Vierte Abhandlung.

Der Strompuls nach Lähmung der Gefässe.

Von

K. Hürthle.

(Mit 3 Textfiguren und Tafel IV und V.)

Inhaltsübersicht.

	Seite
I. Schädigung der Gefässe durch Anämie	359
II. Künstliche Durchströmung der Gefässe am toten Tier	366
III. Schädigung durch Gifte am lebenden Tier	372
IV. Durchschneidung der Nerven	374
V. Zusammenfassung	376

Eine isolierte Lähmung der Gefässmuskulatur lässt sich experimentell weit weniger sicher erzielen als eine Erregung, wie aus dem Folgenden hervorgehen wird. Es wurde eine Reihe von Eingriffen und Mitteln in Anwendung gebracht, von denen bekannt ist oder angenommen wird, dass sie eine Schädigung oder Erschlaffung der Gefässmuskulatur bewirken. Das sind: Anämie, künstliche Durchströmung am toten Tier, Durchschneidung der Nerven, ferner pharmakologische Mittel und endokrine Wirkungen.

I. Schädigung der Gefässe durch Anämie.

Um den Blutstrom durch das Hinterbein des Hundes für längere Zeit zu unterbrechen, genügt es bekanntlich nicht, die Arteria cruralis abzubinden, da das Bein binnen kurzem auf kollateralen Bahnen mit Blut versorgt wird. Zur Erzeugung völliger Anämie muss man die Extremität mit einer elastischen Binde einwickeln. Das ist allerdings am Hinterbein des Hundes wegen seines schräg verlaufenden Ursprungs nicht in der ganzen Länge möglich; am proximalen Ende wird ein keilförmiges Stück von der Binde nicht umfasst. Der anämische Bezirk reicht aber so weit, dass er den Querschnitt der Arterie, der die periphere Stromuhrkanüle enthält, einschliesst.

Die Vorbereitung zum Stromuhrversuch nahm folgenden Verlauf: An dem durch Morphinum und Äther narkotisierten Hunde wurde zunächst die Arteria cruralis im oberen Drittel des Oberschenkels blossgelegt und von den etwa abgehenden kleinen Seitenästen befreit. Diese Präparation muss der Einwicklung des Beines vorausgehen, weil die Arterie durch die Einwicklung in einen Muskelwulst gehüllt wird und dann auch oberhalb der Binde schwer freizulegen ist. Das zentrale Ende der Arterie wurde gleich nach der Freilegung auf einem Korke abgebunden, wodurch schon eine wesentliche Abschwächung der Blutversorgung des Beines erzielt wird. Erst nach dieser Vorbereitung wurde die elastische Binde um das Bein gelegt und wenigstens 2 Stunden liegen gelassen. Während dieser Zeit wurde in fünf unter acht Versuchen ein Stromuhrversuch an der normalen Extremität ausgeführt. Inzwischen war das eingewickelte Bein stark abgekühlt und wurde in einem Fall (Nr. 3) vor dem Beginn des Stromuhrversuchs durch Eintauchen in Wasser von ca. 42° C. während einer Viertelstunde wieder auf Körpertemperatur gebracht, in allen anderen Fällen wurde die Erwärmung dem einströmenden Blut überlassen.

Um den Eintritt des Blutes in das blutleere Bein auf dem Wege der Kollateralen möglichst kurze Zeit vor dem Stromuhrversuch vor sich gehen zu lassen, wurden die Stromuhrkanülen schon eingelegt, während das Bein noch von der Binde umschnürt war. In fünf unter acht Versuchen wurde ferner vor dem Einlegen der Kanülen die Aorta abdominalis durch straffe Umwicklung des Bauches unmittelbar über dem Becken mit einer zweiten elastischen Binde komprimiert. Dass sich hierdurch eine vollständige Unterbrechung des Blutstromes erzielen lässt, zeigt sich beim Anschneiden der Cruralis: aus der Arterie fließt kein Blut. Nachdem die Kanülen eingelegt waren, wurde zunächst die erste elastische Binde vom Bein gelöst, die Kanülen mit der Stromuhr verbunden und nun erst die zweite zum Verschluss der Aorta dienende Binde vom Bauche entfernt.

Um die Wirkung der Anämie auf den Blutstrom der Extremität im allgemeinen zu zeigen, vergleichen wir den Strom der normalen mit dem der anämisch gewesenen Seite. In Tabelle I sind die Pulsfrequenzen, Mitteldrucke, die Stromstärken pro Druck- und Zeiteinheit (v -Werte), sowie die Elastizitäts- (e -)Werte aus fünf unter acht Versuchen zusammengestellt. Mit Ausnahme der Pulsfrequenzen sind alle Werte aus je einem Pulse ermittelt.

Die Tabelle (S. 361) zeigt folgende Wirkungen der Anämie:

1. Die Pulsfrequenz ist nach der Anämie meist erheblich gestiegen. Als Ursache dürfte in Betracht kommen, dass das Herz nicht allein durch die wenigstens drei Stunden dauernde Narkose geschädigt ist, sondern auch durch gewisse, während der Anämie im Bein gebildete Zerfallsprodukte, die mit der Wiederherstellung der Strömung in den Kreislauf gelangen.

Tabelle I.
Pulsfrequenzen, Mitteldrucke, sowie v - und e -Werte in der
Art. cruralis von Hunden.

