Studien über den Energiewechsel und die Blutveränderungen bei eingeschränkter Atemfläche.

I.

Gasaustausch und Herzdynamik bei eingeschränkter Atemfläche.

Von

Jusaburo Yoshida.

(吉田重三郎)

(Aus der Medizinischen Klinik von Prof. Dr. T. Kato
an der Kaiserlichen Universität zu Sendai.)

Einleitung.

Wichtig ist es, die Veränderung des Gaswechsels und den Zustand des Lungenkreislaufs bei verkleinerter bzw. eingeschränkter Atemfläche zu untersuchen.

In der Literatur findet man darüber folgendes. Quincke und Pfeifer¹⁾ machten Durchströmungsversuche bei aus einem Hunde ausgeschnittenen, und durch verschiedene Methoden ausgedehnten resp. kollabierten Lungen und erkannten, dass die Flüssigkeit die durch in einem als Pleurahöhle wirkenden Apparate künstlich erzeugten negativen Druck erweiterte Lunge besser als die Lunge im Kollapszustande durchströmte, und schlossen daraus, dass der normale Lungenkreislauf bei der Lungenerweiterung beim Inspirium besser als im Schrumpfungszustand beim Expirium durchblutet wird. Dies bestätigten Funk und Latschenberger,²⁾ Bowditch und Garland,³⁾ Jäger⁴⁾ u. a. später auch durch Tierexperimente. Dagegen beobachtete Sackur,⁵⁾ dass beim künstlichen Pneumothorax der O₂-Gehalt des Carotisbluts abnimmt, und berechnete auf Grund dieser Untersuchung theoretisch-mathematisch, dass in der kollabierten Lunge im Gegenteil die Blutdurchströmung grösser sein muss. Sauerbruch,⁶⁾ Cloetta,⁷⁾ Rhoden⁸⁾ u. a. unterstützten diese Annahme. Hess⁹⁾ untersuchte die Durchblutung in der durch Abschluss des einseitigen Lun-

1) Quincke und Pfeifer, Arch. f. Anatom. und Physiol., 1871, 90.

2) Funke und Latschenberger, Pflüger's Archiv, 1878, **17**, 547.

3) Bowditch und Garland, Journ. of Physiol., 1879, **2**, 91.

4) Jäger, Pflüger's Archiv, 1879, **20**, 426.

5) Sackur, Virchows Archiv, 1879, **150**, 151.

6) Sauerbruch, Mitteil. aus d. Grenzgeb. der Med. und Chir., 1904, **13**, 399.

7) Cloetta, Archiv f. exp. Path. und Pharmakol., 1912, **70**, 407.

8) Rhoden, Deutsch. Archiv f. klin. Med., 1913, **109**, 383.

9) Hess, Deutsch. Archiv f. klin. Med., 1912, **106**, 487.

genbronchus nicht atmenden Lungenpartie und fand Abnahme des O_2 -Gehalts im arteriellen Blut und gelangte deshalb zum Schluss, dass die nicht atmende Lungenpartie fast ebenso wie die normal atmende Lungenpartie durchblutet würde, weshalb er die Annahme Sackurs⁵⁾ u. a. unterstützte. Dagegen fand Bruns¹⁰⁾ den Blutgehalt in den Blutkapillaren der Kollaps-lunge kleiner als den der nicht kollabierten Lunge, womit er die Unrichtigkeit der Angabe Sackurs⁵⁾ u. a. erwies. Ebert¹¹⁾ wies nach, dass die Lungenzirkulation beim Inspirium besser ist. Kudo¹²⁾ fand bei künstlichem Pneumothorax Abnahme des Minuten-volums und behauptete daraufhin die Erschwerung der Durchblutung bei der in ihrer Atem-fläche beschränkten Lunge. Toyama¹³⁾ behauptete dasselbe; er injizierte Kaninchen bei künstlichem Paraffinothorax Karmin intravenös und untersuchte den Verteilungszustand des Karmins in der Lunge.

Bez. des Blutgases fand Sackur,⁵⁾ wie oben geschildert, Abnahme des O_2 -Gehalts des arteriellen Bluts bei Pneumothorax. Yamakita und Kato¹⁴⁾ brachten bei Kaninchen offenen oder geschlossenen Pneumothorax, Hydrothorax oder Stenose des Bronchus hervor und massen dann die O_2 -Unsättigung des arteriellen Bluts, was deren Zunahme bestätigte. Nishiyama¹⁵⁾ erzeugte auch bei Kaninchen künstlichen Pneumothorax resp. Hydrothorax und konnte die Zunahme der O_2 -Unsättigung des arteriellen Bluts bemerken; bei der Beobachtung ihrer zeitlichen Veränderung fand er, dass die Grade ihrer Zunahme je nach der Art der eingeführten Gase verschieden sind. Ausserdem beobachtete Hürter¹⁶⁾ bei solchen Krankheiten, die die Atemfläche rasch beschränken, auch George, Heuer und Andrus,¹⁷⁾ Sekiguchi und Uebayashi,¹⁸⁾ Takenaka¹⁹⁾ u. a. bei Lungenexstirpation deutliche Herabsetzung des O_2 -Gehalts im arteriellen Blut und ausgesprochene Zunahme der O_2 -Unsättigung. Yamada²⁰⁾ injizierte Paraffinum fluidum in die Brusthöhle und zog es nachher ab, wobei er bemerkte, dass der O_2 -Gehalt des arteriellen Bluts nach der Beseitigung des Paraffins zunimmt.

