**Studien über den Einfluss der Einatmung von Sauerstoff sowie
von kohlenensäurereicher bzw. sauerstoffarmer Luft auf
den Energieumsatz und den intermediären
Kohlehydratstoffwechsel.**

II. Mitteilung.

Beeinflussung des Gaswechsels bei körperlicher Arbeit.

Von

Kongo Koderä.

(古寺金剛)

*(Aus der Medizinischen Klinik von Prof. Dr. T. Kato,
Reichsuniversität zu Sendai.)*

Einleitung.

In vorangegangener Arbeit habe ich¹⁾ an Kaninchen, nachdem ich ihnen im Laufe des Einatmenlassens von kohlenensäurereichem bzw. von sauerstoffarmem Gase bestimmte Mengen vom Natriumlaktat injiziert hatte, die Blutmilchsäure, Blutkohlenensäure und den O₂-Verbrauch zeitlich bestimmt und bin hierbei zur Erkenntnis gekommen, dass die Milchsäureresynthese im Organismus bei der CO₂-Vergiftung oder dem O₂-Mangel erheblich gestört wird. Hieraus habe ich den Schluss gezogen, dass als Gründe für gestörte Milchsäureresynthese bei CO₂-Inhalation die durch CO₂-Retention bedingte Azidosis in Geweben und beim O₂-Mangel die verminderte O₂-Versorgung angeschuldigt werden müsse, und ebenda darüber berichtet.

Im vorstehenden Versuch wurden angesunden Tieren, die unter der Inhalation der kohlenensäurereichen oder sauerstoffarmen Luft eine bestimmte Muskelarbeit ausführen mussten, „Oxygen Debt“ und „Oxygen Requirement“ ermittelt und weiterhin Veränderungen von RQ, respiratorischem Volumen und CO₂-Abgabe zeitlich beobachtet, um dadurch über den Einfluss von Inhalation derartiger Gase auf den Gasstoffwechsel bei Körperarbeit zu studieren.

1) Koderä, Tohoku Journ. exp. Med., 1934, 23, 203.

Hill, Long und Lupton²⁾ haben hervorgehoben, dass bei langdauernder Arbeit, wobei einerseits die Milchsäure gebildet und zugleich andererseits diese oxydiert würde, der O₂-Verbrauch sich vermehrte, was der Erhöhung des Milchsäurespiegels des Blutes proportional vor sich geht und dass auch nach der Arbeit zwischen dem Absinken des Sauerstoffverbrauchs und der Erniedrigung des Blutmilchsäurespiegels eine Parallelität besteht und genannte Autoren berechneten, dass ein Mehrverbrauch des Sauerstoffes um 1 Liter 7 g der beseitigten bzw. gebildeten Milchsäure entspricht. Auf Grund dieser Berechnung ist man imstand, durch die Bestimmung von „Oxygen Debt“ die zu Beginn der Erholung vorhanden gewesene Milchsäuremenge zu ermitteln und zugleich auch, weil der Muskel gerade wie ein Akkumulator während der Arbeit entladen und bei Erholung langsam aufgeladen zu werden pflegt, aus der Grösse von „Oxygen Debt“ die in der Arbeit verbrauchten Energiemengen zu erschliessen.

Gegen die obige Berechnung von Hill und seinen Mitarbeitern wird von einigen Autoren Einwand erhoben, indem sie behaupten, dass zwischen dem Schwund der Milchsäure und der Abnahme des O₂-Verbrauches nach der Arbeit keine Parallelität, wie sie Hill hervorhebt, besteht, es sei hier nur erinnert an die Namen, wie Gollwitzer-Meier³⁾ und Simonson⁴⁾ u. a.

Versuchsmethode.

Es wurden Kaninchen morgen früh im nüchternen Zustand ohne Vornahme der Narkose der N. ischiadicus beiderseits durchschnitten, der ausgeschnittene Nervenstumpf in ein Tuch, welches in die auf die Körpertemperatur erwärmte Ringer-Lösung eingetaucht worden war, eingewickelt und bis zum Abschluss des Versuchs bei derselben Temperatur behalten.

Das Verfahren der Gasinhalation und Blutentnahme geschah in ganz derselben Weise, wie es in der ersten Mitteilung¹⁾ beschrieben wurde. Was die Gase zur Inhalation anbelangt, wurde als die kohlenensäurereiche Luft zuerst die atmosphärische Luft mit der Kohlensäure und dem Sauerstoff vermischt und zwar die erstere bis auf einen Gehalt von 7–11% und den letzteren bis auf einen Gehalt von 21% erhöht, als die sauerstoffarme Luft solche atmosphärische Luft, welche mit dem Stickstoff untermischt wurde und deren O₂-Gehalt bis auf 10% oder darunter herabgesetzt war, benutzt.

2) Hill, Long u. Lupton, Proc. Roy. Soc. London, B, 1924, 96, 438 u. 97, 84 u. 155.

3) Gollwitzer-Meier u. Simonson, Klin. Wochenschr., 1929, 1445.

4) Simonson, Klin. Wochenschr., 1929, 2033.

Zuerst mussten die Kaninchen obige Gasmischung einatmen und nach 10 Minuten, wo sich der Einfluss der Gasinhalation manifestierte, in folgender Weise die Muskelarbeit an beiden Unterschenkeln verrichten, indem der proximale Ischiadicusstumpf mittels des mit einem Akkumulator von 2 Volt verbundenen Du Bois-Reymond'schen Induktionsapparates (mit primärer Spule von 130 Windungen und sekundärer Spule von 4300 Windungen) bei dem Rollenabstand von 10 cm in einer Frequenz von 180 Malen pro Minute 5 Minuten lang gereizt wurde.

