(Aus dem pharmakologischen Institut der Reichsuniversität Utrecht.)

Beobachtungen an der überlebenden Säugetierlunge.

I. Mitteilung.

**Durchströmungsgeschwindigkeit und Verhalten des Tonus der
Gefäße und Bronchien an der überlebenden Katzenlunge.**

Von

Georg Modrakowski.

(Mit 16 Textfiguren.)

Die hohe Vervollkommnung der Apparate zur Durchströmung überlebender Organe erlaubt uns gegenwärtig, die Tätigkeit der einzelnen Organe, losgelöst vom Einflusse des Zentralnervensystems und den übrigen Teilen des Körpers, bequem und eingehend zu untersuchen. Als einer der vollkommensten, in Konstruktion und Gebrauch einfachsten hat sich der Durchblutungsapparat von Brodie bewährt, wie er in der vor kurzem erschienenen Arbeit von Magnus, Sorgdrager und Storm van Leeuwen: „Über die Undurchgängigkeit der Lunge für Ammoniak“¹⁾ genau beschrieben und abgebildet ist. Mit Hilfe dieses Apparates untersuchte ich die Bedingungen des Entstehens von Lungenödem am isolierten Organe. Dabei ergab sich die Notwendigkeit eines genaueren Studiums der Zirkulationsverhältnisse in der überlebenden Lunge, über dessen Ergebnisse ich im folgenden berichten möchte. Der Brodie'sche Apparat gibt alle dazu erforderlichen Hilfsmittel in die Hand. Zum besseren Verständnis möchte ich die wichtigsten Bestandteile des Apparates ins Gedächtnis zurückrufen mit Benutzung der in der zitierten Arbeit gegebenen Abbildung, die in Fig. 1 reproduziert ist. Aus dem venösen Gefäße *B*, in dem sich das aus dem durchbluteten Organe

1) Pflüger's Arch. Bd. 155 S. 275. 1914.

kommende Blut ansammelt, wird es durch eine Pumpe *C* mit regulierbarem Schlagvolumen in das arterielle Gefäß *F* befördert. In diesem wird durch eine Wasserstrahlpumpe ein bestimmter Druck hergestellt. Aus dem arteriellen Gefäße gelangt das Blut dann unter diesem bekannten Drucke in das isolierte Organ und durch dessen abführendes Gefäß zurück in den venösen Behälter. Dieser sowie das arterielle Gefäß sind mit einem dünnen Gummikondom versehen, der allen Druckschwankungen nachgibt, aber die Berührung des Blutes mit

Fig. 1.

der Luft ausschliesst. Man kann durch einen durchbohrten Stopfen das venöse Gefäß verschliessen und mit einem geeichten Pistonrekorder verbinden. Lässt man Pulsfrequenz und Schlagvolumen der Pumpe ungeändert, so ändert sich die Blutmenge im Reservoir *B* allein bei Zu- oder Abnahme des Blutflusses aus dem Organe. Infolgedessen kann man mit dem Pistonrekorder Änderungen der Kreislaufgeschwindigkeit durch das Organ graphisch registrieren. Ausserdem wird bei jedem einzelnen Pulse der Pumpe („Systole“) eine bestimmte Blutmenge aus dem venösen Reservoir herausgepumpt, die während der „Diastole“ der Pumpe vom Organ her wieder ersetzt wird.

Auch diese Pulse des Apparates werden durch den Pistonrekorder genau registriert; man kann daher die Grösse des „Schlagvolumens“ der Pumpe direkt auf der Kurve ablesen. Das Produkt von Schlagvolumen und Pulszahl ergibt die Durchblutungsgrösse des Organs. Der Pistonrekorder war wiederholt geeicht, teils durch Injektion eines bekannten Luftvolumens mit einer graduirten Spritze, teils in Verbindung mit dem Durchströmungsapparate durch Einfließen abgemessener Quantitäten Flüssigkeit. Ferner wurden blinde Versuche, bei denen an Stelle der Lunge eine Gummischlauchverbindung zwischen zu- und abführender Kanüle bestand, ausgeführt. Dabei wurde bei verschiedenen Drucken — wie im Experiment — aus der Pumpenkurve die Durchströmungsgeschwindigkeit berechnet und verglichen mit der Flüssigkeitsmenge, die in derselben Zeit bei Ableitung der ausströmenden Flüssigkeit statt in das venöse Gefäss in einen graduirten Zylinder ausströmte. Die berechnete Flüssigkeit stimmte dabei gut mit der gemessenen überein. Bei dem Abfliessen nach aussen sank natürlich die Pumpenkurve um ein entsprechendes Stück nach unten. Die Grösse dieser Senkung entsprach wieder genau der Menge der abgelaufenen Flüssigkeit.