Aus der Übersicht obiger Literatur erkennt man, dass keine Übereinstimmung darüber besteht, ob der Lungenkreislauf der Kollaps-lunge—z. B. des künstlichen Pneumothorax, des Paraffinothorax u. a.—wirklich gut oder nicht gut ist, während bez. des Gasaustausches im kleinen Kreislauf unter genannter Bedingung die Ansichten der Autoren darin in Einklang stehen, dass sich die O_2 -Unsättigung des arteriellen Bluts in allen Fällen vermehrt. Doch stehen die O_2 -Unsättigung und Lungenkreislauf notwendig in enger Beziehung zueinander; die Veränderung im Lungenkreislauf hat eine solche in der O_2 -Aufnahme zur Folge, wodurch

10) Bruns, Deutsch. Archiv f. klin. Med., 1912, **107**, 467.

11) Ebert, Arch. f. exp. Pathol. und Pharmakol., 1914, **75**, 391.

12) Kudo, Nisshin-Igaku, 1925, **15**, 597 (jap.).

13) Toyama, Nippon-Naika-Gakkai-Zasshi, 1922, **11**, 497 (jap.).

14) Yamakita und Kato, Tohoku Journ. Exp. Med., 1922, **3**, 608.

15) Nishiyama, Nippon-Naika-Gakkai-Zasshi, 1925, **13**, 9 (jap.).

16) Hürter, Deutsch. Arch. f. klin. Med., 1912, **108**, 1.

17) George, Heuer und Andrus, Johns Hopkins Hospitals Bulletin, 1922, **33**, 130.

18) Sekiguchi und Uebayashi, Nippon-Geka-Gakkai-Zasshi, 1926, **27**, 904 (jap.).

19) Takenaka, Kekkaku-Zasshi, 1918, **1**, 1 (jap.).

20) Yamada, Hata und Hasegawa, Juzenkai-Zasshi, 1928, **33**, 777 (jap.).

auch wohl der O_2 -Verbrauch des Tiers beeinflusst werden kann. Es wäre auch möglich, dass sie die Veränderung der dynamischen Funktion des Herzens verursacht, und diese hinwiederum die des Minutenvolums, und dass sich dann auch noch der Gasaustausch zwischen Gewebe und Blut quantitativ verändert. Um diese Verhältnisse zu klären, habe ich in der vorliegenden Untersuchung bei beschränkter bzw. verkleinerten Atemfläche den O_2 -Verbrauch des Tieres, das Minutenvolum, die O_2 -Unsättigung des arteriellen und venösen Bluts, woraus auch die O_2 -Utilisation und das Stromäquivalent ermittelt.

Versuchsmethodik.

Als Versuchsmaterial habe ich ausschliesslich Kaninchen verwendet. Zur Atemflächenbeschränkung habe ich, in einer Versuchsreihe, desinfiziertes Paraffinum fluidum, pro kg Körpergewicht des Tieres 16–18 ccm, in die rechte Brusthöhle injiziert und den O_2 -Verbrauch des Tiers, die O_2 -Unsättigung und O_2 -Kapazität des Bluts, das Hämoglobin u. a. nach einer Stunde, einer Woche und zwei Wochen gemessen und die Resultate mit denen vor der Injektion verglichen. Und in der anderen Versuchsreihe habe ich, zu demselben Zweck, eine Kanüle in den rechten Bronchus ein wenig unterhalb der Bifurkation eingeführt und die linke Lunge ausgeschaltet, wobei die oben genannten Data unmittelbar vor und eine Stunde nach der Operation bestimmt.

Dass Temperatur und Nahrungsaufnahme auf den Gasumsatz, jede für sich, einen ausgesprochenen Einfluss ausüben, ist eine schon von Odaïra,²¹⁾ Kanazawa²²⁾ u. a. festgestellte Tatsache, die ich deshalb besonders berücksichtigt habe. Ich habe das Tier bei nüchternem Magen auf passend erwärmtem Halter in Rückenlage befestigt und nach einstündiger Ruhe untersucht.

Das arterielle Blut wurde aus der Art. femoralis und das venöse aus der rechten Kammer des Herzens durch Punktion genommen. Jedes Blut wurde in eine mit 3% iger Zitratlösung gefüllte Rekordspritze aufgenommen und direkt aus der Spritze in den Barcroftschen Blutgasapparat zur Messung des Sauerstoffgehalts gebracht. Der Hämoglobingehalt wurde mittels des Fleischl-Miescherschen Hämoglobinometer bestimmt. Zur Bestimmung des O_2 -Verbrauchs wurde der Sanborn-Benedictsche oder der Rothschen Apparat verwendet und in jedem einzelnen Fall habe ich die Sauerstoffaufnahme meistens fünf, selten zehn Minuten lang gemessen. Die

21) Odaïra, Tohoku Journ. Exp. Med., 1925, 6, 325.

22) Kanazawa, Nippon-Shokakibyō-Gakkai-Zasshi, 1922, 21, 360 (jap.).

Messung des Minutenvolums geschah nach dem Fickschen²³⁾ Prinzip, d. h. ich habe es nach dem Unterschied zwischen dem Sauerstoffgehalt des arteriellen und venösen Bluts und dem Sauerstoffverbrauch in der Zeiteinheit berechnet.

Versuchsergebnisse.

I. Versuche beim künstlichen Paraffinothorax.

Bei dieser Versuchsreihe erhielten 7 Kaninchen (Versuch 1–7) Injektion von flüssigem Paraffin in die rechte Pleurahöhle.

i. O₂-Unsättigung des arteriellen und venösen Bluts und O₂-Kapazität des arteriellen Bluts.

Die O₂-Unsättigung des arteriellen und venösen Bluts nimmt eine Stunde nach der Injektion von Paraffinum fluidum ausnahmslos deutlich zu, und zwar nimmt die O₂-Unsättigung des arteriellen Bluts in allen Fällen stärker als die des venösen Bluts zu. Die O₂-Kapazität des arteriellen Bluts nimmt auch ein wenig zu. Nach einer Woche nehmen die O₂-Unsättigung des arteriellen und venösen Bluts und die O₂-Kapazität des arteriellen Bluts im Gegenteil ab, und ihre Werte sind meistens niedriger als vor der Injektion; allein beim Versuch 6 und 7 nimmt die O₂-Unsättigung des arteriellen und venösen Bluts und die O₂-Kapazität des arteriellen Bluts bleiben noch etwas vermehrt im Vergleich zu dem vor der Injektion.

