahe am Ersticken war, löste ich die Blutleere. Das betreffende Glied wurde leicht hyperämisch und sah natürlich blau aus, schnell aber blasste es wieder ab. Nachdem die Athmung des Thieres wieder in Gang gekommen war, wurde sofort dasselbe Glied stark arteriell hyperämisch. Ich überzeugte mich dabei, dass die Arteria femoralis während des ganzen Versuches vollen Puls führte.

Hier streiten sich zwei Eigenschaften der kleineren Gefässe mit einander. Die Unterbrechung des Blutstromes setzt die Widerstände gegen arterielles Blut ganz ausserordentlich herab, Zufluss von venösem Blute dagegen — von welcher Seite es auch kommen mag — steigert sie wieder. Der letztere Einfluss ist, wie der Versuch beweist, der stärkere.

¹⁾ Bd. 147. S. 291.

Wir verstehen also jetzt, warum äussere Körpertheile nicht bei völliger arterieller Sperrung von Venen und Capillaren aus voll von venösem Blute laufen, wie die rein hydraulische Betrachtung es bei gleichzeitiger Herabsetzung der Widerstände in den Gefässen gebieterisch erfordert.

Unter gewissen Umständen kann aber beides zusammen noch immer keine Beförderung des Blutstromes zu Stande bringen. Denken wir uns einmal den sehr häufigen Fall, dass in ein weites Capillargebiet eine ganz spärliche arterielle Zufuhr stattfindet, so dass in den Capillaren selbst das Blut venös wird. Dann würde mit einer einfachen Verengerung dieser Gefässe nicht viel gewonnen sein, und die Frage liegt nahe, ob nicht die kleinen Gefässe die Fähigkeit haben, in ihnen selbst venös werdendes Blut in der Richtung nach den Venen zu weiter zu befördern. Das wäre eine ganz ausserordentliche Hülfe für die Blutströmung bei sehr beschränkter arterieller Zufuhr. Hier werden uns wieder Versuche mit der v. Esmarch'schen künstlichen Blutleere wichtige Ergebnisse liefern. Zum Verständniss der Versuche muss ich einige, wohl den meisten Lesern bekannte Dinge vorausschicken.

Die v. Esmarch'sche Abschnürung verdient, strenge genommen, nicht den eingebürgerten Namen „künstliche Blutleere“, wenn derselbe auch für praktische Zwecke das Richtige trifft. Denn, selbst wenn das abzuschnürende Glied vorher hochgehoben und mit einer Gummibinde das Blut möglichst aus ihm herausgewickelt wurde, ist es keineswegs blutleer. Vollends ist dies dann nicht der Fall, wenn bei abhängiger Lage des Gliedes die Schnürbinde umgelegt wird. Denn die ersten Gänge der Binde verschliessen nur die Venen, nicht aber die Arterien, und verursachen somit, im Zusammenhange mit der abhängigen Lage, sogar eine gewisse Stauungshyperämie. Unter der gewöhnlichen Blutfülle des Gliedes bleibt man wohl noch, wenn man, wie dies in der Regel geschieht, vor der Abschnürung das Glied hochhebt. Das Venenblut fällt dann, der Schwere folgend, aus dem Gliede und die Stauung, welche die ersten Gänge der Schnürbinde hervorrufen, dürfte bei einigermaassen schnellem Anlegen der Binde nicht genügen, den Blutinhalt des Gliedes auf die normale Höhe zu bringen. Besser sagen wir also: die v. Es-

march'sche Blutleere ist eine Unterbrechung des Blutstromes und lässt die Blutmenge, welche sich gerade bei der Anwendung im Gliede befand, darin verbleiben. Wohl wird auch hier vielleicht nach Versuch 55 eine gewisse Menge Blut durch den Knochen zurücklaufen, aber der Venendruck ist ja hier so gering, dass wir das füglich vernachlässigen können, denn eine Betrachtung der einschlägigen Curven zeigt, dass bei niedrigerem Drucke der Rückfluss durch den Knochen sehr gering ist.

Nun ist es wohl jedem Chirurgen schon aufgefallen, dass beim Operiren an „blutleer“ gemachten Gliedern die Venen beim Anschneiden Blut ergiessen, die Arterien dagegen nicht. Da die Abschnürung den Strom in den Venen, wie oben auseinander-gesetzt wurde, früher aufhebt, als in den Arterien, so muss das Blut der letzteren nach der völligen Abschnürung in die Venen weiter befördert sein. Die Weiterbeförderung aus den Capillaren zeigt schon die Blässe des Gliedes an. Am besten erläutert die Verhältnisse folgender Versuch:

Versuch 74. Einem in tiefer Narkose auf dem Rücken liegenden Menschen schnüre ich bei wagerechter Haltung des Gliedes den Oberarm ab. Auf diese Weise dürfte man wohl im abgeschnürten Gliede einen dem normalen nahe kommenden mittleren Blutgehalt erwarten. Nach der Abschnürung lasse ich das Glied herabhängen. Trotz der abhängigen Lage schwellen schnell die Hautvenen bis unmittelbar an den Schnürgurt an, und, wenn man einen Menschen mit stark entwickelten Hautvenen wählt, so können dieselben in kurzer Zeit prall gefüllt sein.