Schliesslich lässt sich in der Höhe der Lungenarterie und -vene je ein Quecksilbermanometer einschalten, auf dem der jeweils in den Lungengefässen herrschende Druck abgelesen werden kann. Der arterielle Druck kann durch das Quecksilberventil *H* variiert werden; der venöse Druck wird am besten zu Beginn der Versuche zunächst einige Millimeter unter Null gehalten und kann dann durch Verengerung des venösen Schlauches mit einer Klemmschraube beliebig erhöht werden¹⁾. Zur Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit wurden die Lungen, die stets von Katzen stammten, mit reinem defibrinierten Katzenblute durchblutet. Obwohl für eine normale Durchblutung das Blut des Tieres, von dem die Lunge stammte, genügt hätte, musste ich doch das Blut von zwei, manchmal auch drei Katzen verwenden, da ich im weiteren Verlaufe der einzelnen Versuche Stauung in den Lungen erzeugte, wozu sehr viel Blut nötig war.

Das wesentlichste Moment für eine gute Durchblutung liegt in der Vermeidung aller Gerinnsel. Das liess sich mit Sicherheit nur

1) In anderen Versuchen wurde der venöse Druck durch Höher- oder Tieferstellen der Lunge verändert ohne Verengerung des Abflussrohres. Siehe die II. Mitteilung.

durch Durchspülung des Tieres mit defibriertem artgleichem Blute erreichen. Auf diese Weise erhielt ich eine sehr schöne und reich-

Alle Kurven sind auf die Hälfte verkleinert und von links nach rechts zu lesen. Die obere Kurve registriert auf allen Versuchen das Volumen der künstlich geatmeten Lunge, die untere die Durchblutung. Zeitschreibung in Sekunden. Als Nulllinie des expiratorischen Lungenvolumens wird die Verbindungslinie der unteren Spitzen der Lungenkurve angenommen. Abweichungen darüber oder darunter werden in den späteren Abbildungen desselben Versuches (Fig. 3—8) in Millimetern Abstand von der angenommenen Nulllinie angegeben. 5 mm der Atemkurve entsprechen 1 ccm Luft, 3 mm der Durchblutungskurve 1 ccm Blut.

Fig. 2. Versuch XXX. 3^h 15'. Während des ganzen Versuches je 48 Atemzüge und 96 Pumpenpulse in 1'. Höhe der Atemexkursionen 31,4 mm = 6,28 ccm Luft. Höhe der Pumpenpulse 3 mm. Durchströmungsgeschwindigkeit 96 ccm Blut in 1' bei 18 mm Hg arteriellem und + 1 mm venösem Druck, also bei Gefälle von 17 mm.

Fig. 3. Versuch XXX. 3^h 32'. Arterieller Druck 16 mm Hg, venöser 0 mm. Gefälle 16 mm. Höhe der Pumpenpulse 3,6 mm. Durchströmungsgeschwindigkeit 115,2 ccm. Expiratorisches Lungenniveau auf 7 mm unter die Nulllinie gesunken.

liche Durchblutung der isolierten Lunge. Der Verlauf des einzelnen Experimentes war also folgender:

Die Katze wurde in Äthernarkose tracheotomiert und künstliche Atmung eingeleitet. Dann wurde eine Vena jugularis mit einer Kanüle