Nach zwei Wochen aber stehen die O₂-Unsättigung des arteriellen und venösen Bluts und die O₂-Kapazität des arteriellen Bluts alle unter den Werten vor der Injektion; besonders nimmt die O₂-Unsättigung des arteriellen Bluts meist ausgesprochen ab.

ii. O₂-Verbrauch und Minutenvolum.

Bei der Einschränkung des Atemfläche durch Injektion von Paraffinum fluidum in die Brusthöhle nehmen O₂-Verbrauch und Minutenvolum, wie Tab. 1 zeigt, eine Stunde nach der Injektion ausnahmslos ab; die prozentige Abnahme im Vergleich mit dem Wert vor der Injektion ist im Minutenvolum auffallender als im O₂-Verbrauch. Nach einer Woche aber nehmen der O₂-Verbrauch und das Minutenvolum im Gegenteil zu; beim

23) Fick, Sitzungsberichte d. physik. med. Gesellsch., Würzburg, 1870, 16. Zit. nach Lundsgaard, Deutsch. Arch. f. klin. Med., 1916, 118, 361.

Tabelle 1.

Nr.	Körpergewicht (kg u. Geschlecht)	Zeit Vor od. nach d. Operation	O ₂ -Ver- brauch pro Min.		Minuten- volum		O ₂ -Unsätti- gung d. art. Bluts		O ₂ -Unsätti- gung d. rechten Kam- merbluts		O ₂ -Kapazität d. art. Bluts		Hämoglobin		Puls	Respi- ration	Körpertemp. °C
			ccm	Differenz in %	ccm	Differenz in %	ccm	Differenz in %	ccm	Differenz in %	ccm	Differenz in %	g/dl	Differenz in %	pro 10"		
1	2,150 ♂	Vor	16,7	—	216,6	—	0,0290	—	0,1061	—	0,1731	—	12,52	—	33	10	38,2
	1,800	Nach 1 Stunde	13,2	- 21,0	150,9	- 30,3	0,0447	+ 54,1	0,1322	+ 24,6	0,1753	+ 1,3	13,08	+ 4,5	31	14	38,2
	1,700	Nach 1 Woche	20,1	+ 20,4	285,5	+ 31,8	0,0239	- 17,6	0,0943	- 11,1	0,1637	- 5,4	11,08	- 11,5	43	16	37,9
2	2,520 ♀	Nach 2 Wochen	21,0	+ 25,7	311,1	+ 43,6	0,0236	- 22,1	0,0901	- 15,1	0,1572	- 9,2	10,66	- 14,9	40	11	38,1
	2,520 ♀	Vor	28,3	—	351,6	—	0,0312	—	0,1117	—	0,1803	—	12,38	—	39	10	38,0
	2,400	Nach 1 Stunde	26,1	- 7,8	273,0	- 22,4	0,0428	+ 37,2	0,1384	+ 23,9	0,1835	+ 1,8	12,66	+ 2,3	40	8	38,0
3	1,740	Nach 1 Woche	29,9	+ 6,7	388,3	+ 10,4	0,0305	- 2,2	0,1065	- 4,7	0,1784	- 1,1	11,36	- 8,2	42	15	37,9
	3,070 ♂	Nach 2 Wochen	30,9	+ 9,2	415,8	+ 18,3	0,0262	- 16,0	0,1005	- 10,0	0,1737	- 3,7	10,80	- 12,8	35	12	38,0
	2,710	Vor	22,9	—	318,1	—	0,0237	—	0,0957	—	0,1841	—	13,36	—	32	8	38,4
4	2,410	Nach 1 Stunde	20,9	- 8,7	273,2	- 14,1	0,0298	+ 25,7	0,1063	+ 11,1	0,1876	+ 1,9	13,73	+ 2,8	31	10	38,2
	2,140 ♂	Nach 1 Woche	30,2	+ 31,9	441,5	+ 3,9	0,0231	- 6,8	0,0905	- 5,4	0,1782	- 3,2	11,66	- 12,7	43	12	38,6
	2,140 ♂	Nach 2 Wochen	31,7	+ 38,4	481,0	+ 51,2	0,0197	- 16,9	0,0856	- 10,6	0,1746	- 5,2	10,94	- 18,1	47	14	37,9
5	2,140 ♂	Vor	22,8	—	292,3	—	0,0256	—	0,1035	—	0,1814	—	14,80	—	43	11	38,5
	1,822	Nach 1 Stunde	19,1	- 16,2	219,0	- 25,1	0,0377	+ 47,3	0,1229	+ 18,7	0,1827	+ 0,7	15,36	+ 3,8	40	10	38,3
	—	Nach 1 Woche	24,3	+ 6,6	319,7	+ 9,4	0,0216	- 15,6	0,0976	- 5,7	0,1779	- 1,9	13,22	- 10,6	40	12	38,1
6	2,000 ♂	Nach 2 Wochen	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	1,730	Vor	22,4	—	316,8	—	0,0268	—	0,0975	—	0,1803	—	13,64	—	39	11	38,4
	1,473	Nach 1 Stunde	18,8	- 16,1	235,3	- 25,7	0,0387	+ 44,4	0,1125	+ 15,4	0,1823	+ 1,1	14,09	+ 3,3	35	10	38,3
7	2,150 ♂	Nach 1 Woche	24,2	+ 8,0	350,7	+ 10,7	0,0237	- 11,6	0,0917	- 5,9	0,1780	- 1,3	12,24	- 10,3	40	12	38,1
	2,200	Nach 2 Wochen	19,5	- 12,9	378,6	+ 19,5	0,0233	- 16,8	0,0738	- 24,3	0,1639	- 9,1	11,36	- 16,7	42	13	38,2
	2,150 ♂	Vor	27,9	—	339,4	—	0,0297	—	0,1119	—	0,1924	—	15,08	—	37	10	38,4
8	2,200	Nach 1 Stunde	22,3	- 20,1	260,2	- 23,3	0,0567	+ 90,9	0,1424	+ 27,3	0,1932	+ 4,2	15,64	+ 3,7	35	13	38,5
	1,991	Nach 1 Woche	27,6	- 1,1	323,2	- 4,8	0,0236	+ 0,3	0,1150	+ 2,8	0,1936	+ 0,8	15,78	+ 4,6	39	15	38,1
	2,680 ♂	Nach 2 Wochen	27,9	+ 0	332,5	+ 10,6	0,0244	- 17,8	0,0987	- 11,8	0,1808	- 6,0	14,52	- 3,7	39	15	37,9
9	2,680 ♂	Vor	26,6	—	324,0	—	0,0247	—	0,1068	—	0,1763	—	14,94	—	32	10	37,9
	2,680	Nach 1 Stunde	21,0	- 21,1	228,5	- 29,5	0,0359	+ 45,3	0,1278	+ 19,6	0,1787	+ 1,4	15,78	+ 5,6	30	11	37,6
	2,270	Nach 1 Woche	26,3	- 1,1	289,6	- 10,6	0,0263	+ 6,5	0,1171	+ 9,6	0,1773	+ 0,6	15,36	+ 2,8	37	13	37,4
10	2,270	Nach 2 Wochen	26,6	+ 0	381,6	+ 17,8	0,0223	- 9,7	0,0920	- 13,9	0,1627	- 7,7	12,80	- 14,3	39	15	38,0