Das Exspirium wurde in einem Douglasschen Sack aufgefangen und mittels des Haldane's Gasanalysenapparates analysiert und hieraus O_2 -Verbrauch, CO_2 -Abgabe und RQ berechnet.

Die Blutmilchsäure wurde an der arteriellen Blutprobe, welche gleich vor und gleich nach Arbeit, weiter in 30 Min. und 60 Min. nach Arbeit entnommen wurde, mit der von Inawashiro und Hayasaka⁵⁾ modifizierten Methode nach Anrep und Cannan bestimmt.

Versuchsergebnisse.

I. Versuch bei der Inhalation der atmosphärischen Luft.

Behufs der Kontrolle gegenüber dem Versuch bei Einatmung von kohlensäurereicher bzw. sauerstoffarmer Luft hat man Tiere die atmosphärische Luft einatmen und an den beiderseitigen Unterschenkeln durch faradische Reizung 180 malige Kontraktionen pro Min. für 5 Minuten ausführen lassen, wobei die Veränderungen von respiratorischem Volumen, O_2 -Verbrauch, CO_2 -Abgabe, RQ und Milchsäure ermittelt und zugleich auch „Oxygen Debt“ und „Oxygen Requirement“ berechnet wurden.

Die Ergebnisse in 5 Versuchen sind in Tab. 1 und Fig. 1 wiedergegeben.

Das Atemvolumen nahm während Arbeit auffallend zu. Es hat sich nämlich herausgestellt, dass das Atemvolumen in 4 Fällen (vom Versuch 1 bis Versuch 4), nachdem es vor Arbeit 291–425, im Mittel 365 ccm pro Min. aufgewiesen hatte, in der ersteren halben Periode der Arbeit 472–559, im Durchschnitt 527 ccm betrug, was eine Zunahme von 30–60% besagt. In der späteren halben Periode der Arbeit stieg es auf 524–584, auf durchschnittlich 546 ccm hinauf, das ist eine Zunahme von 28–80%.

5) Inawashiro u. Hayasaka, Tohoku Journ. Exp. Med., 1928, 7, 1.

Tabelle 1.

Versuche unter der Inhalation von atmosphärischer Luft.

Nr.	Körpergewicht (g) u. Geschlecht	Zeit (Min.)	Milchsäure		Respirator. Volumen		O ₂ -Verbrauch		CO ₂ -Abgabe		RQ		O ₂ -Debt = 29,0 O ₂ -Requirement = 46,0 O ₂ Debt × 100 = 62,8 O ₂ Req.
			mg/dl	Diff. in %	cem	Diff. in %	cem	Diff. in %	cem	Diff. in %	Diff. in %		
1	♀	Vor der Arbeit Während d. Arbeit { 0 - 2,5 2,5 - 5,0 5 - 10 Nach der Arbeit { 10 - 15 15 - 20 20 - 30 30 - 40 40 - 60	27,0		410,8	+ 36,2	15,6	+ 17,3	12,6	+ 22,2	0,81	+ 3,7	
					559,4	+ 27,7	18,3	+ 26,3	15,4	+ 42,9	0,84	+ 12,3	
			44,4	+ 64,4	524,4	+ 19,1	19,7	- 4,5	18,0	+ 16,7	0,91	+ 22,2	
					480,4	+ 19,1	14,9	+ 10,3	16,1	+ 27,8	0,93	+ 14,8	
					489,4	+ 17,2	17,2	+ 9,0	15,3	+ 25,4	0,90	+ 11,1	
2	♀	Vor der Arbeit Während d. Arbeit { 0 - 2,5 2,5 - 5,0 5,0 - 1,0 Nach der Arbeit { 10 - 15 15 - 20 20 - 30 30 - 40 40 - 60	26,4	- 2,2	454,5	+ 10,6	16,8	+ 7,7	14,3	+ 13,5	0,85	+ 4,9	
					454,5	+ 8,5	15,7	+ 0,6	13,2	+ 4,8	0,84	+ 3,7	
			26,4	+ 3,3	446,7	+ 1,3	13,5	+ 7,1	13,5	+ 7,1	0,85	+ 4,9	
					424,4	+ 6,4	14,9	- 4,5	12,5	- 0,3	0,84	+ 3,7	
			27,0	± 0	437,0	+ 6,4	14,9	- 4,5	12,5	- 0,3	0,84	+ 3,7	
2300	♀	Vor der Arbeit Während d. Arbeit { 0 - 2,5 2,5 - 5,0 5,0 - 1,0 Nach der Arbeit { 10 - 15 15 - 20 20 - 30 30 - 40 40 - 60	23,8		425,8	+ 29,5	18,9	+ 18,0	14,5	+ 24,8	0,76	+ 6,6	O ₂ -Debt = 26,3
					551,5	+ 37,2	22,3	+ 4,2	18,1	+ 14,5	0,81	+ 10,5	O ₂ -Requirement = 36,8
			36,7	+ 54,2	584,0	+ 21,9	19,7	- 6,3	16,6	- 5,5	0,84	+ 1,3	
					519,1	+ 21,9	17,7	+ 2,6	13,7	+ 5,5	0,77	+ 3,9	
					551,5	+ 29,5	19,4	+ 4,2	15,9	+ 9,7	0,79	+ 6,6	O ₂ Debt × 100 = 71,5 O ₂ Req.
2300	♀	Vor der Arbeit Während d. Arbeit { 0 - 2,5 2,5 - 5,0 5,0 - 1,0 Nach der Arbeit { 10 - 15 15 - 20 20 - 30 30 - 40 40 - 60			535,3	+ 25,7	20,7	+ 7,4	15,9	+ 9,7	0,81	+ 2,6	
					519,1	+ 21,9	20,3	+ 11,1	15,4	+ 6,2	0,78	+ 3,9	
					535,3	+ 25,7	21,0	+ 1,6	14,6	+ 0,6	0,73	± 0	
			22,5	- 5,5	559,4	+ 31,4	19,2	+ 0,5	14,4	+ 0,6	0,76	± 0	
					502,6	+ 18,0	19,0	+ 0,5	14,4	+ 0,6	0,76	± 0	
2	♀	Vor der Arbeit Während d. Arbeit { 0 - 2,5 2,5 - 5,0 5,0 - 1,0 Nach der Arbeit { 10 - 15 15 - 20 20 - 30 30 - 40 40 - 60	21,9	- 8,0	478,5	+ 12,4	18,9	+ 0	14,1	- 2,8	0,75	+ 2,6	
					478,5	+ 12,4	18,9	+ 0	14,1	- 2,8	0,75	+ 2,6	
					478,5	+ 12,4	18,9	+ 0	14,1	- 2,8	0,75	+ 2,6	
					478,5	+ 12,4	18,9	+ 0	14,1	- 2,8	0,75	+ 2,6	
					478,5	+ 12,4	18,9	+ 0	14,1	- 2,8	0,75	+ 2,6	