versehen und aus der einen Karotis entblutet. Während des Verblutens wurde laparotomiert, die Aorta unter dem Zwerchfell unterbunden und dann der Hinterkörper des Tieres an einem Gestelle aufgehängt, um eine möglichst ausgiebige Entblutung zu erreichen; dann wurde auch die Cava inferior unterbunden und nun, als das Tier schon zum grössten Teil entblutet war, das eigene defibrinierte Blut oder das einer vorher entbluteten Katze in die V. jugularis aus einer Bürette eingeführt. Dabei schlug das Herz kräftig weiter, so dass die Prozedur zwei- bis dreimal wiederholt werden konnte, bis man sicher war, dass der Vorderkörper der Katze mit defibriniertem Blute gefüllt war. Nun erst wurde endgültig entblutet. Dann wurde der Thorax in der Mittellinie eröffnet, durch einen Einschnitt in den rechten Ventrikel eine Glaskanüle in die Art. pulmonalis, in den linken Vorhof eine zweite Glaskanüle für die V. pulmonales eingeführt und festgebunden. Die Herzkammern wurden durch Tabaksbeutelnaht abgeschnürt; dann wurde die Lunge vorsichtig dem Thorax entnommen, mit dem arteriellen und venösen Schlauche des Durchblutungsapparates verbunden und in den Plethysmographen gebracht. Dieser bestand aus einem Glasgefäss mit vierfach durchbohrtem Gummistopfen; durch zwei der Öffnungen wurde der arterielle Zufluss und venöse Abfluss, durch die dritte die Trachealkanüle zur künstlichen Atmung geleitet. Die vierte diente zur Verbindung mit dem Volumschreiber (Brodie-Bellows). Während der eben beschriebenen Vorbereitungen wurde die Lunge ununterbrochen ausgiebig ventiliert.

Aus einer grösseren Reihe von Versuchen füge ich den folgenden als Beleg an.

Versuch XXX.

Katze von 1720 g Gewicht. Operation wie beschrieben. Lunge im Plethysmographen. Beginn der Durchblutung um 2^h 20'; die Temperatur des durchfliessenden Blutes ist 31° C., steigt aber allmählich auf 33,5° C. und bleibt dann konstant.

Während der ganzen Versuchsdauer je 48 künstliche Atemzüge und 96 Pumpenpulse in der Minute. Je 5 mm Ausschlag des Brodie-Bellows entsprechen 1 ccm Luft, je 3 mm Ausschlag der Pumpenkurve 1 ccm Blut.

Im vorliegenden Versuche wurde der arterielle Druck auf 18 mm Hg, der venöse auf + 1 mm Hg eingestellt, was etwa den normalen Verhältnissen an der lebenden Katze entspricht. In der Zeit von 3^h 10' bis 3^h 29' — Fig. 2 — beträgt die Höhe der einzelnen Pumpenschläge 3 mm, woraus die Durchströmungsgeschwindigkeit mit 96 ccm in der Minute berechnet wird. Die Höhe der durch den Brodie-Bellows verzeichneten Atemzüge beträgt 29—31 mm, also 5,8—6,2 ccm Luftvolumen; das expiratorische Niveau der Lungenkurve wird als Nulllinie für Abweichungen nach oben und unten im weiteren Verlaufe des Versuches angenommen. Dann zeigt ein allmähliches Ansteigen der Pulscurve eine Erweiterung der Strombahn, also eine Abnahme des Tonus der Lungengefässe an. Es wird nun der arterielle Druck auf 16 mm Hg, der venöse auf 0 eingestellt; gleichzeitig werden die

Pumpenschläge auf 3,6 mm erhöht, wodurch das Gleichgewicht zwischen Zu- und Abfluss wieder hergestellt ist (Fig. 3). Die Durchströmungsgeschwindigkeit wird aus der Pulscurve auf 115,2 ccm berechnet. Die Messung des Ausflusses in einen graduierten Zylinder ergibt in 10 Sekunden 20 ccm, also 120 ccm in der Minute. Bei unwesentlicher Zunahme der Atemgrösse ist das expiratorische Lungenniveau auf 7 mm unter die Nulllinie von Fig. 2 gesunken.

Fig. 4. Versuch XXX. 3^h 38'. Arterieller Druck 15 mm Hg, venöser + 5 mm. Gefälle 10 mm. Höhe der Pumpenpulse 2,7 mm. Durchströmungsgeschwindigkeit 86,4 ccm Blut in 1'. Der Abfall der Durchblutungskurve ist durch Abfluss von 14 ccm Blut nach aussen bedingt. Expiratorisches Lungenniveau 6 mm unter der Nulllinie. Atemgrösse 45 mm = 9 ccm Luft.