Versuch 1–5 steigen sie alle über die Werte vor der Injektion hinaus, während sie beim Versuch 6 und 7 diese noch nicht erreichen. Der Grad der Zunahme ist beim Minutenvolum kleiner als beim O_2 -Verbrauch. Und nach zwei Wochen hat der O_2 -Verbrauch Neigung, allmählich ein wenig zuzunehmen; das Minutenvolum nimmt in jedem Falle zu.

iii. Hämoglobin.

Hämoglobin nimmt eine Stunde nach Injektion von Paraffin im Vergleich mit dem Werte vor der Injektion bei jedem Versuche zu. Eine Woche danach aber nimmt es, in der Mehrzahl der Fälle, im Gegenteil unter den Wert vor der Injektion hinunter ab; beim Versuch 6 und 7 nimmt es zwar unter den Wert nach einer Stunde hinunter ab, steht jedoch noch auf dem Werte vor der Injektion. Nach zwei Wochen nimmt es bei jedem Versuch weiter unter den Wert vor der Injektion ab (Tab. 1, Fig. 1).

iv. Ausnutzungskoeffizient.

Um nach Lindhard,²⁴⁾ Douglas²⁵⁾ und Eppinger²⁶⁾ die Zustände der Sauerstofflieferung des Bluts ins Gewebe zu untersuchen, habe ich den Ausnutzungskoeffizienten durch die folgende Formel berechnet:

24) Lindhard, Pflüger's Archiv, 1915, 161, 233.

25) Douglas, Americ. Journ. Physiol., 1914, 48, 244.

26) Eppinger, Das Versagen des Kreislaufs, Berlin 1927, 19.

$$\text{Ausnutzungskoeffizient} = \frac{O_A - O_V}{\text{Kapazität des arteriellen Bluts}},$$

wo O_A = O_2 -Gehalt des arteriellen Bluts,

O_V = O_2 -Gehalt des venösen Bluts.

Wie aus Tab. 2 erhellt, nimmt eine Stunde nach Injektion von Paraffin der O_2 -Ausnutzungskoeffizient bei jedem Falle zu. Nach einer Woche aber sinkt er, in der Mehrzahl der Fälle (Versuch 1–5), unter den Wert vor der Injektion hinunter; beim Versuch 6 und 7 nimmt er ein wenig unter den Wert nach einer Stunde hinunter ab, aber er bleibt noch über den Wert vor der Injektion erhöht. Nach zwei Wochen nimmt der O_2 -Ausnutzungskoeffizient bei jedem Versuch ab.

v. O_2 -Utilisation.

Die Utilisation, d. h. das Verhältnis des O_2 -Verbrauchs zum O_2 -Gehalt in der Volumeneinheit des arteriellen Bluts habe ich nach Eppinger²⁶⁾ nach folgender Formel berechnet:

$$O_2\text{-Utilisation} = \frac{O_A - O_V}{O_A} \times 100,$$

wo O_A = O_2 -Gehalt von 1 ccm arteriellen Bluts,

O_V = O_2 -Gehalt von 1 ccm venösen Bluts.

Die Utilisation ist nämlich das prozentuelle Verhältnis des O_2 -Volums, welches dem Gewebe Blut abgibt, zum O_2 -Gehalt des arteriellen Bluts; durch diese Formel kann man den Zustand der O_2 -Utilisation des Gewebes noch besser erkennen als durch den Ausnutzungskoeffizienten, weil die Utilisation auf Grund des O_2 -Gehalts, den das arterielle Blut wirklich enthält, berechnet wird.

Wie Tab. 2 zeigt, nimmt eine Stunde nach Injektion von Paraffin die O_2 -Utilisation in jedem Falle ausgesprochen zu. Nach einer Woche nimmt sie, ausser im Versuch 6 und 7, unter den Wert vor der Paraffininjektion ab; beim Versuch 6 und 7 bleibt sie, obwohl im Vergleich zum Wert nach einer Stunde Abnahme zeigend, noch auf dem Wert vor der Injektion, was in anderen Fällen nicht geschieht. Nach zwei Wochen nimmt sie in jedem Falle ausnahmslos stark ab.

vi. Stromäquivalent.