Nr.	Körperge- wicht (g) u. Geschlecht	Zeit (Min.)	Milchsäure		Respirator- Volumen		O ₂ -Verbrauch		CO ₂ -Abgabe		RQ	
			mg/dl	Diff. in %	ccm	Diff. in %	ccm	Diff. in %	ccm	Diff. in %		Diff. in %
3	1870 ♂	Vor der Arbeit	27,0		291,0		15,0		10,0		0,67	
		Während f 0 - 2,5 d. Arbeit { 2,5 - 5	39,2	+45,2	472,0 524,4	+62,2 +80,2	16,7 20,9	+11,3 +39,3	16,1 18,1	+61,0 +81,0	0,96 0,87	+43,3 +29,9
		2,5 - 5 5 - 10 10 - 15 15 - 20 20 - 30 30 - 40 40 - 50 50 - 60			349,6 351,4 349,6 340,9 319,0 301,5 305,9	+20,1 +20,8 +20,1 +17,1 +9,6 +3,6 +5,1	15,9 15,8 16,1 16,0 14,3 14,4 14,1	± 0 + 6,0 + 5,3 + 7,3 + 4,6 - 4,0 - 6,0	11,6 12,4 11,8 12,5 10,6 10,6 10,3	+16,0 +24,0 +18,0 +25,0 +21,0 +6,0 +3,0	0,82 0,78 0,75 0,77 0,76 0,74 0,73	+22,4 +14,9 +16,4 +11,9 +13,4 +10,5 +9,0 +9,0
		O ₂ -Debt=31,0 O ₂ -Requirement=50,0 $\frac{O_2 \text{ Debt}}{O_2 \text{ Req.}} \times 100 = 62,0$										
4	2200 ♂	Vor der Arbeit	30,9		349,6		18,2		12,8		0,70	
		Während f 0 - 1,5 d. Arbeit { 2,5 - 5	36,0	+16,8	524,4 550,6	+50,0 +57,5	21,7 21,9	+19,2 +20,3	15,0 18,8	+17,2 +46,9	0,69 0,86	- 1,4 +22,9
		2,5 - 5 5 - 10 10 - 15 15 - 20 20 - 30 30 - 40 40 - 50 50 - 60			559,4 556,9 595,9 518,1 555,8 524,4 506,9	+60,0 +59,3 +70,4 +48,2 +60,0 +50,0 +45,0	18,5 19,0 19,0 19,7 17,7 17,8 18,8	+1,6 +4,4 +8,2 - 2,7 - 6,6 - 2,2 + 3,3	16,9 15,0 14,5 15,3 15,2	+32,0 +24,2 +17,2 +15,6 +17,2 +13,3 +19,5 +18,8	0,92 0,86 0,79 — 0,75 0,84 0,85 0,86 0,81	+31,4 +22,9 +12,9 — 7,1 +20,0 +21,4 +22,9 +15,7
		O ₂ -Debt=18,0 O ₂ -Requirement=36,0 $\frac{O_2 \text{ Debt}}{O_2 \text{ Req.}} \times 100 = 50,0$										
5	2140 ♀	Vor der Arbeit	21,2		1149,3		20,2		17,8		0,88	
		Während f 0 - 2,5 d. Arbeit { 2,5 - 5	34,7	+63,7	1195,3 1182,2	+4,0 2,9	25,6 22,1	+9,4 +9,4	28,1 24,4	+57,9 +37,1	1,10 1,10	+24,5 +24,5
		2,5 - 5 5 - 10 10 - 15 15 - 20 20 - 30 30 - 40 40 - 50 50 - 60			866,2 886,7 870,3 829,2 890,8 945,9 903,1	-4,0 -24,3 -24,3 -27,8 -22,5 -17,7 -21,4	24,0 20,4 18,5 20,0 20,0 16,4 19,5	+18,8 +9,4 +8,4 - 1,0 - 1,0 - 18,8 - 3,5	21,4 19,9 17,8 17,3 16,6 17,0	+20,2 +11,8 +5,1 +5,1 +2,8 - 5,1 - 4,5	0,89 0,90 0,92 0,96 0,86 0,85 0,87	+1,1 +2,3 +4,5 +9,1 - 2,4 +7,0 - 1,1
		O ₂ -Debt=22,8 O ₂ -Requirement=41,0 $\frac{O_2 \text{ Debt}}{O_2 \text{ Req.}} \times 100 = 55,6$										

Das so gesteigerte respiratorische Volum nahm nach Beendigung der Arbeit allmählich ab, es betrug aber nach 40–60 Min. noch 305–506, im Mittel 432 ccm und konnte sich meistens nicht vollkommen erholen. Im Versuch 5, wo das

Fig. 1. Versuch unter der Inhalation von atmosphärischer Luft. (Versuch Nr. 1.)