Ver- such Nr.	Ge- wicht des Tieres kg	a) Am unversehrten Bein				b) Nach Schädigung durch Anämie				
		Puls- fre- quenz	Mittel- druck cm W.	v	e	Puls- fre- quenz	Mittel- druck cm W.	v	e	Dauer der Anämie Std.
1	17	—	—	—	—	—	118	0,047	0,0002	2
2	13	—	—	—	—	—	91	0,020	0,0002	2½
3	12,5	—	—	—	—	—	138	0,020	0,00009	2½
4	19	77	110	0,050	0,0036	135	109	0,027	0,0008	2½
5	23	140	153	0,022	0,0045	216	110	0,074	0,0025	3½
6	12	70	142	0,022	0,0026	177	105	0,026	0,0020	4
7	17	105	167	0,016	0,0018	112	162	0,035	0,0002	3
8	15	113	133	0,011	0,0020	127	99	0,031	0,0013	3

Aus der gleichen Ursache erklärt sich die mehr oder weniger ausgesprochene Senkung des mittleren Blutdrucks¹⁾ sowie die stets vorhandene Abnahme der Pulsamplitude, die in der Tabelle nicht verzeichnet ist.

Die Stromstärken (v -Werte) sind in vier unter fünf Fällen auf der anämisch gewesenen Seite wesentlich grösser als auf der gesunden; die Anämie hat also hier die erwartete lähmende Wirkung. Nur in einem Falle (Nr. 4) ist die Stromstärke auf der normalen Seite grösser, und zwar hat sie hier einen aussergewöhnlich grossen Wert aus unbekannter Ursache.

Sehr auffallend ist, dass die Dehnbarkeit der Bahn (der e -Wert) auf der Seite der Anämie wesentlich kleiner ist als auf der gesunden; denn man wird erwarten, dass die Dehnbarkeit der Gefässe mit der Lähmung der Muskularis zunimmt. Wir kommen darauf zurück (S. 366).

Den Einfluss der Anämie auf die Strompulse zeigt Fig. 9 Tafel IV; man bemerkt an ihnen keine deutliche Neigungsänderung an der Grenze von Systole und Diastole; die Kurven bilden leicht gekrümmte Linien. Zur Untersuchung der Frage, ob die Stromkurve den von der Theorie geforderten Verlauf nimmt, wurde in jedem Versuch wieder eine Anzahl von Einzelpulsen der oben beschriebenen Analyse unterworfen. Das Ergebnis ist in der Textfigur 1 sowie in Tabelle II enthalten.

1) Sie ist in Wirklichkeit noch etwas grösser als die Tabelle angibt, deren Werte nur aus Einzelpulsen bestimmt sind.

Fig. 1 zeigt, dass die starke Abweichung, welche an den normalen Pulsen im systolischen Teil zwischen der berechneten und der registrierten Stromkurve besteht, durch die Anämie fast aufgehoben wird. In drei Fällen war sie nahezu aufgehoben, in den fünf übrigen

Fig. 1. Druck- und Strompuls der Art. cruralis nach dreistündiger Anämie des Beines.

mehr oder weniger abgeschwächt; unter den letzteren müssen aber zwei vom Vergleich ausgeschaltet werden (vgl. S. 363). Es bleiben also sechs Versuche übrig; in der einen Hälfte war die Übereinstimmung der berechneten mit der registrierten Kurve eine nahezu

vollständige (gelungene Versuche), in der anderen war die Abweichung im systolischen Teil eine relativ geringe.

In den drei Fällen weniger guter Übereinstimmung gehen die Abweichungen im Abschnitt II und III bis 20 %, während an den normalen Pulsen solche von 25 bzw. 47 % vorkommen (s. Tab. I S. 325).

Allerdings darf nicht unerwähnt bleiben, dass die Übereinstimmung in den gelungenen Fällen zum Teil der Abnahme der pulsatorischen Druckschwankung zuzuschreiben ist, welche nach der Anämie in Zusammenhang mit der erhöhten Pulsfrequenz (s. Tab. I) beobachtet wurde; sie war übrigens nicht abnorm klein, sondern betrug im Beispiel der Fig. 1 75 cm Wasser. Bei wesentlich kleineren Druckschwankungen kommen an normalen Gefässen starke Abweichungen zwischen der registrierten und der berechneten Stromstärke vor, wofür die unvollständigen Systolen bei Vagusreizung (Abhandlung II S. 336) als Beispiele dienen können.

Dass die Wirkung der Anämie nicht eine in allen Versuchen übereinstimmende ist, kann bei der bekannten Zählebigkeit der Arterien nicht überraschen. So konnten Brodie und Dixon¹⁾ den Einfluss der Reizung der Vasokonstriktoren noch 2 Stunden nach dem Tode des Tieres feststellen, und O. B. Meyer²⁾ macht die erstaunliche Angabe, dass die grösseren Blutgefässe der Säuger 13 Tage nach der Entnahme aus dem Körper noch erregbar seien. Dass zwei unter acht Versuchen bei der Verwertung der Ergebnisse überhaupt ausgeschaltet wurden, ist dadurch begründet, dass beim Versuch auf der normalen Seite Digitalis in die Blutbahn gebracht worden war, das eine stark erregende Wirkung auf die Gefässe ausübt (s. Abhandlung III). Dass die Arterien aber nach einer zwei- bis dreistündigen Anämie nicht tot sind, sondern durch erregende Mittel beeinflusst werden, wurde in allen Versuchen festgestellt, indem nach der Registrierung einer Anzahl von Stromuhrperioden in der anämisch gewesenen Extremität Adrenalin oder Digitalis in die Blutbahn gebracht wurde; in allen Fällen wurde daraufhin eine Verlangsamung der mittleren Strömung, verbunden mit einer Abnahme der Übereinstimmung zwischen der registrierten und der berechneten Stromkurve, sowie Erhöhung des Stromquotienten

1) Brodie and Dixon, Journ. of Physiol. vol. 30 p. 476. 1904.