Am deutlichsten sah ich dies im folgenden Falle:

Versuch 75. Ich hielt den Arm eines Mannes, welcher sich in tiefer Aethernarkose befand, hoch, strich das Venenblut mit der Hand heraus, schnürte schnell den Oberarm ab und liess das Glied herabhängen. Zuerst waren die Hautvenen so zusammengefallen, dass sie als Rillen sichtbar waren. In der Zeit von 5 Minuten füllten sie sich, sehr deutlich vorspringend, mit Blut.

Diese Versuche sind ein Gegenstück zu der bekannten alten Beobachtung, dass die Arterien der Leiche meist leer, die Venen gefüllt sind. Man erklärt dies aus der Elasticität der Arterien. Diese sollen sich in Folge dieser Eigenschaft zusammenziehen und das Blut in die Venen drängen. Ob es sich hier nur um eine elastische Wirkung oder um eine selbstthätige Zusammenziehung handelt, ist mir zweifelhaft. Es ist mir sehr wahr-

scheinlich, dass das stillstehende und dann natürlich auch in den Arterien venös werdende Blut die Muskeln derselben zur Zusammenziehung reizt. Ich werde später einen Versuch am Dünndarm anführen, welcher zeigt, dass venöses Blut ein starker Reiz für die glatte Musculatur dieses Eingeweidcs ist. Selbstverständlich ist diese Zusammenziehung der Arterien, — ob sie nun durch Elasticität oder selbständige Muskelthätigkeit erfolgt, für die Weiterbeförderung des Blutes nothwendig. Aber meiner Ansicht nach genügt diese Erklärung nicht, es gehört dazu, dass auch die Capillaren sich zusammenziehen, und dass dies wirklich der Fall ist, zeigt folgender Versuch:

Versuch 76 Am Arm eines sehr weissen Menschen, welcher sich in tiefer Aethernarkose befindet, rufe ich eine leichte Stauungshyperämie hervor, so dass die Farbe des Gliedes gleichmässig bläulich ist. Dann lege ich v. Esmarch'sche Blutleere am Oberarm dadurch an, dass ich den stauenden Gurt fester anziehe. Den Arm lasse ich herabhängen. Er ist ursprünglich gleichmässig blau, dann wird er scheckig, in den blauen Theilen treten sehr lebhaftc weisse Flecke auf. Dann wird der Arm marmorirt. Es überwiegen nach 15 Minuten im Oberarmtheile die weissen, im Unterarmtheile, und besonders in der Hand noch die blauen Flecke. Aber trotz der abhängigen Lage fehlen die weissen Flecke auch in den äussersten Fingerspitzen nicht. Betrachtet man die blauen Flecke mit der Lupe, so sieht man in ihnen noch weitere kleine weisse Inseln in grosser Menge.

Diese Beobachtung lässt sich nur so erklären, dass auch die kleinsten Gefässe das Blut auspressen. Eine blossc Zusammenziehung der Arterien kann dies, wie leicht ersichtlich, nicht hervorbringen. Da nun, wie ich später auseinandersetzen werde, die in Folge der Kälte in blutarmen Gliedern eintretende Zusammenziehung der Hautmuskeln ebenfalls das Blut aus der Haut auspressen kann, musste dieser mögliche Beobachtungsfehler vermieden werden. Der Arm befand sich deshalb vor der Oeffnung der Luftheizung, aus welcher sehr warme Luft ausströmte, und ich stellte mit der Lupe fest, dass keine Spur von „Gänsehaut“ eintrat.

Ich will noch folgenden Versuch anführen, weil er den natürlichen Verhältnissen besser entspricht und Vieles auf einmal zeigt.