Fig. 5. Versuch XXX. 4^h 2'. Arterieller Druck 21 mm Hg, venöser + 3 mm. Gefälle 18 mm. Höhe der Pumpenpulse 6,5 mm. Durchströmungsgeschwindigkeit 208 ccm Blut in 1'. Expiratorisches Lungenniveau 12 mm unter der Nulllinie. Atemgrösse 46 mm = 9,2 ccm Luft.

Gegen 3^h 37' wird das Lumen des das Lungenblut abführenden Schlauches ganz wenig durch leichtes Anziehen der Schraubenklemme verengt, so dass sich der Druck auf + 15 mm Hg auf der arteriellen, + 5 mm auf der venösen einstellt, also mit einer Druckdifferenz von 10 mm statt 17 mm wie zu Anfang. Infolgedessen sinkt der Ausfluss

aus der Lunge rapid, so dass das Schlagvolumen der Pumpe verkleinert werden muss. Die Kurve des Lungenvolumens ist durch die geringfügige Stauung ein klein wenig gehoben; gleichzeitig sind die Atemexkursionen auf $45 \text{ mm} = 9 \text{ ccm}$ Luftvolumen angestiegen. Durch Einstellen der Pumpenexkursionen auf $2,7 \text{ mm}$ wird das Gleichgewicht zwischen Ein- und Ausfluss durch die Lunge wieder hergestellt (Fig. 4);

Fig. 6. Versuch XXX. $4 \text{ h } 5'$. Arterieller Druck 21, venöser $+3 \text{ mm Hg}$ wie auf Fig. 5. Bei *a* Erhöhung des venösen Druckes auf $+6 \text{ mm Hg}$, bei *b* auf $+12 \text{ mm}$, so dass das Gefälle nur noch 9 mm statt 18 beträgt. Das expiratorische Lungenniveau erhebt sich nun 20 mm über die Nulllinie. Die Atemgrösse sinkt auf $34 \text{ mm} = 6,8 \text{ ccm}$ Luft. Die Durchströmungskurve fällt steil ab; nach Regulierung der Pumpe verläuft sie bei Ausschlägen von $4,4 \text{ mm}$ wieder geradlinig. Durchströmungsgeschwindigkeit $140,8 \text{ ccm Blut in } 1'$.

dabei ist die Durchströmungsgeschwindigkeit $86,4 \text{ ccm Blut pro } 1 \text{ Minute}$. Bei direkter Messung ergab sich ein Ausfluss von 14 ccm in 10 Sekunden , als 84 ccm in der Minute. Um 4 h wird der Druck auf 21 mm Hg arteriell und $+3 \text{ mm}$ venös, also mit einer Differenz von 18 mm gegen 10 mm vorher eingestellt. Dabei muss die Pumpe zur

Erzielung des Durchströmungsgleichgewichtes auf 6,5 mm reguliert werden, woraus sich eine Durchströmungsgeschwindigkeit von 208 ccm pro 1 Minute ergibt. Das expiratorische Lungenniveau geht dabei bis auf 12 mm unter die Nulllinie. Die Atemgrösse beträgt 46 mm = 9,2 ccm Luft.

Fig. 7. Versuch XXX. 4h 22'. Anfängliche Druckwerte: 23 mm Hg arteriell, + 15 mm venös wie auf der vorhergehenden Figur. Verminderung des venösen Druckes auf + 3 mm und des arteriellen auf 20 mm, so dass das Gefälle von 8 auf 17 mm steigt. Sofortiges Absinken des expiratorischen Lungenniveaus von 5 mm über der Nulllinie auf 17 mm unter dieselbe. Atemgrösse 33 mm = 6,6 ccm Luft. Die Durchblutungskurve steigt infolge des vermehrten Abflusses aus der Lunge steil an. Regulierung der Pumpe.

Fig. 8. Versuch XXX. 4h 27'. Arterieller Druck 20 mm Hg, venöser + 3 mm, Gefälle 17 mm. Höhe der Pumpenpulse 5,5 mm. Durchströmungsgeschwindigkeit 176 ccm Blut in 1'. Atemgrösse 29 mm = 5,8 ccm Luft.

Erschwerung des venösen Abflusses durch Erhöhung des Druckes auf 12 mm, so dass das Gefälle auf 9 mm sinkt, bewirkt starke Verminderung des Ausflusses und deutliche Zunahme der Blutfülle in der

Lunge. Die Volumenkurve derselben steigt jetzt um 20 mm nach oben; die Atemgrösse fällt dabei auf 34 mm = 6,8 ccm Luft.