Die Blutmenge, welche erforderlich ist, um 100 ccm Sauerstoff, den das Gewebe verbraucht, ins Gewebe einzuführen, d. h. Eppingers²⁶⁾ sogenanntes Stromäquivalent, durch das man die Beziehung zwischen Blutstrom und O_2 -Verbrauch leicht erkennt, habe ich durch folgende Formel berechnet:

$$\text{Stromäquivalent} = \frac{\text{Minutenvolum}}{\text{Sauerstoffverbrauch}} \times 100.$$

Tabelle 2.

Nr.	Körper- gewicht (kg) u. Geschlecht	Zeit Vor od. nach Operation	O ₂ -Ver- brauch pro Min.	Minuten- volum	O ₂ -O ₂ - Gehalt	O ₂ -Gehalt d. art. Blut	O ₂ -Kapazität d. art. Bluts	Hämoglobin		Ausnutzungs- koeffizient		Utilisation		Stromäqui- valent	
								g/dl	Differenz in %		Differenz in %	%	Differenz in %	I	Differenz in %
1	2,150 ♂	Vor	16,7	216,6	0,0771	0,1441	0,1731	12,52	+	0,445	+	53,5	+	1,297	—
		Nach 1 Stunde	13,2	150,9	0,0875	0,1306	0,1753	13,08	+	0,499	+	72,6	+	1,143	—
		Nach 1 Woche	20,1	285,5	0,0704	0,1398	0,1637	11,08	—	0,430	—	50,4	—	1,420	—
		Nach 2 Wochen	21,0	311,1	0,0675	0,1346	0,1572	10,66	—	0,429	—	50,1	—	1,445	—
2	2,520 ♀	Vor	28,3	351,6	0,0805	0,1491	0,1803	12,38	+	0,446	+	54,0	+	1,242	—
		Nach 1 Stunde	26,1	273,0	0,0956	0,1407	0,1835	12,66	+	0,521	+	67,9	+	1,046	—
		Nach 1 Woche	29,9	388,3	0,0770	0,1489	0,1784	11,36	—	0,432	—	51,7	—	1,299	—
		Nach 2 Wochen	30,9	415,8	0,0743	0,1475	0,1737	10,80	—	0,427	—	50,4	—	1,345	—
3	3,070 ♂	Vor	22,9	318,1	0,0720	0,1604	0,1841	13,36	+	0,391	+	44,9	+	1,389	—
		Nach 1 Stunde	20,9	273,2	0,0765	0,1578	0,1876	13,73	+	0,408	+	43	+	1,307	—
		Nach 1 Woche	30,2	441,5	0,0684	0,1561	0,1782	11,66	—	0,384	—	43,8	—	1,461	—
		Nach 2 Wochen	31,7	481,0	0,0659	0,1549	0,1746	10,94	—	0,377	—	42,5	—	1,517	—
4	2,140 ♂	Vor	22,8	292,3	0,0780	0,1558	0,1814	14,80	+	0,430	+	50,1	+	1,282	—
		Nach 1 Stunde	19,1	219,0	0,0872	0,1450	0,1827	15,36	+	0,477	+	60,1	+	1,147	—
		Nach 1 Woche	24,3	319,7	0,0760	0,1563	0,1779	13,22	—	0,425	—	48,6	—	1,316	—
		Nach 2 Wochen	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	2,000 ♂	Vor	22,4	316,8	0,0707	0,1535	0,1803	13,64	+	0,392	+	46,1	+	1,414	—
		Nach 1 Stunde	18,8	235,3	0,0799	0,1436	0,1823	14,09	+	0,438	+	55,6	+	1,347	—
		Nach 1 Woche	24,2	350,7	0,0690	0,1543	0,1780	12,24	+	0,387	—	44,7	—	1,449	—
		Nach 2 Wochen	19,5	378,6	0,0515	0,1416	0,1639	11,36	—	0,314	—	36,4	—	1,942	—
6	2,150 ♂	Vor	27,9	339,4	0,0822	0,1627	0,1924	15,08	+	0,437	+	50,5	+	1,217	—
		Nach 1 Stunde	22,3	260,2	0,0857	0,1365	0,1932	15,64	+	0,444	+	62,8	+	1,167	—
		Nach 1 Woche	27,6	323,2	0,0854	0,1643	0,1939	15,78	+	0,440	+	52,0	+	1,171	—
		Nach 2 Wochen	27,9	375,5	0,0743	0,1564	0,1808	14,52	—	0,411	—	47,5	—	1,346	—
7	2,680 ♂	Vor	26,6	324,0	0,0821	0,1516	0,1763	14,94	+	0,466	+	54,2	+	1,218	—
		Nach 1 Stunde	21,0	228,5	0,0919	0,1428	0,1787	15,78	+	0,514	+	64,4	+	1,088	—
		Nach 1 Woche	26,3	289,6	0,0908	0,1510	0,1773	15,36	+	0,512	+	60,1	+	1,101	—
		Nach 2 Wochen	26,6	381,6	0,0697	0,1404	0,1627	12,80	—	0,428	—	49,6	—	1,435	—

Fig. 2. (Versuch 3, Tab. 2)

Eine Stunde nach Injektion von Paraffinum fluidum nimmt das Stromäquivalent ausnahmslos ab. Eine Woche nach der Injektion nimmt es, bei den Versuchen 1–5, über den Wert vor der Injektion hinaus zu; beim Versuch 6 und 7 aber erreicht es, obwohl im Vergleich zum Wert nach einer Stunde zunehmend, doch noch nicht den Wert vor der Injektion. Nach zwei Wochen nimmt es in jedem Falle über den Wert vor der Injektion hinaus deutlich zu (Tab. 2 u. Fig. 2).