Versuch 77. Von einem Querschnitte in der Achselfalte aus präparire ich am Vorderbeine eines in tiefer Aethernarkose befindlichen Schweines Arteria, beide Venae axillares und den Nervenplexus frei. Um besser den Ekraseur anbringen zu können, schneide ich noch den *Musculus pectoralis*

major fort. Unter den freipräparirten Gebilden schiebe ich den Draht des Ekraseurs durch und schnüre alle sonstigen Blutgefässe völlig ab. Ich verschliesse die Arterie 10 Minuten lang durch einen Schieber, lasse das Schwein so halten, dass seine Vorderbeine herabhängen und der Hintertheil des Thieres schräg hochgehalten wird, um das zum Versuche benutzte Glied in eine abhängige Lage zu bringen, und öffne alsdann die Arterie. Es tritt eine sehr starke reactive Hyperämie ein. Als sie ihren Höhepunkt erreicht hat, schliesse ich die Arterie wieder. Das Glied ist zuerst noch stark hyperämisch, wird dann blau und schliesslich blasst es ab. In 2 Minuten ist es eben so blass als der andere Körper, in 5 Minuten sehr viel blasser, nach 10 Minuten sind nur noch die abhängigsten Theile bläulich gefärbt, das andere Bein ist blass ¹⁾.

Nach allem diesen liegt die Erklärung für das auffällige Blassbleiben äusserer Körpertheile nach schweren arteriellen Kreislaufstörungen auf der Hand. Ebenso leuchtet es ein, dass unter diesen Umständen die Blutbewegung in diesen Theilen möglichst leicht gemacht wird, so dass auch ein sehr geringer arterieller Strom die Ernährung noch besorgen kann. Denn begierig öffnen sich die kleinen Gefässe dem arteriellen Blute, lassen hartnäckig kein venöses einlaufen und in ihnen selbst venös gewordenen Blut befördern sie durch eine ihnen eigenthümliche Lebens Eigenschaft, über deren genaueres Verhalten ich mir unfruchtbare Hypothesen ersparen will, in der Richtung nach den Venen hin weiter.

Die Versuche zeigen noch, dass diese Lebens Eigenschaft der kleinen Gefässe nur eine zarte, und grösseren Leistungen nicht gewachsene Kraft ist. Denn bei abhängiger Lage entfärbten sich stets die abhängigsten Theile zuletzt und bei venöser Stauung und gleichzeitig aufgehobenem Zufluss und Abfluss des Blutes (Versuch 76) ist die Kraft nicht stark genug, um alles Blut aus den kleinen Gefässen in die schon gefüllten Venen zu vertreiben, denn neben den weissen Flecken finden sich stets noch blaue in grosser Anzahl. Aber man darf nicht vergessen, dass es sich

¹⁾ Ich will hier Gelegenheit nehmen, das im ersten Theil der Arbeit so viel als Versuchsthier benutzte Schwein angelegentlich für alle Versuche zu empfehlen, wo man aus Veränderungen der Hautfarbe Schlüsse ziehen will. Man wähle gut genährte halbwüchsige Ferkel mit rein weisser Haut und spärlicher Behaarung. Vor dem Versuche wird das Thier gereinigt. Schweine vertragen ausserdem ausgezeichnet die Aethernarkose.

in all' diesen Versuchen um unnatürliche Verhältnisse handelt. Dem Venen- und Capillardruck, welcher nach Aufhebung oder starker Beschränkung des arteriellen Zuflusses vorhanden ist, ist jene Kraft vollständig gewachsen.

Ferner ist klar, dass diese Lebenseigenschaft in jedem einzelnen Falle den Bedürfnissen des Körpers angepasst sein muss. Beispielsweise muss sie bei sehr hochgradig blausüchtigen Leuten, welche mit ausserordentlich schweren, meist angeborenen Herzfehlern behaftet sind, ganz anders wirken, als bei normalen Menschen, denn bei jenen hat Blut noch als arteriell¹⁾ zu gelten, welches bei diesen bereits hochvenös ist. Deshalb ist auch diese Eigenschaft so zarter und wechselnder Natur, während, wie wir gleich sehen werden, die andere Gefässeigenschaft äusserer Körpertheile, welche dem arteriellen Blute den leichten Eintritt in die Gefässe gewährt, weit gleichmässiger und widerstandsfähiger ist.

Die Eigenschaft kleiner Gefässe, sich nach vorübergehender Anämie begierig dem arteriellen Blutstrom zu öffnen, ist, wie ich im ersten Theile dieser Arbeit auseinandersetzte, gänzlich unabhängig vom Centralnervensystem. Es bedarf der Untersuchung, ob die zweite Lebenseigenschaft derselben, sich gegen venöses Blut zu wehren, dies ebenfalls ist. Es giebt einige Beobachtungen, welche dagegen zu sprechen scheinen. Besonders bei spinalen Kinderlähmungen beobachtet man nicht selten eine starke Blaufärbung der gelähmten Glieder. Ich konnte auch in zwei derartigen Fällen nachweisen, dass dabei die kleinen Gefässe die Fähigkeit, sich gegen venöses Blut zu wehren, verloren haben. Ich will als Beispiel den einen der Fälle aufführen:

Beobachtung 78. Ein 8jähriges Kind wurde im ersten Lebensjahre von einer schweren fieberhaften Krankheit befallen. Als Folge derselben blieb eine Lähmung des rechten Beines zurück. Dasselbe war stark abgemagert und erheblich verkürzt. Die Haut war blaufärbt und kühl. Ich hob das Glied senkrecht in die Höhe, strich mit der Hand das Blut möglichst aus und legte v. Esmarch'sche Blutleere am Oberschenkel an. Die Haut blieb blau. Selbst wenn ich das Blut vorher mit einer Gummibinde möglichst aus dem Beine wickelte, wurde unter Blutleere die zuerst blasse Haut schnell wieder bläulich verfärbt.