2) O. B. Meyer, Zeitschr. f. Biol. Bd. 48 S. 352. 1906.

Tabelle II. Cruralispulse vom Hund nach zweistündiger Anämie.

1	2		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	Mittel-												Druck- schwan- kung em Wasser	St.-Q.	$v_{\uparrow}$ $v_{\downarrow}$	v_p	e	I	II	III	IV	V																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
	$\uparrow$ em Wasser	$\downarrow$ em Wasser																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Versuchs- Nummer der Tabelle I				$t_{\uparrow}$	$t_{\downarrow}$	$V_{\uparrow}$	$V_{\downarrow}$	$v_{\uparrow}$	$v_{\downarrow}$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										

4

Adrenalin

festgestellt. Fig. 10 Tafel III ist ein Beispiel. Die Kurven wurden etwa 2 Minuten nach denen der Fig. 9 registriert. Einige Kurven wurden ausgemessen (s. die Pulse 3 und 4 der Tab. II). In allen Fällen war aber die Wirkung von Adrenalin auf die gelähmten Gefässe erheblich schwächer als auf die normalen.

Betrachten wir die Folgen der Anämie bei den beiden ersten Pulsen der Tabelle II, so beträgt das Maximum der Abweichungen zwischen der registrierten und der berechneten Stromkurve (Stab 13, Zeile 3) 11 %; das ist sogar etwas weniger als der Betrag der Abweichungen, die wir bei den schematischen Pulsen erhalten hatten (Tab. I und II Abhandlung I).

Die Voraussetzungen der Analyse sind daher bei den Tierpulsen nach Lähmung der Gefässe ebenso erfüllt wie bei den Pulsen des Schemas. Aus diesem Grunde wurde die Trennungslinie zwischen dem systolischen und diastolischen Abschnitt auch bei den Pulsen der Tabelle II durch den Kurvengipfel gelegt wie bei den Pulsen des Schemas. Ferner zeigt die Tabelle in Stab 12 sehr kleine e -Werte und in Zusammenhang damit St-Q (Stab 10), die sich dem Wert 1 nähern. Der geringe e -Wert verdient besondere Beachtung. Nach Tabelle I (S. 361) sind in allen fünf Fällen, in welchen am gleichen Tiere nacheinander Stromuhrversuche an beiden Extremitäten angestellt wurden, die e -Werte auf der anämisch gewesenen Seite wesentlich kleiner als auf der normalen ($1/2$ — $1/9$), d. h. die normalen Gefässe sind erheblich dehnbarer als die gelähmten. Dieses Ergebnis der Analyse ist von vornherein ebenso unwahrscheinlich wie das in der vorhergehenden Abhandlung beobachtete, dass die Dehnbarkeit der Gefässe unter der Adrenalinwirkung zunehme; für diese wurde das Gegenteil experimentell nachgewiesen (s. S. 343 der vorhergehenden Abhandlung). Man darf daher nicht bezweifeln, dass auch die Analyse der normalen Pulse zu einer Fälschung der e -Werte führt, die durch die Adrenalinwirkung noch verstärkt wird, und dass die Pulsanalyse nach gelungener Lähmung der Gefässe annähernd richtige e -Werte gibt. Dieser Schluss wird durch die Übereinstimmung der registrierten mit der berechneten Stromkurve (Fig. 1 S. 362) bestätigt. Zwischen den Fehlern der e -Werte und der s S besteht folgender Zusammenhang: Wenn die Abweichung der registrierten von der berechneten Stromkurve nicht grösser ist als bei den Pulsen des Schemas mit annähernd gleichem e -Wert, dürfen die Voraussetzungen der Analyse als erfüllt betrachtet werden, d. h. die

Strömung ist ausschliesslich von den in der Analyse vorgesehenen Faktoren abhängig. Eine relative Verstärkung des systolischen Stromes gegenüber dem diastolischen (Erhöhung des St-Q) kann in diesem Falle nur durch Zunahme der e -Werte, d. h. der Dehnbarkeit der zwischen Stromuhr und Kapillaren befindlichen Bahnstrecke erklärt werden. Eine solche Zunahme finden wir an den normalen, in verstärktem Grade an den Adrenalinpulsen, so dass die Analyse zu einer Erhöhung der e -Werte und des St-Q führt. Da sich aber durch einfache Versuche (S. 342) nachweisen liess, dass diese Erhöhung der e -Werte in Wirklichkeit nicht besteht, sondern unter der Adrenalinwirkung eine Änderung der Dehnbarkeit in entgegengesetzter Richtung eintritt, so folgt daraus, dass die Analyse der Pulse bei normalen und erregten Gefässen zu unrichtigen Ergebnissen führt, und dass für das Überwiegen der systolischen über die diastolische Strömung eine andere Ursache gesucht werden muss. Diese haben wir zunächst in der Hypothese der aktiven systolischen Tätigkeit der Arterienwand gefunden, welche in dem Verschwinden der s S nach Lähmung der Gefässe eine weitere Stütze erhält.