Durch Verkleinerung der Pumpenschläge von 6,5 mm auf 4,4 mm wird das Gleichgewicht zwischen Zu- und Abfluss mit 140,8 ccm Durchströmungsgeschwindigkeit wieder hergestellt (Fig. 6).

Fig. 9. Versuch XXX. 4^h 34'. Im Beginn 20 mm arterieller, + 7 mm venöser Druck. Das expiratorische Lungenniveau wird als neue Nulllinie angenommen. Atemgrösse 41 mm = 8,2 ccm Luft. Erhöhung des Druckes auf 24 mm arteriell und + 19 mm venös (Gefälle also 5 mm) bewirkt Erhebung des expiratorischen Lungenniveaus auf 20 mm über die Nulllinie. Dabei Verkleinerung der Atemgrösse auf 33 mm = 6,6 ccm Luft. Gleichzeitig fällt die Durchblutungskurve rapide ab. Nach Regulierung der Pumpe beträgt die Höhe der Pulse 3 mm, die Durchströmungsgeschwindigkeit 96 ccm in 1'. Am Ende des Kurvenausschnittes Absinken der Durchblutungskurve, bedingt durch Abfließen von 8 ccm Blut in 5" in einen Messzylinder.

Gegen 4^h 22' wird die Erschwerung des venösen Abflusses gehoben und der Druck auf 20 mm Hg arteriell und + 3 mm venös eingestellt (Fig. 7). Als unmittelbare Folge sinkt das Niveau des Lungenvolumens von 5 mm über der Nulllinie auf 17 mm unter dieselbe. Der Ausfluss steigt steil an, so dass die Pumpenschläge auf

5,8 mm vergrößert werden müssen, was einer Durchströmungsgeschwindigkeit von 185,6 ccm in der Minute entspricht. Nachdem das gestaute Blut aus der Lunge abgeflossen ist, sinkt die Pumpenkurve, als Zeichen, dass mehr Blut durch die Pumpe ausgeworfen wird als von der Lunge zufließt. Daher werden die Pumpenschläge auf 5,5 mm herabgesetzt, womit das Gleichgewicht hergestellt ist. Die Durchströmungsgeschwindigkeit wird nun auf 176 ccm in der

Fig. 10. Versuch XXX. 4^h 55'. Atem kurz vorher neu eingestellt. Atemgrösse 59 mm = 11,8 ccm Luft. Arterieller Druck 24 mm Hg, venöser + 4 mm. Gefälle 20 mm. Höhe der Pumpenpulse 8 mm. Durchströmungsgeschwindigkeit 256 ccm in 1'.

Fig. 11. Versuch XXX. 4^h 56'. Atemgrösse 48 mm = 9,6 ccm Luft. Arterieller Druck 24 mm Hg, venöser + 4 mm Hg, Gefälle 20 mm. Höhe der Pumpenpulse 8,5 mm. Durchströmungsgeschwindigkeit 272 ccm in 1'.

Minute berechnet; die direkte Messung ergibt 176,4 ccm, die Berechnung aus dem Abfall der Pumpenkurve 178,4 ccm (Fig. 8). Da die einzelnen Atemzüge eine zunehmende Tendenz zur Verkleinerung zeigen, wird die Lunge einigemal kräftig ventiliert. Die Atemgrösse beträgt danach 41 mm = 8,2 ccm Luft.

Gegen 4^h 35' wird die Durchblutung wieder erschwert, indem der arterielle Druck auf 24 mm Hg, der venöse auf + 19 mm, also mit einem Gefälle von nur 5 mm, etwa 4 Minuten lang gehalten wird. Dabei steigt das Niveau des Lungenvolumens sofort bis 20 mm über

die neue Nulllinie, wobei die Atemexkursionen auf 33 mm = 6,6 ccm Luft heruntergehen. Gleichzeitig fällt die Pumpenkurve rapid ab. Durch Regulierung der Pumpe auf 3 mm Pulshöhe wird der Zufluss dem Abfluss wieder gleich. Dabei wird aus Pulszahl und -höhe eine Strömungsgeschwindigkeit von 96 ccm berechnet. Die gleiche Zahl ergibt die Messung des Abfalles der Pulskurve bei Abfluss von 8 ccm in 5 Sekunden nach aussen (Fig. 9).