Atemvolumen vor Arbeit zu 1149 ccm gefunden worden war, nahm es während Arbeit nur im geringeren Masse zu und kam schon 5 Minuten nach der Arbeit bis unter den Ursprungswert herunter.

Der Sauerstoffverbrauch betrug vor Arbeit 15,0–20,2 ccm pro Min., in der ersten halben Periode der Arbeit erhöhte er sich auf 16,7–25,6 ccm, also eine Zunahme von 11–27%. In der späteren halben Periode war er bei 19,7–22,1 ccm gelegen, er zeigte eine Zunahme von 4–39%.

Bemerkenswert ist, dass die während Arbeit derart gesteigerte O_2 -Aufnahme in allen Fällen im direkten Anschluss an die Beendigung der Arbeit transitorisch rasch entweder dem Ruhewert vor Arbeit sich näherte oder sogar darunter herabgesetzt war und dann wieder aufs neue zunahm, bis sie hernach allmählich abzunehmen anfang und schliesslich frühestens nach 20 Minuten, in der Mehrzahl der Fälle aber innerhalb von 30–60 Minuten zum Ruhewert wiederhergestellt war. An der Kurve des O_2 -Verbrauchs erkennt man nämlich ein Tal und zwei Gipfel. Auf diese Tatsache haben schon Barcroft u. T. Kato⁶⁾ ihr Augenmerk gerichtet und sie dahin erklärt, dass infolge der durch Arbeit entstandenen Säuren Gewebe der Azidosis anheimfielen, wodurch „oxydising ferments“ abnehmen und der O_2 -Verbrauch vorübergehend vermindert würde. Bald danach ist dies von Gollwitzer-Meier u. Simonson,³⁾ Simonson,⁴⁾ Hebestreit⁷⁾

6) Barcroft u. T. Kato, Philos. Transact. Roy. Soc. London, 1915, Ser. B, 207, 149.

7) Hebestreit, Pflüger's Arch., 1929, 222, 738.

und auch von Kimura und K. Kato⁸⁾ in hiesiger Klinik beobachtet worden.

Die CO₂-Abgabe wurde vor Arbeit zu 10–17,8 ccm pro Min. ermittelt; sie betrug 15,0–28,1 ccm in der ersten halben Periode der Arbeit und 16,6–24,4 ccm in der späteren halben, hier wurde also eine Zunahme von 15,6–61,0% und 14,5–81% zuwege gebracht. Nach der Arbeit nahm sie ähnlich wie der O₂-Verbrauch, rasch ab und hernach auch unter unerheblicher Schwankung allmählich ab; mit Ausnahme eines Falles, wo sie in 20 Minuten wiederhergestellt war, erholte sie sich in 2 von 4 Fällen binnen 40–60 Minuten, in restlichen 2 Fällen kam sie in 60 Minuten noch nicht auf den Anfangswert zurück.

RQ betrug vor Arbeit 0,66–0,88. Er wurde durch Arbeit in allen Fällen ausnahmslos vermehrt. In Versuch 1 und 4 erreichte er aber binnen 2½ Minuten nach Arbeit einen Maximalbetrag von 0,99 und 0,92, in 3 Fällen (Versuch 2, 3 und 5) gelangte er schon während der Arbeit zum Maximum von 0,84, 0,96 und 1,10. Späterhin hatte er aber im allgemeinen die Tendenz, unter etlichen Schwankungen allmählich abzunehmen; im Versuch 5 nahm er ausnahmsweise in 5–10 Minuten nach Arbeit bis unter den Ruhewert ab und dann nach erneuter Zunahme wieder graduell ab.

Die Milchsäure wurde unmittelbar nach Arbeit auffallend vermehrt. Sie zeigte nämlich eine prozentische Zunahme von 16,8–64,4%. In 30 Minuten nach beendeter Arbeit erholte sie sich bis zum Bereich der physiologischen Grenzen des Ursprungswertes in vollkommener Weise.

Aus dem oben angeführten O₂-Verbrauch wurde „Oxygen Debt“ zu 18,0–31,0, im Mittel zu 25,4 ccm berechnet, „Oxygen Requirement“ betrug 36,0–50,0, im Durchschnitt 42,0 ccm. Und der Prozentsatz dieses „Debt“ zu „Requirement“ war 50,0–71,5, im Durchschnitt 60,4%.

Nach Hills Berechnung beträgt die Milchsäure, die diesem „Debt“ entspricht, 12,6–21,7, durchschnittlich 17,8 mg. Demzufolge kann ohne weiteres geschlossen werden, dass bei Inhalation der atmosphärischen Luft am Ende der 5 Minuten anhaltenden Arbeit durchschnittlich 17,8 mg Milchsäure gebildet wird und noch im Körper verweilt.