II. Künstliche Durchströmung der Bahn der Cruralis am toten Tier.

Eine vollständige Lähmung der Gefässbahn kann man bei Durchströmungsversuchen am toten Tier erwarten. Dabei hat man noch die Möglichkeit zur Prüfung der schon in der vorhergehenden Abhandlung aufgestellten Frage, ob und wie weit die besondere, durch die geformten Elemente bedingte Art der Viskosität des Blutes für die Abweichungen zwischen Theorie und Experiment verantwortlich ist, da die Durchströmung auch mit körperchenfreien Flüssigkeiten vorgenommen werden kann. Es wurden daher künstliche Durchströmungen der Bahn der Cruralis an Hunden 1—3 Stunden nach dem Tode teils mit verdünntem defibriniertem Blut, teils mit Ringer'scher Lösung ohne und mit Zusatz von Giften vorgenommen. In einigen Fällen wurde der Versuch gemacht, die Durchströmung erst 24 Stunden nach dem Tode des Tieres vorzunehmen. Es zeigte sich aber, dass die Bahn dann fast undurchgängig geworden war.

Um das Blut des Tieres möglichst vollständig zu gewinnen, wurde diesem zunächst etwa ein Drittel des Blutes aus Karotis oder

Cruralis entzogen und defibriert; darauf wurden 1—2 Liter körperwarmer Ringer'scher Lösung durch die Vena jugularis langsam in die Blutbahn gebracht und der Rest des nunmehr verdünnten Blutes allmählich mit Pausen von etwa 5 Minuten entzogen, defibriert, mit dem unverdünnten Blut gemischt und durch Gaze filtriert. Das zur Durchströmung benutzte Blut war also stark verdünnt.

Diese Durchströmungsflüssigkeit kam in die Flasche *F'* (Fig. 1 S. 306), die durch einen Ballon mit komprimierter Luft unter Druck von bekannter Höhe (meist 100 cm Wasser) gesetzt werden konnte. Hinter dem Tubulus der Flasche war der mit Kurbel versehene Hahn *H* von 10 mm Bohrung angeschlossen, der zur Erzeugung der Pulse 60—70 mal in der Minute gedreht wurde. An diesen war ein Gummischlauch von 8 mm lichter Weite und 1,5 mm Wandstärke angefügt, dessen Länge in den einzelnen Versuchen zwischen 45 und 70 cm schwankte; er diente als Windkessel, und seine Elastizität wurde so bemessen, dass bei der genannten Pulszahl und dem gegebenen Widerstand der Bahn Druckschwankungen von ca. 120 cm Wasser entstanden. Das andere Ende des Schlauches war mit der kurzen Zuleitungsröhre der Stromuhr¹⁾ verbunden, deren Abflussrohr ohne Zwischenschaltung eines elastischen Stückes in die Arteria cruralis übergang. Um den Abfluss der Bahn konstant zu halten, wurde in die Vena cruralis eine weite gebogene Glaskanüle eingelegt, deren freie Mündung in der Höhe der Vene lag. Nachdem die pulsatorische Strömung etwa eine Minute lang in Gang erhalten war, wurden Druck und Strom in gleicher Weise registriert wie bei den Versuchen am lebenden Tier. Bei der Durchströmung mit Ringer-Lösung wurde mit Registrierung der Pulse erst begonnen, wenn die aus der Vene abfließende Flüssigkeit nicht mehr rot gefärbt war.

In dieser Weise wurde durchströmt

mit defibriertem Blut ohne Zusatz . . .	11 mal
mit Zusatz von Adrenalin	4 mal
" " " Atropin	2 mal
mit reiner Ringer-Lösung	8 mal
mit Zusatz von Adrenalin	5 mal
" " " Atropin	2 mal.

1) *Zf* in Fig. 2 a S. 514 Pflüger's Arch. Bd. 147.

Die Analyse der erhaltenen Kurven ergab, dass die künstliche Durchströmung des toten Tieres nicht notwendig eine Übereinstimmung der registrierten mit der berechneten Kurve ergibt. Unter den elf Versuchen mit defibriniertem Blut wurde die Übereinstimmung nur viermal, unter den acht Versuchen mit Ringer-Lösung nur dreimal erzielt (St-Q unter 1,3); in den anderen Fällen waren die Abweichungen ebenso gross wie bei den Pulsen des lebenden Tieres (St-Q bis 6). Unter diesen befinden sich allerdings Tiere, die vor der Tötung erregende Mittel, Adrenalin oder Digitalis bekommen hatten; man kann daher diese Mittel, oder wenigstens die Digitalis, für das Resultat verantwortlich machen. Prinzipiell wichtig ist aber, dass in einer Reihe von Versuchen die Übereinstimmung ohne weiteres erzielt wurde; und dass sie in allen Fällen mit Zusatz von Atropin zur Durchströmungsflüssigkeit (1:1000) eintrat. Tabelle III enthält vier am unversehrten Tier erhaltene Pulse, zwei bei künstlicher Durchströmung mit Blut von 37°, zwei mit Ringer-Lösung von 18°; die letzten Pulse sind mit Ringer-Lösung unter Zusatz von Adrenalin erzeugt. Die Ringer-Pulse unterscheiden sich durch grössere mittlere Stromstärke (v -Werte, Stab 11) von den Blutpulsen infolge der relativ geringen Viskosität der Flüssigkeit.