Um 4 h 53' wird der das Lungenvolumen und die Atemgrösse registrierende Brodie-Bellows neu eingestellt. Das Niveau der Kurve des Lungenvolumens verläuft nun 104 mm über der untersten geraden Linie mit einer Atemgrösse von 49 mm = 9,8 ccm Luft. Bei einem arteriellen Drucke von 24 mm und einem venösen von + 4 mm, was ein Gefälle von 20 mm ergibt, erreichen die Pumpenpulse jetzt die Höhe von 8 mm (Fig. 10) und dann sogar von 8,5 mm (Fig. 11), woraus sich die kolossalen Durchströmungsgeschwindigkeiten von 256 und 272 ccm in der Minute berechnen. Die direkte Messung zwischen Fig. 10 und 11 ergibt 264 ccm.

Der Versuch wurde dann noch bis 6 h 20' fortgesetzt, dauerte also im ganzen 4 Stunden; doch wurden dann nur noch Beobachtungen über Stauung und Ödem angestellt, auf die ich an dieser Stelle nicht einzugehen habe.

Die angeführten Bestimmungen der Durchströmungsgeschwindigkeit beziehen sich auf Druckwerte, wie sie wohl normal an der lebenden Katze vorkommen. Nach Tigerstedt¹⁾ beträgt der Druck in der Lungenarterie bei der Katze im Mittel 18 mm Hg, wobei die Grenzwerte 7,5—24,7 mm Hg betragen. Der Druck im linken Vorhof darf mit etwa 1 mm angesetzt werden, wobei natürlich erhebliche Schwankungen nach oben anzunehmen sind.

Die Gesamtblutmenge des Versuchstieres von 1720 g darf nach der üblichen Berechnung = 7 % auf etwa 120 ccm veranschlagt werden. Es ergibt sich also, dass bei durchaus normalen, keineswegs hohen Druckwerten beträchtlich mehr als das Doppelte der Blutmenge des Körpers in einer Minute die Lunge passieren kann (256—272 ccm bei einem Druckgefälle von 20 mm; der arterielle Druck betrug 24 mm Hg, der venöse + 4 mm). Allerdings ist anzunehmen, dass es sich dabei um erschlaffte Gefässe handelt, nachdem der anfänglich vorhandene Tonus der Lungengefässe mehr und mehr einer Erweiterung Platz gemacht hatte; denn im Anfange des Versuches ergibt ein Druckgefälle von 17 mm Hg die Durchströmungsgeschwindigkeit von 96 ccm, während später das gleiche Gefälle 176 ccm in der Minute durch die Lungengefässe treibt.

1) Tigerstedt, Der kleine Kreislauf. *Ergebn. d. Physiol.* Bd. 2 T. 2. 1903.

Versuch XXVII. Katze von 3050 g Gewicht.

Es durchfliessen die Lunge in je 1 Minute			
bei arteriellem Druck	bei venösem Druck	Gefälle	Kubikzentimeter Blut
16 mm Hg	0 mm Hg	16	83,2
21 " "	0 " "	21	121,6
30 " "	0 " "	30	160
30 " "	13 " "	17	96

Versuch XXVIII. Katze von 1720 g Gewicht.

Es durchfliessen die Lunge in je 1 Minute			
bei arteriellem Druck	bei venösem Druck	Gefälle	Kubikzentimeter Blut
20 mm Hg	+ 3 mm Hg	17	72
30 " "	+ 2 " "	28	120
30 " "	+ 13 " "	17	84
30 " "	+ 13 " "	17	96

Versuch XXXI. Katze von 1600 g Gewicht.

Es durchfliessen die Lunge in je 1 Minute			
bei arteriellem Druck	bei venösem Druck	Gefälle	Kubikzentimeter Blut
15 mm Hg	+ 2 mm Hg	13	60
22 " "	+ 8 " "	14	108
40 " "	+ 25 " "	15	108
42 " "	+ 25 " "	17	120
58 " "	+ 31 " "	27	150

Versuch XXX. Katze von 1720 g Gewicht.