In bezug auf die Erhöhung des respiratorischen Volumens bei der Arbeit geben Krogh und Lindhard⁹⁾¹⁰⁾ folgenderweise an: Während bei willkürlicher

8) Kimura u. K. Kato, Tohoku Journ. Exp. Med., 1930, 14, 569.

9) Krogh u. Lindhard, Journ. Physiol., 1913, 47, 112.

10) Krogh u. Lindhard, Journ. Physiol., 1917, 51, 182.

Bewegung schon im Übergang von Ruhe zu Arbeit die Erregbarkeit des Atemszentrums durch Impulse der kortikalen motorischen Zentren gesteigert und somit auch die Ventilation erhöht werde, könne sie bei Muskelarbeit durch einen elektrischen Reiz rein reflektorisch erhöht werden. Herxheimer u. Kost¹¹⁾ hoben hervor, dass die Ventilation durch Arbeit, welcher Art sie auch sein mag, rein reflektorisch gesteigert werde. Im übrigen bedarf es keiner Erörterung, dass durch die durch Arbeit im Muskel entstandene Milchsäure das pH des Blutes zunimmt und dadurch das Atemzentrum gereizt wird.

In bezug auf den weiteren Verlauf von O_2 -Verbrauch, CO_2 -Abgabe und Ventilation nach der Arbeit haben Herxheimer und Kost¹¹⁾ darauf hingewiesen, dass die CO_2 -Abgabe und die Ventilation fast parallel abnehmen, die O_2 -Aufnahme hingegen einen abweichenden Verlauf nimmt. Nach Angabe von Hebestreit¹²⁾ soll zuvörderst die Ventilation, dann die O_2 -Aufnahme, hernach die CO_2 -Ausscheidung auf den Ruhewert zurückkommen. In meinem Versuch erholte sich die O_2 -Aufnahme zuerst, die CO_2 -Abgabe war entweder verzögert oder nie wiederhergestellt, auch die Ventilation erholte sich in überwiegender Mehrzahl der Fälle selbst nach 60 Minuten noch kaum vollkommen. Deshalb hält es schwer, einen bestimmten Zusammenhang zwischen diesen Erholungsmechanismen ausfindig zu machen.

Es ist schon eine allbekannte Tatsache, dass die durch Arbeit gebildete Milchsäure sich mit dem Reservealkali verbindet und so die Säuerung des Blutes hervorruft, während gleichzeitig damit als Kompensation derselben die Kohlensäure zur Vermehrung des RQ mehr ausgeschieden wird. Lindhard¹³⁾ machte die Beobachtung, dass bei langdauernder Arbeit 2–3 Minuten nach Beginn der Arbeit der RQ deutlich ansteigt und danach allmählich absteigt, beim Aufhören von der Arbeit wieder von neuem ansteigt und dann zum Ruhewert wiederhergestellt ist. Auch Cathcart, Richardson und Campbell¹³⁾ berichteten über dasselbe Ergebnis. Hill, Long und Lupton¹⁴⁾ fanden, dass 5–6 Minuten nach Arbeitsbeendigung der RQ das Maximum erreicht. RQ bei Muskelarbeit könnte meines Erachtens je nach der Qualität der zu verbrennenden Substanz verschieden ausfallen. Auf Grund der Beobachtung, dass der RQ im kurzdauernden Laufen immer einen Wert von annähernd 1,0 aufweist, haben Furusawa, Hill, Long und Lupton¹⁴⁾ sowie Furusawa¹⁵⁾ die Energielieferung nur der Kohlehydratverbrennung zugeschrieben; gestützt auf Ergebnisse der nachträglich ausgeführten Versuche ist aber Lindhard¹⁶⁾ zum Schluss gekommen, dass auch bei kurzdauernder Arbeit Fett nebenher verbrannt würde. Die Möglichkeit aber, dass der respiratorische Quotient je nach den in die Blutbahn

11) Herxheimer u. Kost, Zeitschr. kl. Med., 1928, **108**, 240.

12) Lindhard, Skand. Arch. Physiol., 1928, **54**, 79.

13) Cathcart, Richardson u. Campbell, Journ. Physiol., 1923–24, **58**, 355.

14) Furusawa, Hill, Long u. Lupton, Proc. Roy. Soc. London, 1924, **97**, 167.

15) Furusawa, Proc. Roy. Soc. London, 1925, **98**, 65.

16) Lindhard, Pflüger's Arch., 1915, **161**, 233.

hineindiffundierenden Mengen der durch Arbeit entstandenen Säuren verschieden beeinflusst werden kann, ist wohl denkbar; von Benedict u. Cathcart,¹⁷⁾ Lindhard,¹⁸⁾ Liljestrand u. Stenström,¹⁸⁾ Liljestrand u. Lindhard,¹⁹⁾ Best, Furusawa und Ridout²⁰⁾ ist aufgeklärt worden, dass je nach der Intensität der Arbeitsanstrengung sich der RQ auch verschieden ergibt.

In meinem Versuch betrug der RQ im Maximum 0,84–1,10, in den meisten Fällen aber weniger als 1,0.

Die Tatsache, dass der RQ nach Aufhören von der Arbeit allmählich abnimmt, ist wenigstens zum Teil darauf zurückzuführen, dass das Blut, welches seine durch Milchsäurezunahme bedingte Säuerung während der Arbeit durch vermehrte CO₂-Abgabe ausbalanciert hat, sich die zunehmende Alkalität, die nach der Arbeit durch Beseitigung der Milchsäure nunmehr sich geltend zu machen anfängt, durch die CO₂-Retention, nämlich durch die verminderte CO₂-Abgabe abzuwehren versucht.