Die St-Q (Stab 10) sind ≈ 1 oder wenig davon verschieden; die e -Werte (Stab 12) entsprechend klein. Bei der Durchströmung mit Ringer (Puls 3 und 4) ist der Quotient sogar kleiner als 1, der e -Wert negativ. Dieses physikalisch unmögliche Ergebnis ist natürlich den Mängeln der Registrierung und Messung zuzuschreiben, und zeigt nur, dass der e -Wert im Vergleich zum v -Wert verschwindend gering ist. Die e -Werte sind noch geringer als die nach Lähmung der Gefässe am lebenden Tier (Tab. II S. 364) beobachteten, und es gilt für sie erst recht das oben Gesagte.

Der Vergleich der berechneten mit den registrierten Stromstärken in den fünf Pulsabschnitten (Stab 13) zeigt, dass die Abweichungen 10% nicht erreichen, also innerhalb der Fehlergrenzen der Methode liegen.

Dass in den Versuchen mit Ringer-Lösung nicht das Fehlen der geformten Elemente die Ursache der Übereinstimmung der berechneten und registrierten Kurven ist, geht schon aus den Versuchen mit verdünntem Blut (Puls 1 und 2) hervor, lässt sich aber noch überzeugender durch Zusatz von Adrenalin zur Ringer-Lösung beweisen (Pulse 5 und 6). Dieser Versuch wurde fünfmal mit dem

Tabelle III. Curralispulse bei künstlicher Durchströmung mit defibriniertem Blut und Ringer-Lösung.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13				
Durchströmungs- flüssigkeit	p_m		$p_1 - p_2$	$t \uparrow$	$t \downarrow$	$V \uparrow$	$V \downarrow$	$v \uparrow$	$v \downarrow$	v_p	e	Stromstärke Zeit				
	$\uparrow$	$\downarrow$										I	II	III	IV	V
Ver- dünntes Blut 37° C.	1 165	97	46—228	0,16	2,33	0,43	3,67	0,017	0,016	0,016	0,00006	1,86	3,72	2,60	1,80	1,00 reg.
								0,017	0,016	0,016	0,00006	2,01	3,55	2,64	1,79	1,01 ber.
												-7	+5	-1	+0,5	-1 % Abw.
												1,70	2,65	2,27	1,66	1,03 reg.
Ringer 18° C.	2 143	103	58—212	0,11	1,02	0,23	1,45	0,015	0,014	0,014	0,0001	1,57	2,75	2,16	1,66	1,05 ber.
								0,015	0,014	0,014	0,0001	+8	-4	+5	0	-2 % Abw.
												3,80	8,13	7,85	5,70	2,83 reg.
												3,54	8,40	8,22	5,41	3,00 ber.
Ringer + Adre- nalin	3 113	81	37—170	0,15	0,96	0,90	4,31	0,053	0,055	0,055	-0,0003	+7	-3	-4	+5	-6 % Abw.
												3,37	7,38	6,55	4,39	2,23 reg.
												3,09	7,66	6,95	4,08	2,32 ber.
												+9	-4	-6	+8	-4 % Abw.
Ringer + Adre- nalin	4 100	67	32—168	0,17	0,99	0,96	3,71	0,055	0,056	0,056	-0,00005	4,54	9,27	3,71	1,46	0,57 reg.
												8,20	5,60	1,70	1,47	1,01 ber.
												-45	+65	+118	-0,7	-44 % Abw.
												3,02	5,22	4,15	1,99	0,99 reg.
Ringer + Adre- nalin	5 145	99	58—194	0,10	1,23	0,70	1,58	0,048	0,013	0,013	0,0033	4,14	3,43	1,99	1,91	1,35 ber.
												-27	+52	+109	+4	-27 % Abw.
												1,8	0,14	0,014	0,010	0,010
												1,8	0,14	0,014	0,010	0,010

Ergebnis ausgeführt, dass das Adrenalin dreimal die gewöhnliche Wirkung zeigte, zweimal wirkungslos war; die Ursache des Ver-

Fig. 2. Künstlicher Puls mit verdünntem Blut durch die Art. cruralis am toten Tier.

sagens in den beiden Fällen konnte nicht festgestellt werden¹⁾. Die Pulse 5 und 6 der Tabelle zeigen, dass alle für die Adrenalin-

1) Eine Unwirksamkeit von Adrenalin auf den Blutdruck findet man, allerdings sehr selten, auch bei lebenden Tieren.

wirkung charakteristischen Erscheinungen auch bei Durchströmung mit reinen Flüssigkeiten zustande kommen: Abnahme der mittleren Stromstärke (Stab 11), Erhöhung des e -Wertes (Stab 12), relative Zunahme der systolischen gegen die diastolische Stromstärke (Stab 8 und 9) mit Erhöhung des Stromquotienten (Stab 10). Die starken Abweichungen der registrierten Stromstärken von den berechneten

Fig. 3. Künstlicher Puls mit Ringer-Lösung unter Zusatz von Adrenalin durch die Art. cruralis am toten Tier. — registrierte Kurve; - - - - - berechnete Kurve.

im Verlauf des Pulses zeigt Stab 13; sie gehen bis 118 %, während sie ohne Adrenalin unter 10 % blieben.