II. Versuche bei Ausschaltung der einseitigen Lunge.

Hierfür wurden 7 Versuche ausgeführt.

i. O₂-Unsättigung des arteriellen und venösen Bluts, O₂-Kapazität des arteriellen Bluts.

In den rechten Bronchus wurde eine Kanüle eingeführt und die linke Lunge ausgeschaltet, dann nahmen nach einer Stunde die O₂-Unsättigung des arteriellen Bluts und die des venösen beide ausnahmslos zu, und zwar bei der ersten bedeutend. Im Vergleich zu der Veränderung bei der Injektion von Paraffin ist diese prozentige Zunahme gross. Die O₂-Kapazität nimmt in allen Fällen zu, mag die Zunahme an sich auch gering sein. Der Grad dieser Zunahme ist nicht sehr von dem bei Paraffininjektion verschieden.

Tabelle 3.

Nr.	Körpergewicht (kg) u. Geschlecht	Zeit Vor od. nach d. Operation	O ₂ -Ver- brauch pro Min.		Minuten- volum		O ₂ -Unsätti- gung d. art. Bluts		O ₂ -Unsätti- gung d. rechten Kam- merbluts		O ₂ -Kapazität d. art. Bluts		Hämoglobin		Puls	Respi- ration	Körpertemp. °C
			ccm	Differenz in %	ccm	Differenz in %	ccm	Differenz in %	ccm	Differenz in %	ccm	Differenz in %	g/dl	Differenz in %		pro 10"	
1	2,200 ♀	Vor Nach 1 Stunde	29,4	- 34,4	331,8	- 35,7	0,0218	+ 22,02	0,1104	+ 44,5	0,1767	+ 0,1	11,66	+ 5,0	35	11	37,5
			19,3		213,5		0,0698		0,1602		0,1769		12,24		29	18	37,3
2	2,300 ♂	Vor Nach 1 Stunde	21,5	- 33,5	237,1	- 34,1	0,0203	+ 202,0	0,1107	+ 43,6	0,1676	+ 0,2	11,36	+ 5,3	33	11	38,0
			14,3		146,3		0,0613		0,1590		0,1679		11,96		25	17	38,1
3	2,150 ♀	Vor Nach 1 Stunde	24,8	- 47,6	296,7	- 48,5	0,0257	+ 142,4	0,1083	+ 36,1	0,1715	+ 0,6	10,38	+ 8,1	37	8	38,5
			13,0		152,8		0,0623		0,1474		0,1725		11,22		32	14	38,4
4	2,800 ♂	Vor Nach 1 Stunde	29,7	- 33,0	355,1	- 35,7	0,0196	+ 186,7	0,1038	+ 38,2	0,1509	+ 0,3	12,80	+ 6,6	35	10	37,9
			19,9		228,2		0,0562		0,1434		0,1514		13,64		30	18	37,7
5	2,600 ♂	Vor Nach 1 Stunde	19,4	- 15,5	258,3	- 19,8	0,0284	+ 163,0	0,1035	+ 48,7	0,1626	+ 0,3	13,36	+ 6,6	40	9	38,3
			15,4		207,1		0,0747		0,1539		0,1631		14,24		35	16	38,1
6	2,000 ♀	Vor Nach 1 Stunde	19,5	- 32,8	244,6	- 33,1	0,0201	+ 266,2	0,0998	+ 60,2	0,1737	+ 0,5	13,08	+ 5,4	33	12	38,7
			13,1		163,6		0,0736		0,1599		0,1745		13,78		26	16	38,6
7	2,030 ♂	Vor Nach 1 Stunde	22,0	- 30,9	261,9	- 33,0	0,0199	+ 331,7	0,1039	+ 66,0	0,1821	+ 1,4	13,08	+ 5,4	33	12	38,7
			15,2		175,5		0,0859		0,1725		0,1847		13,78		26	16	38,6

Tabelle 4.

Nr.	Körpergewicht (kg) u. Geschlecht	Zeit Vor od. nach d. Operation	O ₂ -Ver- brauch pro Min.	Minuten- volum	O ₂ -O ₂ - Gehalt	O ₂ -Kapa- zität d. Bluts	Hämoglobin		Ausnutzungs- koeffizient		Utilisation		Stromäqui- valent	
							g/dl	Differenz in %		Differenz in %	%	Differenz in %	L	Differenz in %
1	2,200 ♀	Vor Nach 1 Stunde	29,4	331,8	0,0886	0,1549	11,66		0,501		57,2		1,129	
			19,3	213,5	0,0904	0,1071	12,24	+ 5,0	0,511	+ 2,0	84,4	+ 47,6	1,106	- 2,0
2	2,300 ♀	Vor Nach 1 Stunde	21,5	237,1	0,0904	0,1473	11,36		0,539		61,4		1,103	
			14,3	146,3	0,0977	0,1066	11,96	+ 5,3	0,582	+ 8,0	91,7	+ 49,3	1,023	- 7,3
3	2,150 ♀	Vor Nach 1 Stunde	24,8	296,7	0,0836	0,1458	10,38		0,487		57,3		1,196	
			13,0	152,8	0,0851	0,1102	11,22	+ 8,1	0,493	+ 1,2	77,2	+ 34,7	1,175	- 1,8
4	2,800 ♂	Vor Nach 1 Stunde	29,7	355,1	0,0842	0,1313	12,80		0,558		64,1		1,196	
			19,9	228,2	0,0872	0,0952	13,64	+ 6,6	0,576	+ 3,2	91,6	+ 42,9	1,147	- 4,1
5	2,600 ♂	Vor Nach 1 Stunde	19,4	258,3	0,0751	0,1342	13,36		0,462		56,0		1,331	
			16,4	207,1	0,0792	0,0884	14,24	+ 6,6	0,496	+ 7,4	89,6	+ 59,7	1,263	- 5,1
6	2,000 ♀	Vor Nach 1 Stunde	19,5	244,6	0,0797	0,1536	13,08		0,459		51,9		1,255	
			13,1	163,6	0,0863	0,1009	13,78	+ 5,4	0,495	+ 7,8	85,5	+ 64,7	1,159	- 7,6
7	2,030 ♂	Vor Nach 1 Stunde	22,0	261,9	0,0840	0,1622	13,08		0,461		51,8		1,191	
			15,2	175,5	0,0866	0,0988	13,78	+ 5,4	0,469	+ 1,7	87,6	+ 69,3	1,155	- 3,0

ii. O_2 -Verbrauch und Minutenvolum.