II. Versuch bei der Einatmung von kohlen-säurereicher Luft.

Unter Anwendung der Luft vom 7,86–10,56% CO₂-Gehalt und vom ca. 21% O₂-Gehalt habe ich an 5 Fällen den Versuch ausgeführt. Für etwa 10 Minuten vor Beginn der Arbeit unterzog ich Versuchstiere der Gasinhalation, während welcher respiratorisches Volumen, O₂-Verbrauch, CO₂-Abgabe und RQ bestimmt wurden, alsdann liess ich sie in eben derselben Weise wie in dem Kontrollversuch mit Inhalation von atmosphärischer Luft die Arbeit 5 Minuten lang verrichten.

Diesbezügliche Ergebnisse sind in Tab. 2 u. Fig. 2 dargestellt.

Das respiratorische Volumen stieg bei der Einatmung von kohlen-säurereicher Luft allein bis auf 1750–3676 ccm an, dieser Wert ist erstaunlich grösser bei der Einatmung von atmosphärischer Luft. In der ersten halben Periode der Arbeit wurde es zu 2171–3486, in der späteren halben zu 2338–3486 ccm gefunden.

Im Versuch 1 nahm es mit einziger Ausnahme durch Arbeit ein wenig ab, während es in anderen 4 Versuchen um 4,0–46,6% zunahm. Diese prozentuelle Zunahme erweist sich zwar als kleiner gegenüber der prozentuellen Zunahme von 4,6–62,2% des Kontrollversuches; das

17) Benedict u. Cathcart, Muscular Work, zit. nach E. Hansen, *Bethe's Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie*, XV/1, Berlin, 1931, 673.

18) Liljestrand u. Stenström, *Skand. Arch. Physiol.*, 1920, **39**, 1 u. 169.

19) Liljestrand u. Lindhard, *Skand. Arch. Physiol.*, 1920, **39**, 215.

20) Best, Furusawa u. Ridout, *Proc. Roy. Soc. London*, 1929, **104**, 119.

Nr.	Körperg. (g) Geschieht u. d. Inhal. Luft (%)	Zeit (Min.)	Milchsäure		Respirator. Volumen		O ₂ -Verbrauch		CO ₂ -Abgabe		RQ	
			mg/dl	Diff. in %	ccm	Diff. in %	ccm	Diff. in %	ccm	Diff. in %		Diff. in %
3	♀ 2240	Vor der Arbeit Während { 0 - 2,5 d. Arbeit { 2,5 - 5	18,7		1750		15,9		0,5		0,03	
				+46,6	2565	+23,3	23,3	+46,5	4,6	+820,0	0,20	+566,6
		Nach der Arbeit { 5 - 10 10 - 15 15 - 20 20 - 30 30 - 40 40 - 60	20,6	+10,2	2668	+52,5	21,9	+37,7	6,7	+1240,0	0,30	+899,9
				+39,8	2446	+52,5	18,8	+18,2	4,9	+880,0	0,26	+766,6
4	♂ 2050	Vor der Arbeit Während { 0 - 2,5 d. Arbeit { 2,5 - 5			2668		24,3		7,5	+1400,0	0,31	+933,2
					2041	+16,6	20,0	+25,8	5,3	+960,0	0,27	+799,9
		Nach der Arbeit { 5 - 10 10 - 15 15 - 20 20 - 30 30 - 40 40 - 60			1895	+8,3	17,8	+11,9	3,0	+500,0	0,17	+466,6
					1905	+8,9	17,3	+8,8	4,8	+860,0	0,27	+799,9
5	♀ 2440	Vor der Arbeit Während { 0 - 2,5 d. Arbeit { 2,5 - 5			1874		7,1		3,6	+620,0	0,21	+599,9
					1661	+5,1	15,1	+5,0	4,0	+700,0	0,26	+766,6
		Nach der Arbeit { 5 - 10 10 - 15 15 - 20 20 - 30 30 - 40 40 - 60	19,3	+3,6	1600	+5,1	15,1	+5,0	4,0	+700,0	0,26	+766,6
			12,8	-31,6	1600	-8,6	15,4	-3,1	3,8	+660,0	0,25	+733,3
6	♀ 2240	Vor der Arbeit Während { 0 - 2,5 d. Arbeit { 2,5 - 5	32,2		2884		19,6		0,6		0,03	
				+5,5	3043	+23,3	23,3	+46,5	4,6	+820,0	0,20	+566,6
		Nach der Arbeit { 5 - 10 10 - 15 15 - 20 20 - 30 30 - 40 40 - 60	32,2	± 0	3143	+27,0	27,0	+37,8	5,7	+1240,0	0,30	+899,9
					2943	+2,0	26,8	+36,7	6,2	+880,0	0,26	+766,6
7	♂ 2050	Vor der Arbeit Während { 0 - 2,5 d. Arbeit { 2,5 - 5			3093		25,7		6,2		0,23	
					2640	+8,5	22,4	+14,3	4,5	+650,1	0,20	+566,6
		Nach der Arbeit { 5 - 10 10 - 15 15 - 20 20 - 30 30 - 40 40 - 60			2508	-13,0	22,1	+12,8	6,0	+900,2	0,27	+799,9
					2759	-4,3	21,5	+9,7	6,9	+1050,2	0,32	+966,6
8	♀ 2440	Vor der Arbeit Während { 0 - 2,5 d. Arbeit { 2,5 - 5			2842		1,5		6,5		0,35	
					2784	+3,4	18,4	+5,6	10,0	+1567,0	0,55	+1733,2
		Nach der Arbeit { 5 - 10 10 - 15 15 - 20 20 - 30 30 - 40 40 - 60	28,3	-12,1	2182	-24,3	17,5	-10,7	9,6	+1500,0	0,55	+1733,2
			25,1	-22,0	2182	-24,3	17,5	-10,7	9,6	+1500,0	0,55	+1733,2
9	♀ 2240	Vor der Arbeit Während { 0 - 2,5 d. Arbeit { 2,5 - 5	20,6		2507		25,6		1,3		0,05	
				+15,4	2893	+23,3	23,3	+46,5	4,6	+820,0	0,20	+566,6
		Nach der Arbeit { 5 - 10 10 - 15 15 - 20 20 - 30 30 - 40 40 - 60	27,7	+34,5	2466	+52,5	21,9	+37,7	6,7	+1240,0	0,30	+899,9
					2302	+8,1	25,8	+8,2	8,3	+538,4	0,32	+540,0
10	♂ 2050	Vor der Arbeit Während { 0 - 2,5 d. Arbeit { 2,5 - 5			2367		27,9		5,7		0,20	
					2359	+5,5	27,1	+9,0	5,7	+492,3	0,21	+320,0
		Nach der Arbeit { 5 - 10 10 - 15 15 - 20 20 - 30 30 - 40 40 - 60			2408	+5,9	27,5	+5,9	9,9	+661,5	0,36	+620,0
					2369	+3,9	27,0	+5,5	7,9	+507,7	0,29	+480,0
11	♀ 2440	Vor der Arbeit Während { 0 - 2,5 d. Arbeit { 2,5 - 5			2376		20,7		9,7		0,33	
					2302	+5,2	27,6	+16,0	8,8	+576,9	0,32	+540,0
		Nach der Arbeit { 5 - 10 10 - 15 15 - 20 20 - 30 30 - 40 40 - 60	19,9	-3,4	1874	-25,3	20,4	-20,3	7,1	+446,1	0,35	+600,0
			16,1	-21,8	1874	-25,3	20,4	-20,3	7,1	+446,1	0,35	+600,0