Einen anschaulichen Vergleich der berechneten mit der registrierten Kurve bei Durchströmung der Bahn der Cruralis mit verdünntem Blut gibt Fig. 2, bei deren Konstruktion der Wert $e = 0$ gesetzt wurde (der berechnete war $= 0,000\,05$). Im Gegensatz dazu zeigt Fig. 3 die starke Abweichung der registrierten von der berechneten Kurve bei künstlicher Durchströmung der Bahn mit Ringer-Lösung unter Zusatz von Adrenalin.

Zusammenfassend kann man über die künstlichen Cruralispulse sagen: Wenn man im Schema (Fig. 1 S. 306) den künstlichen Widerstand W durch die Bahn der Cruralis eines getöteten Tieres ersetzt, sind in vielen Fällen ohne weiteres oder sicher bei Vergiftung der Gefäße mit Atropin die gleichen Faktoren für die Strömung massgebend wie im Schema, die Strompulse sind durch den Druck sowie die Elastizität und den Widerstand der Bahn bestimmt.

III. Vergiftung der Gefäße am lebenden Tier.

Die Schädigung der Gefäße durch Einspritzung von Giften in eine Vene hat im vorliegenden Fall das Missliche, dass die Giftwirkung nicht auf das untersuchte Gebiet beschränkt bleibt, sondern alle Gefäße und namentlich auch das Herz schädigt. Dadurch werden die Pulse schlecht (klein und frequent), und die Analyse wird beeinträchtigt, für die kräftige Pulse erwünscht sind.

Dieser Übelstand lässt sich dadurch vermindern, dass man das Gift direkt in die untersuchte Bahn bringt; seine Wirkung bleibt zwar nicht auf diese beschränkt, entfaltet sich hier aber am frühesten und am intensivsten, und, was die Hauptsache ist, es genügen zur Beeinflussung der Bahn sehr viel kleinere Dosen als bei der Injektion des Giftes in die Vene.

Zur Einführung des Giftes in die untersuchte Bahn besitzen die Zuleitungsröhren der Stromuhr einen seitlichen Ansatz¹⁾, durch welchen während des Versuchs, am besten im Moment der Wendung der Stromuhr, die Lösung mit Hilfe einer eingepassten Spritze injiziert werden kann.

Auf diese Weise wurden drei Gifte untersucht, denen eine lähmende Wirkung auf die Blutgefäße zugeschrieben wird: Atropin, Chloralhydrat und Yohimbin. Durch die beiden ersten wurde die Stromkurve nicht derart beeinflusst, dass sie den theoretisch zu erwartenden Verlauf nahm, d. h. es gelang nicht, die s S zu beseitigen. Der Unterschied dieses Ergebnisses gegenüber der oben angegebenen Atropinwirkung bei künstlicher Durchströmung der Gefäße erklärt sich daraus, dass bei den Versuchen am lebenden Tier die Dosis so klein gehalten wurde, dass eine wesentliche Störung

1) $\bar{O}$ in Fig. 2 a S. 514 Pflüger's Arch. Bd. 147.

Hund von 14 kg. Yohimbwirkung.

1	Zeit nach der Injektion Sekunden	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13					reg. ber. % Abw.
													Stromstärke Zeit					
													I	II	III	IV	V	
		p_m Syst. em Wasser Dinst.	$p_1 - p_2$ em Wasser	t_s Sek.	t_d Sek.	V_s ccm	V_d ccm	v_s v_d	St-Q v_s v_d	v_p	e							
0		189 141	122—245	0,21	0,27	1,21	0,86	0,030 0,030	0,022	1,3 1,3	0,026 0,026	0,0030 0,0030		9,63 10,14 - 5	9,33 8,57 +9	3,14 2,59 +21	3,77 3,93 -4	2,62 2,96 -11
2		197 145	126—247	0,21	0,27	1,19	0,82	0,029 0,029	0,020 0,020	1,4 1,4	0,025 0,025	0,0029 0,0029		9,20 9,98 - 8	9,61 8,18 +17	3,52 2,82 +25	3,60 3,72 -3	2,43 2,93 -17
40		143 103	81—154	0,10	0,16	1,03	0,59	0,073 0,073	0,036 0,036	2,0 2,0	0,053 0,053	0,0026 0,0026		10,57 13,74 -23	11,01 8,36 +32	10,05 6,56 +53	5,02 4,94 +2	2,39 4,17 -43
60		153 115	88—167	0,10	0,14	1,10	0,68	0,072 0,072	0,043 0,043	1,7 1,7	0,057 0,057	0,0014 0,0014		6,96 11,25 -38	13,42 9,74 +38	11,98 8,56 +40	6,42 6,79 -5	4,04 5,51 -27

des Kreislaufs nicht eintrat, während bei der künstlichen Durchströmung die Dosis sehr viel grösser war. Im übrigen wurde sowohl durch Atropin wie durch Chloralhydrat der St-Q verkleinert.

Mit Yohimbin wurden zwei Versuche angestellt, in denen je 5 mg in Ringer'scher Lösung in die Stromuhr injiziert wurden. Diese Dosis genügte, um eine Beschleunigung des Blutstromes auf mehr als das Doppelte des ursprünglichen Wertes zu erzeugen.