¹⁾ Ich benutze die Worte „arteriell“ und „venös“ mit Rücksicht auf die chemische Beschaffenheit des Blutes, nicht mit Rücksicht auf die Ader, in welcher es sich befindet.

Dagegen hatte eine künstliche Blutleere von nur 5 Minuten Dauer eine starke reactive Hyperämie zur Folge.

Bei Leuten, welche einen Bruch der Wirbelsäule und Zerquetschung des Rückenmarks erlitten haben, sieht man nicht selten Blaufärbung der Beine und hochgradiges Oedem. Bei zwei derartigen Fällen brachte eine künstliche Blutleere von 10 Minuten Dauer trotz der starken Oedeme eine sehr deutliche reactive Hyperämie hervor.

Diese Beobachtungen scheinen ja für eine Abhängigkeit dieser Lebens Eigenschaft der kleinen Gefäße vom Centralnervensystem zu sprechen, sie lassen aber auch eine andere Erklärung zu: Wir wissen, wie wichtig für einen geregelten Blutstrom die Muskelthätigkeit ist; diese fällt aber bei den gelähmten Gliedern fort, und so ist es denkbar, dass die dauernde Ueberlastung der kleinen Gefäße bei der Rückstauung des venösen Blutes, ihnen die Fähigkeit, sich gegen dasselbe zu wehren, raubt. Folgende Versuche sprechen nicht für die Abhängigkeit derselben vom Centralnervensystem:

Versuch 79. Ich treffe an beiden Vorderbeinen eines Schweines die in Versuch 77 geschilderte Versuchsanordnung, schneide aber auf der einen sämtliche Nerven des Plexus axillaris durch, bringe die Glieder in die dort beschriebene abhängige Lage und rufe durch 10 Minuten langen Verschluss eine reactive Hyperämie beider Beine hervor. Als dieselbe ihren Höhepunkt erreicht hat, schliesse ich beiderseits die Arterie. Beide Beine blassen ab, allerdings das benervte schneller als das gelähmte.

Ich sollte eigentlich noch den Versuch 27 so abändern, dass bei seiner Anstellung das Centralnervensystem ausgeschaltet wäre. Ich habe dies bei einem Schweine versucht, doch misslang der Versuch, weil das Thier nach Verschluss der Luftröhre schnell starb, und auch durch künstliche Athmung nicht wieder in's Leben zurückzurufen war.

Beobachtung 80. Schneidet man ein Glied eines Menschen ab, welches gerade hyperämisch ist, so läuft sofort beim Durchtrennen der Weichtheile fast alles Blut aus dem Glied heraus. Legt man es hin, so sickert noch Blut nach, und binnen Kurzem zeigt es den höchsten Grad der Blässe.

Es liegt nahe, gegen diesen Versuch einzuwenden, die Entleerung des Blutes geschähe in Folge der Elasticität der die Gefäße umgebenden Gewebe. Das dies nicht der Fall ist, zeigt folgende Beobachtung:

Beobachtung 81. Ich hatte Gelegenheit, zweimal Glieder zu amputiren, welche stark ödematös und gleichzeitig im hohen Grade venös hyper-

ämisch waren. Beide Glieder entleerten bei und nach dem Abschneiden mit grosser Schnelligkeit das Blut, so dass sie ganz weiss aussahen, das Oedem aber hielten sie fest. Nach 3 Stunden blieb der Fingerdruck noch überall stehen.

Wäre es die Elasticität der Gewebe, welche hier das Blut auspresste, so wäre gar nicht einzusehen, warum dieselbe Kraft nicht in mehreren Stunden auch die Gewebsflüssigkeit herausgepresst hätte.

Ich schliesse diese Versuche an äusseren Körpertheilen mit der Behauptung, dass es durchaus unrichtig ist, von einer Erschlaffung und Erweiterung der Gefässe in Folge von Unterbrechung des Blutstromes zu reden. Denn nur gegen arterielles Blut öffnen sie sich bereitwillig, während sie sich gegen venöses wehren. Man darf also nur sagen: vorübergehende Anämie setzt die Widerstände für den Eintritt des arteriellen Blutes in der grossartigsten Weise herab.

(Schluss folgt.)