Es durchfliessen die Lunge in je 1 Minute			
bei arteriellem Druck	bei venösem Druck	Ge- fälle	Kubikzentimeter Blut
18 mm Hg	+ 1 mm Hg	17	96
16 " "	0 " "	16	115,2
15 " "	+ 5 " "	10	86,4
21 " "	+ 3 " "	18	208
21 " "	+ 12 " "	9	140,8
20 " "	+ 3 " "	17	185,6 bis 176
24 " "	+ 19 " "	5	96
24 " "	+ 4 " "	20	256 bis 272

} während der ersten Stunde
der Durchblutung

} während der zweiten Stunde

} während der dritten Stunde

Die Menge von 96 ccm fließt dann schon bei einem Druckunterschied von 5 mm Hg zwischen Pulmonalarterie und Vene durch die Lunge.

Das angeführte Experiment XXX zeichnete sich durch eine besonders gute Durchströmung der überlebenden Lunge aus. Ich erhielt zwar auch in anderen Versuchen ähnlich hohe Zahlen; doch war dann dem Blute physiologische Kochsalzlösung zugesetzt. Wenn deren Menge auch sehr gering war, so können diese Versuche doch nicht hier berücksichtigt werden. Dann habe ich eine Anzahl Versuche gemacht mit Blut, aus dem im Versuch vorher Lungenödem transsudiert war; hier war wegen der höheren Viskosität die Durchströmungsgeschwindigkeit erheblich geringer. Ich führe daher nur noch die Zahlen aus drei Versuchen an, bei denen reines frisches Blut verwandt war. In diesen Versuchen wurden die Messungen bei Versuch XXVII (S. 520) in der ersten halben Stunde, bei Versuch XXVIII (S. 520) und XXXI (S. 520) in der ersten Stunde ausgeführt, wo der Tonus der Lungengefäße noch nicht sehr nachgelassen hatte. In dem oben ausführlich beschriebenen Versuche XXX (S. 520) fielen die hohen Durchströmungswerte in die zweite Hälfte der zweiten und in die dritte Stunde.

Da die mehr oder minder ausgiebige Ventilation keinen bemerkbaren Einfluss auf die Durchströmungsgröße hatte, lasse ich zur besseren Übersicht die Atemzahlen fort und führe nur die Druckwerte und die dabei in der Minute die Lunge durchströmende Blutmenge in Kubikzentimetern an.

Fig. 12. Durchströmungskurve aus einem blinden Versuche, welche die durch die Apparatur bedingten rhythmischen Schwankungen zeigt.

Zum Vergleich führe ich auch die in Versuch XXX (S. 520) in der ersten und den folgenden Stunden erhaltenen Werte in der gleichen tabellarischen Form noch einmal an.

Aus der allmählichen Zunahme der Durchströmungsgeschwindigkeit durch die isolierte Lunge, die nach der ersten Stunde bei gleichen Drucken erheblich grösser ausfällt als vorher, schliesse ich, dass eine Zeitlang ein ausgeprägter Tonus der überlebenden Lungengefässe

Fig. 13 aus Versuch VIIIa zeigt Tonusschwankungen der Gefässe der überlebenden Lunge bei Druckwerten von 30 mm Hg arteriell und — 4 mm venös während der ersten halben Stunde der Durchblutung.

besteht. Dafür sprechen auch das Auf- und Abschwanken der Durchblutungskurven bei unveränderter Pumpengrösse, wie sie oft besonders in der ersten Zeit der Durchblutung auftreten.

Diese Tonusschwankungen sind wohl zu unterscheiden von rhythmischen, durch die Apparatur bedingten Schwankungen. Ich führe zunächst auf Fig. 12 eine Pumpenkurve aus einem blinden Versuch

ohne Lunge mit Wasser an bei einem Drucke von 21 mm auf der arteriellen und + 14 mm auf der venösen Seite. Diese rhythmischen Schwankungen kommen bei grösseren Pumpenausschlägen in allen

Fig. 14 aus Versuch XVI. Tonusschwankungen auf der Durchblutungskurve bei Druckwerten, 25 mm Hg arteriell und — 4 mm venös. Aus der ersten halben Stunde des Versuches. Die Höhe der Atemzüge steigt allmählich von 19,5 mm auf 39 mm, was auf Nachlassen des Tonus der Bronchialmuskulatur beruht.