Tabelle IV (Stab 11) zeigt ein Ansteigen des v_p -Wertes von 0,026 auf 0,057. Das geschieht unter Abnahme des Mitteldruckes (Stab 2) trotz erheblicher Zunahme der Herzfrequenz. Während nun in den vorhergehenden Versuchen die Abnahme des Widerstandes mit einer Verkleinerung der s S und des St-Q einhergeht, sehen wir bei der Yohimbinwirkung das Gegenteil eintreten: der St-Q (Stab 10) steigt deutlich, und die Abweichungen im Abschnitt II und III Stab 13 der Pulse nehmen auf mehr als das Doppelte zu. In Fig. 8 Taf. IV ist die Stromkurve der Cruralis eines Hundes von 14,5 kg unter Yohimbinwirkung¹⁾ abgebildet; der v_p -Wert beträgt 0,036. Man sieht an der Kurve den starken Unterschied der Neigung im systolischen und diastolischen Abschnitt, der trotz der starken mittleren Neigung der Kurve deutlich ist. Das Besondere der Yohimbinwirkung auf den Strompuls besteht also darin, dass die Abnahme des Tonus nicht wie bei den anderen lähmenden Eingriffen mit einer Abnahme der s S verbunden ist, und dieses Ergebnis vervollständigt die bei der Chlorkalziumwirkung festgestellte Erfahrung, dass Erhöhung des Tonus nicht notwendig zur Verstärkung der s S und des St-Q führt.

IV. Einfluss der Durchschneidung der Nerven.

Über die Wirkung dieses Eingriffes auf den Strompuls wurden nur zwei Versuche angestellt, in denen die drei Nerven der hinteren Extremität (ischiadicus, cruralis und obturatorius) durchgeschnitten wurden. Druck und Stromstärke in der Arteria cruralis wurden etwa $\frac{1}{4}$ Stunde nach der Durchschneidung registriert und darauf noch ein Versuch an der normalen Seite angestellt. Das Ergebnis der beiden Versuche ist kein übereinstimmendes: Während in dem

1) Die Druckkurve musste aus Raumangel abgetrennt werden; die Druckschwankung beträgt 84—220 cm Wasser, $t_{\uparrow} = 0,06$, $t_{\downarrow} = 0,98$ Sekunden.

Tabelle V. Durchschnittsnotierung der Nerven.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13					
												Stromstärke					
												Zeit					
Eingriff	p_m Syst. Diast. cm Wasser	$p_1 - p_2$ cm Wasser	t_s Sek.	t_d Sek.	V_s ccm	V_d ccm	v_s	v_d	St-Q $\frac{v_s}{v_d}$	v_p	e	I	II	III	IV	V	
Linke Cruralis, normal	127 91	75—155	0,27	0,40	1,00	0,78	0,030 0,030	0,021 0,021	1,4 1,4	0,025 0,025	0,0020 0,0020	4,05 6,16 -34	6,75 4,63 +46	3,12 2,68 +16	2,30 2,36 -2	1,57 1,91 -18	reg. ber. % Abw.
Rechte Cruralis, Nerven durch- schnitten	126 91	78—154	0,24	0,26	1,34	0,94	0,044 0,044	0,040 0,040	1,1 1,1	0,042 0,042	0,0009 0,0009	5,76 6,13 -6	7,02 6,66 +5	5,20 4,91 +6	3,99 4,07 -2	3,22 3,43 -6	reg. ber. % Abw.

einen Falle der Unterschied zwischen dem Strompuls der normalen und der entnervten Seite ein ausgesprochener war, fehlte er im anderen. Der Widerspruch erklärt sich damit, dass in letzterem Falle überhaupt keine deutliche Wirkung auf die Blutgefässe erzielt wurde, wie daraus hervorgeht, dass die mittlere Stromstärke auf beiden Seiten annähernd die gleiche war ($v_p = 0,023$ bzw. $0,027$). Es scheint daher, dass in diesem Falle die Vasomotoren auf einem anderen Wege als durch die genannten Nerven zur Extremität gelangten. Das Ergebnis des positiven Versuchs ist in Tabelle V mitgeteilt; Originalkurven sind in Taf. V Fig. 14 (linke Seite normal) und 13 (rechte Seite Nerven durchschnitten) abgebildet.

In der Tabelle zeigt sich die Vasomotorenlähmung in der Änderung der mittleren Stromstärke, deren Werte (v_p Stab 11) in Puls 1 und 2 sich wie 1:1,7 verhalten. Der Einfluss auf die Strompulse findet seinen einfachsten Ausdruck im St-Q (Stab 10), der von 1,4 auf 1,1 sinkt, d. h. die systolische Stromstärke ist im Vergleich zur diastolischen auf der gesunden Seite wesentlich grösser als auf der gelähmten (Stab 8 und 9). Diese Tatsache lässt sich an den Kurven schon mit blossen Auge erkennen. Die Kurve der normalen Seite (14) verläuft nicht

allein im Mittel weniger steil als die der gelähmten (13), sondern zeigt auch im diastolischen Teil eine stärkere Änderung der Neigung gegen den systolischen; sie erscheint stärker geknickt.