O₂-Debt=73,3O₂-Requirement=106,8O₂ Debt
O₂ Req. × 100 = 68,6O₂-Debt=69,3O₂-Requirement=102,8O₂ Debt
O₂ Req. × 100 = 67,4O₂-Debt=91,3O₂-Requirement=115,3O₂ Debt
O₂ Req. × 100 = 79,2

kommt aber daher, dass in vorliegendem Versuch das respiratorische Volum vor Beginn der Arbeit von vornherein ungemein grösser als im Kontrollversuch gewesen war, folglich gilt diese Ziffer im absoluten Wert eher als grösser denn im Kon-

Fig. 2. Versuch unter der Inhalation von kohlensäure-reicher Luft. (Versuch Nr. 1.)

trollversuch. Das derart gesteigerte respiratorische Volumen nahm nach Aufhören von der Arbeit allmählich ab, so dass es spätestens innerhalb von 30–40 Minuten zum Wert vor Arbeit wiederhergestellt war.

Der O_2 -Verbrauch wurde vor Arbeit zu 15,9–25,6 ccm pro Min. gefunden, betrug in der ersteren halben Periode der Arbeit 23,3–31,7 ccm, in der späteren halben 21,9–32,3 ccm, die prozentische Zunahme war 21,9–46,5% in der ersteren, 15,6–41,7% in der späteren. Unmittelbar nach Aufhören von der Arbeit nahm er in 3 Fällen (Versuch 2, 3 und 5) in Analogie zum Kontrollversuch vorübergehend stürmisch ab und dann wieder zu, hernach aber allmählich ab, bis er schliesslich in 30–60 Minuten auf den früheren Wert zurückkam. Im Versuch 1 und 4 aber zeigte die Kurve kein sog. Tal, sondern erholte sich lediglich unter allmählicher Abnahme. Auch selbst in demjenigen Fall, wo das Tal zutage trat, gestaltete sich das Tal mehr seicht als im Kontrollfall. Die derartige Verflachung oder gar das Fehlen des Kurventales dürfte meines Erachtens zurückgeführt werden entweder darauf, dass weil bei der CO_2 -Vergiftung die unten zu besprechende Blutmilchsäurezunahme kleiner als bei der Kontrolle ist, dementsprechend auch der Einfluss von der Azidosis weniger als bei der Norm auftritt, oder darauf, dass, weil Blut und Gewebe schon vor der Arbeit durch die CO_2 -Vergiftung intensiv azidotische Veränderungen erlitten haben, das Gewebe, selbst wenn dasselbe mit der durch Arbeit von neuem verstärkten Azidose bedroht würde, nicht mehr darauf so empfindlich wie beim Kontrollversuch reagiert.

Die CO_2 -Abgabe wurde vor Arbeit zu 0,5–9,8 ccm pro Min. gefunden, sie stieg in der ersten halben Periode der Arbeit auf 1,8–14,6 ccm, in der späteren halben auf 5,7–16,1 ccm. Sie betrug also, auf prozentuelle Zahlen umgerechnet, in der ersten halben Periode der Arbeit 49–820%, in der späteren 64–1240%, diese Zahlen gelten als eine äusserst grössere prozentische Zunahme gegenüber den Kontrollwerten. Nach Aufhören von der Arbeit verharrte die CO_2 -Abgabe, wenn auch unter unerheblicher Schwankung meistens auf gesteigertem Wert und erholte sich nach 60 Minuten nicht. Im Versuch 4 nahm sie merkwürdigerweise mit Ablauf der Zeit immer mehr zu.