Eine Stunde nach Ausschaltung der linken Lunge nahmen O_2 -Verbrauch und Minutenvolum bei allen Fällen ab, ihre prozentige Abnahme verläuft fast parallel zueinander. Der Grad dieser Abnahme ist noch auffalender als bei Paraffininjektion.

iii. Hämoglobin.

Nach einer Stunde nimmt Hämoglobin auch ausnahmslos zu. Im Vergleich mit den Fällen der Paraffininjektion findet man keinen grossen Unterschied (Tab. 3).

iv. Ausnutzungskoeffizient.

Der Ausnutzungskoeffizient steigt nach einer Stunde über den vor der Einführung der Kanüle hinaus. Der Grad der prozentigen Zunahme ist kleiner als bei Paraffininjektion.

v. O_2 -Utilisation.

Die O_2 -Utilisation nimmt nach Ausschaltung der einseitigen Lunge bei jedem Falle zu. Hierbei ist, im Gegensatz zum Ausnutzungskoeffizienten, die prozentige Zunahme auffallender als bei Paraffininjektion.

vi. Stromäquivalent.

Das Stromäquivalent nimmt eine Stunde nach der Behandlung bei allen Fällen ab. Und die prozentige Abnahme ist kleiner als bei Paraffininjektion (Tab. 4).

Zusammenfassung und Diskussion.

Man kann die oben erwähnten Versuchsergebnisse folgendermassen zusammenfassen :

1. Künstlicher Paraffinothorax. (a) Eine Stunde nach Paraffininjektion in die Brusthöhle nimmt die O_2 -Unsättigung des arteriellen und venösen Bluts auffallend zu, ebenso steigt die O_2 -Kapazität des arteriellen Bluts. Aber im Verlauf von 1–2 Wochen nach Paraffininjektion vermindert sich diese Zunahme allmählich, bis ihre Werte unter die vor der Injektion hinunter sinken.

(b) Der O_2 -Verbrauch und das Minutenvolum nehmen eine Stunde nach Paraffininjektion ausnahmslos ab. Aber im Verlauf von 1–2 Wochen steigen sie, die einmal abgenommen hatten, allmählich wieder, bis sie später über den Wert vor der Injektion hinaus zunehmen.

(c) Hämoglobin nimmt eine Stunde nach Paraffininjektion zu, aber im Verlauf von 1–2 Wochen ab, bis es später unter den Wert vor der Injektion hinunter sinkt.

(d) Der Ausnutzungskoeffizient und O_2 -Utilisation nehmen eine Stunde nach Paraffininjektion ausnahmslos zu, aber im Verlauf von 1–2 Wochen allmählich ab. Hingegen nimmt das Stromäquivalent eine Stunde nach Paraffininjektion in allen Fällen ab, um aber nach 1–2 Wochen allmählich zuzunehmen.

2. Ausschaltung der einseitigen Lunge. Bei Ausschaltung der einseitigen Lunge ist der Befund nach einer Stunde im grossen und ganzen dem bei Paraffininjektion gleich, nur dass der Grad der Veränderung verschieden ist. Die Zunahme der O_2 -Unsättigung des arteriellen und venösen Bluts und die Abnahme des O_2 -Verbrauchs und des Minutenvolums sind noch bedeutender als bei Paraffininjektion. Die Zunahme des Ausnutzungskoeffizienten ist kleiner als beim Paraffinothorax, die der O_2 -Utilisation aber im Gegenteil grösser. Die prozentige Abnahme des Stromäquivalents ist kleiner. O_2 -Kapazität und Hämoglobin zeigen keinen beträchtlichen Unterschied.

Betr. der Abnahme des O_2 -Gehalts des Bluts gleich nach Einschränkung der Atemfläche stimmen meine Ergebnisse mit denen der in der Einleitung erwähnten Autoren überein; sie ist die direkte Wirkung der raschen Beschränkung der Atemfläche. Die Zunahme der O_2 -Kapazität beruht darauf, dass die Verdunstung des Blutwassers in der Lunge infolge der Dyspnoë, der Asphyxie und der Einschränkung des kleinen Kreislaufs Bluteindickung, nämlich Zunahme des Hämoglobins verursacht (hierüber berichte ich in der zweiten Mitteilung ausführlich).

Nach einer Woche liegt alles ganz anders: die Unsättigung des arteriellen und venösen Bluts, die O_2 -Kapazität des arteriellen Bluts und das Hämoglobin nehmen ab. Nach zwei Wochen wird diese Tendenz noch ausgesprochener. Die Abnahme der O_2 -Unsättigung muss daher kommen, dass die funktionelle Kompensation der anderen Lunge mit der Zeit vollkommener wird. Aber die Abnahme der O_2 -Kapazität des arteriellen Bluts und des Hämoglobins muss das Resultat allmählich erfolgender Kachexie sein, die wiederum z. T. durch das Vorhandensein des Fremdkörpers in der Brusthöhle bedingt ist. In der Wirklichkeit kann man das

Eintreten der Kachexie aus dem Aussehen des Tiers und aus der Abnahme des Körpergewichts erkennen.