Versuchen zum Vorschein (siehe besonders deutlich Fig. 10 und 11). Dagegen führe ich auf Fig. 13 einen Kurvenausschnitt aus Versuch VIIIa an, der aus der ersten halben Stunde der Durchblutung bei Druckwerten von 30 mm Hg arteriell und — 4 mm venös stammt. Dabei waren die Pumpenpulse während über 20 Minuten nicht ge-

ändert worden. Ähnliche Tonusschwankungen, nur noch ausgiebiger, sehen wir auf Fig. 14. Die Kurve stammt von Versuch XVI bei einem arteriellen Druck von 25 mm Hg und einem venösen von — 4 mm aus der ersten halben Stunde. Hierbei blieben die Pumpenpulse fast eine Stunde lang ungeändert, ebenso die anfangs eingestellte Atmung. An der Lungenkurve ist ein ständiges Anwachsen

Fig. 15. Versuch XXI. Zunahme der Atemexkursionen bei Zusatz von 0,0005 Suprarenin Höchst zum venösen Blute.

der Atemgrösse zu beobachten, die zu Anfang 19,5 mm, am Ende dagegen 39 mm beträgt, eine Erscheinung, die offenbar auf einen allmählich nachlassenden Bronchialtonus hinweist.

Ähnliche Beobachtungen wurden in vielen Versuchen gemacht. Analog dem Tonus der Gefässe liess auch der der Bronchien allmählich nach.

Da nun bekanntlich Adrenalin die Bronchialmuskulatur erschlaft, lag es nahe, es als Reagens auf vorhandene Kontraktion der Bronchien

zu benutzen. Dabei erhielt ich meistens eine geringe Zunahme der Atemexkursionen. In einem Versuche jedoch ergab sich eine [so gewaltige Zunahme der Atmung, dass ich ihn hier besonders anführe.

Versuch XXI.

Kleine Katze von 1800 g Gewicht; um $\frac{3}{4}11$ h Gross- und Kleinhirn zu anderen Zwecken entfernt. Von $\frac{3}{4}11$ h ab künstlich geatmet.

Fig. 16. Versuch XXI. Seit Fig. 15 sind 20' verflossen. Die Atemgrösse ist über das $1\frac{1}{2}$ fache der Norm angestiegen.

Um 12 h werden die Lungen in den Plethysmographen gebracht. Gute Durchblutung bei 23 mm Hg arteriellem und 0 venösem Druck. Um 12 h 39' Druckwerte: 27 mm Hg arteriell, + 10 mm venös. Dabei ebenfalls gute Durchströmung. Es wird mit 140 ccm unverdünntem Blut durchspült.

Um 1 h 9' Zusatz von 0,0005 g Suprarenin zum venösen Blute. Auf Fig. 15 ist das Fallen der Durchblutungskurve als Ausdruck der Gefäßverengerung und das ganz ausserordentliche Ansteigen der Atemexkursionen zu sehen. Sie betrugen anfangs 45 mm = 9 ccm Luft und stiegen dann (Fig. 16) bis auf 115 mm = 23 ccm Luft. Dieser gewaltige Atem blieb bis zum Schluss des Versuches um 2 h bestehen.

Auf die Gefässwirkung des Suprarenins gehe ich nicht weiter ein, da meine diesbezüglichen Untersuchungen nicht zum Abschluss gekommen sind. Nur möchte ich bemerken, dass ich mit Suprarenin — Höchst mit Dosen von 0,06—0,3 mg auf 100 ccm Durchströmungsflüssigkeit in manchen Fällen Verengerung, in anderen starke Erweiterung der Gefässe an der überlebenden Katzenlunge erhalten habe.

Als Resultate der vorliegenden Untersuchungen sind hervorzuheben:

1. In der mit defibriniertem artgleichem unverdünntem Blute durchströmten überlebenden Katzenlunge besteht ein allmählich nachlassender Tonus der Gefässe.

2. Die Durchströmungsgeschwindigkeit kann bei Druckwerten, wie sie etwa dem Durchschnitt am normalen Tier entsprechen, bei einem Gefälle von 20 mm Hg bis zu 272 ccm Blut in 1 Minute betragen.

3. Es besteht auch ein allmählich nachlassender Bronchialtonus, wie dies spontane oder durch Suprarenin bewirkte Erhöhung der Atemexkursionen bei gleichbleibender künstlicher Atmung beweist.