Die Vergleichung der Abweichungen der registrierten von der berechneten Stromstärke (Stab 13) zeigt, dass diese an der normalen Extremität bis 46 % gehen, an der entnervten aber nur bis 6 %. Bemerkenswert ist schliesslich das Verhalten des e -Wertes (Stab 12), der auf der entnervten Seite weniger als die Hälfte von dem der gesunden beträgt; ein unwahrscheinliches Ergebnis, wie wir es auch nach Anämie und bei künstlicher Durchströmung der Extremität gefunden haben.

Zusammenfassung.

Zur Schädigung der Lebereigenschaften der Gefässe wurden vier Verfahren benutzt: Anämie, Tötung des Tieres, Vergiftung und Nervendurchschneidung. Die Eingriffe hatten nicht in allen einzelnen Fällen übereinstimmende Wirkung. Als gelungene Fälle werden diejenigen bezeichnet, in welchen die Lähmung der Gefässe in einer Zunahme der mittleren Stromstärke (der v_p -Werte) zum Ausdruck kommt. In diesen Fällen zeigt sich an der Stromkurve regelmässig eine Abnahme oder Beseitigung der s S sowie ein Sinken des $St-Q$. Damit ist eine Abnahme der e -Werte (der Dehnbarkeit der Bahn) verbunden. Eine solche besteht aber nicht in Wirklichkeit, sondern wird durch die Analyse vorgetäuscht, da diese bei den normalen Pulsen falsche, nämlich zu hohe e -Werte liefert.

Die durch die Lähmung hervorgerufene Abnahme des Tonus der Gefässe (Zunahme der v_p -Werte) und die Abschwächung der s S gehen in der Regel Hand in Hand. Dass aber diese Verbindung keine unzertrennliche ist, wurde in der vorhergehenden Abhandlung an der Chlorkalziumwirkung nachgewiesen und in dieser durch die Yohimbinwirkung bestätigt.

Erklärung der Tafeln II—V zu den Abhandlungen I—IV.

Sämtliche Kurven sind mit der Vorrichtung zur optischen Registrierung von Druck und Stromstärke registriert, welche in Pflüger's Arch. Bd. 147 S. 509 beschrieben ist. Bei den Druckkurven entsprechen 15 mm Ordinate einem Druck von 100 cm Wasser; die Abszisse (dicke helle Linie) hat nicht in

allen Kurven denselben Wert; der jeweilige Wert ist in der Erklärung der einzelnen Figuren angegeben.

An den Stromkurven entsprechen 5 mm Ordinate einem Stromvolum von 1 ccm.

Die Abstände der vertikalen Koordinaten stellen die Zeit in 0,1-Sekunden dar; auf manchen Kurven ist diese ausserdem noch durch einen Chronographen in 0,2-Sekunden markiert (zum Beispiel Fig. 15 Taf. V).

Tafel II.

Fig. 1 und 2: Druck- und Strompulse am Schema (Abhandlung I S. 307).

Fig. 1: Schlauchlänge aufwärts von der Stromuhr 100 cm, abwärts 0.

Durchmesser des Schlauches i. L. 7 mm; Stromstärke II; Abszisse = 0.

Fig. 2: Schlauchlänge aufwärts von der Stromuhr 52 cm, abwärts 28½ cm.

Durchmesser 7 mm; Stromstärke I; Abszisse = 0.

Tafel III.

Adrenalinwirkung (Text S. 340). Die Abszissen entsprechen einem Druck von 80 cm Wasser.

Fig. 3: Druck- und Strompulse in der Arteria cruralis vor der Einverleibung von Adrenalin.

Fig. 4: Erster Grad der Adrenalinwirkung.

Fig. 5: Zweiter „ „ „

Fig. 6 und 7: Dritter Grad der Adrenalinwirkung.

Tafel IV.

Fig. 7: Druck und Strom in der Cruralis eines Hundes von 13 kg nach künstlicher Insuffizienz der Aortenklappen. An der Druckkurve ist die Abszisse der Raumerparnis halber entfernt. Die Nulllinie liegt 15½ mm unter dem Fusspunkt des mittleren Pulses (Text S. 356).

Fig. 8: Strompuls der Cruralis eines Hundes von 14,5 kg unter Yohimbinwirkung. Die Druckkurve ist wegen Raummangels entfernt (Text S. 374).

Fig. 9: Druck und Strom in der Cruralis eines Hundes von 19 kg, nachdem das Bein 2 Stunden anämisch gewesen war (Text S. 361). Abszisse = 80 cm Wasser.

Fig. 10: Dasselbe nach Einspritzung von Adrenalin in die Vena jugularis.

Fig. 11: Pulse der Cruralis bei künstlicher Durchströmung des Hinterbeins mit Ringer-Lösung von 20° C. eines Hundes von 10,5 kg. Abszisse = 0 (Text S. 367).

Fig. 12: Dasselbe nach Zusatz von Adrenalin zur Durchströmungsflüssigkeit.

Tafel V.

Fig. 13: Cruralispulse eines Hundes von 11 kg nach Durchschneidung des Nervus ischiadicus, cruralis und obturatorius. Abszisse = 0.

Fig. 14: Pulse desselben Tieres auf der unverletzten Seite (Text S. 374).

Fig. 15: Karotispulse eines Hundes von 16 kg mit stark ausgeprägten respiratorischen Schwankungen des Blutdruckes (Text S. 334).

Fig. 7.

Fig. 8.

Fig. 9.

Fig. 10.

Fig. 11.

Fig. 12.

Fig. 13.

Fig. 14.

Fig. 15.