Aus der Abnahme des Minutenvolums, die eine Stunde nach der Operation auftritt, kann man erkennen, dass nicht nur bei kollabierter Lunge infolge des Paraffins, sondern auch bei der Lunge, die infolge Ausschaltung durch Einführen der Kanüle in den anderseitigen Bronchus nicht atmet, die Durchblutung, im Gegensatz zu den Angaben von Sackur,²⁷⁾ Sauerbruch,²⁸⁾ Hess²⁹⁾ u. a., schlechter ist. 1–2 Wochen nach Injektion des Paraffins ist es anders, der O_2 -Verbrauch und das Minutenvolum haben dann zugenommen. Obschon dies auch von der Vermehrung der Kompensation der anderen Lunge abhängig ist, muss man doch, auf Grund der Abnahme der O_2 -Kapazität des arteriellen Bluts und des Hämoglobins usw., mit Recht Anämie als eine Rolle dabei spielend ansehen. Die Zunahme des O_2 -Verbrauchs und des Minutenvolums bei Anämie haben schon Kraus,²⁷⁾ Bohland,²⁸⁾ Magnus-Levy,²⁹⁾ Thiele und Nehring,³⁰⁾ Plesch,³¹⁾ Meyer und Du Bois³²⁾ u. a. bestätigt. Auch in meinem Versuchsergebnis war die Zunahme des O_2 -Verbrauchs und des Minutenvolums in denjenigen Fällen, in welchen die Abnahme des Hämoglobins deutlich war, auch ausgesprochen, während sie in Versuchen mit geringerer Abnahme des Hämoglobins nicht so klar war. Falls die Vermehrung des Hämoglobins noch weiter fort dauert, wie beim Versuche 6 und 7, bleiben sowohl der O_2 -Verbrauch als auch das Minutenvolum noch abgenommen und erreichen nicht den Anfangswert. Hieraus erhellt zur Genüge, dass Hämoglobin mit dem O_2 -Verbrauch und Minutenvolum in engster Beziehung steht.

Von Interesse ist der Mechanismus des Gasaustausches in den Geweben und der dynamischen Wirkung des Herzens bei eingeschränkter Atemfläche. Wie Tab. 2 und 4 zeigen, nimmt der Ausnutzungskoeffizient eine Stunde sowohl nach Injektion des Paraffins als auch nach Ausschaltung der einseitigen Lunge zu, aber beim ersteren Fall stärker. Was hier den Ausnutzungskoeffizient ausmacht, sind die O_2 -Kapazität und der O_A-O_V (S. 391). Die O_2 -Kapazität beider Fälle ist fast ganz gleich, aber der O_A-O_V ist beim ersteren grösser, was zeigt, dass die Sauerstoffmenge, die dem Gewebe Blut abgeben kann, beim ersteren Falle beträchtlich zunimmt.

27) Kraus, Zeitschr. f. klin. Med., 1893, **22**, 449.

28) Bohland, Berlin. klin. Wochenschr., 1893, 417.

29) Magnus-Levy, Zeitschr. f. klin. Med., 1906, **60**, 177.

30) Thiele und Nehring, Zeitschr. f. klin. Med., 1896, **30**, 41.

31) Plesch, Zeitschr. f. exp. Pathol. und Therap., 1909, **6**, 380.

32) Meyer und Du Bois, Arch. Intern. Med., 1916, **17**, 965.

Und die O_2 -Utilisation nimmt auch bei beiden Fällen zu, aber, im Gegensatz zum Ausnutzungskoeffizienten, beim letzteren auffallender. Nach dem Ausnutzungskoeffizienten ist die O_2 -Abgabe, die dem Gewebe eine einheitliche Blutmenge abgeben kann, beim ersteren Falle grösser, die Utilisation aber im Gegenteil kleiner. Weil der O_2 -Gehalt des arteriellen Bluts (O_A) bei der Paraffininjektion weit grösser ist, sinkt hier die Utilisation prozentuell. Das Stromäquivalent nimmt bei Paraffininjektion und bei Ausschaltung der einseitigen Lunge ab, beim ersteren Falle aber deutlicher. Beim letzten Falle nehmen der O_2 -Verbrauch und das Minutenvolum fast parallel ab, wobei die prozentige Abnahme des Minutenvolums ein wenig grösser ist, beim ersteren aber ist dagegen die prozentige Abnahme des Minutenvolums noch bedeutender als die des O_2 -Verbrauchs; deshalb ist die prozentige Abnahme des Stromäquivalents beim ersten Falle so gross. Dies zeigt, dass die Blutmenge, welche den einheitlichen Sauerstoff transportiert, bei beiden Fällen abnimmt, bei der Paraffininjektion aber stärker als bei einseitiger Lungenausschaltung. Auf alle Fälle ist die O_2 -Utilisation eine Stunde nach Injektion des Paraffins resp. nach Ausschaltung der einseitigen Lunge, wenn auch quantitativ verschieden, doch immer gross und gut, dementsprechend nimmt das Stromäquivalent ab, woraus man sehen kann, dass das Herz relativ ökonomisch arbeitet. Die oben angegebenen Ergebnisse zeigen, dass, obschon durch Einschränkung der Atemfläche der O_2 -Verbrauch des ganzen Organismus abnimmt, die O_2 -Utilisation relativ gut erhalten ist und die einheitliche Blutmenge, trotzdem sie an sich weniger Sauerstoff enthält, ans Gewebe relativ mehr, d. h. hinlänglichen Sauerstoff abgibt.

1–2 Wochen nach Injektion von Paraffinum fluidum nimmt das Minutenvolum, wie Tab. 2 zeigt, zu und vermindert sich die O_2 -Utilisation; hingegen vergrössert sich die O_2 -Utilisation beim Versuche 6 und 7, in welchem das Minutenvolum abnimmt. Dabei verändert sich natürlich das Stromäquivalent in gegensätzlicher Richtung zur O_2 -Utilisation.