RQ betrug vor Arbeit 0,03–0,43, was also ganz kleiner als der Kontrollwert war. In der ersten halben Periode der Arbeit war er 0,07–0,51, in der späteren halben 0,21–0,52, er erreichte kaum, obwohl er durch Arbeit rasch anstieg, den Ruhewert der Kontrolle. Nach der Arbeit nahm er nach transitorischer geringer Abnahme fortwährend zu und stieg nach 60 Minuten bis auf 0,25–0,70 hinauf.

Die Blutmilchsäure wurde vermehrt im Anschluss an die Arbeit im Versuch 1, 3 und 5 resp. um 64,3, 10,2 und 34,5%. Im Versuch 4 blieb sie konstant, während sie im Versuch 2 hingegen um 5,1% abnahm. Diese Werte sind beträchtlich kleiner im Vergleich zu prozentuellen Zunahmen der Kontrolle. Und sie reduzierte sich 30 oder 60 Minuten nach der Arbeit bis auf den Ursprungswert oder darunter.

„Oxygen Debt“ war 36,3–91,3, im Mittel 67,2 ccm. „Oxygen Requirement“ betrug 82,3–115,3, im Durchschnitt 100,1 ccm. Beide Komponenten „Oxygen Debt“ und „Oxygen Requirement“ zeigen zweimal so grosse Werte als bei der Inhalation von atmosphärischer Luft. Der Prozentsatz von „Debt“ zu „Requirement“ war 44,1–79,2, im Mittel 66,0%, ein mässig erhöhter Wert gegenüber dem Kontrollwert von 60,4%. Die Milchsäure, welche „Oxygen Debt“ entsprach, betrug 25,4–63,9, durchschnittlich 47,1 mg. Dieser Wert war um ca. dreimal so gross wie der Kontrollwert von 17,8 mg.

Es ist schon eine allgemeine Erfahrung, dass die Kohlensäure eine spezifische Wirkung auf das Atemzentrum besitzt, und wenn sie sich im Blut über einen gewissen Grad hinaus anhäuft, die Atemzahl und Atemtiefe vermehrt wird.

Dass in meinem vorstehenden Versuch die durch Arbeit herbeigeführte Zunahme des respiratorischen Volumens sich in absoluten Werten grösser als bei der Kontrolle ergab, dürfte beruhen erstens darauf, dass, wenn man aus dem vergrösserten Betrag von „ O_2 Re-

quirement“ schliesst, der Sauerstoffbedarf des Muskels mehr als bei der Kontrolle erhöht wird, zweitens darauf, dass die durch Arbeit produzierte Kohlensäure in der Ausscheidung aus dem Körper behindert, und infolgedessen im Blut in grösseren Mengen als bei der Kontrolle retiniert wird, oder endlich darauf, dass die Resynthese der gebildeten Milchsäure gestört wird, wodurch die cH des Blutes ungemein erhöht wird.

Die sehr spärliche CO_2 -Abgabe vor Arbeit kommt verständlicher Weise daher, dass CO_2 in Blut und Geweben retiniert wird.

Die Tatsache, dass die Kohlensäure, wenn sie auch durch Arbeit vermehrt wird, doch einen kleineren Wert als bei der Kontrolle aufweist und nach Aufhören von der Arbeit nicht so deutlich abnimmt, mitunter umgekehrt zunimmt, kann auf den Umstand, dass die Kohlensäure dann, wenn die CO_2 -Retention in Blut und Geweben einen gewissen Grad erreicht hat, nicht weiter retiniert wird, sondern ausgeschieden wird, zurückgeführt werden.

Der Hauptgrund dafür, warum „Oxygen Debt“ und „Oxygen Requirement“ überaus grössere Werte als bei der Kontrolle aufweisen, ist in erhöhter Anstrengung infolge der Ventilation, die dieselbe des Kontrolltieres weitaus übertrifft, und ausserdem in durch CO_2 -Azidosis verursachter gestörter Milchsäureresynthese zu erblicken.

Nach Hills Berechnung sollte im Arbeitsende die dreimal so grosse Milchsäuremenge als bei der Kontrolle im Muskel und Blut zurückbleiben. In meinem Versuch jedoch resultierte die Zunahme der Blutmilchsäure im Arbeitsende kleiner gegenüber derselben im Kontrollversuch. Dies ist höchstwahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass zur schon vorher durch die CO_2 -Vergiftung erzeugten Azidose intensive Azidose durch die durch Arbeit entstandene Säure sich hinzugesellt und so die arbeitende Muskeln versorgenden Gefässe zur Konstriktion bringt, demzufolge die Diffusion der dabei entstandenen Milchsäure in die Blutbahn behindert wird. Die unbedeutende CO_2 -Abgabe wird auch als ein Beweis dafür dienen, dass die Milchsäure, nicht neutralisiert, in der Muskulatur retiniert worden ist.

Nun habe ich mich, wie in erster Mitteilung geschildert, aber davon überzeugt bei einstündiger Beobachtung mit Rücksicht auf die Inhalation von kohlensäurereicher Luft, dass die Milchsäure arteriellen Blutes in umgekehrtem Verhältnis zum Zeitablauf immer stärker abnimmt. Im Hinblick darauf darf man aus Ergebnissen—sei es, dass der Blutmilchsäurespiegel im Arbeitsende sich etwas niedriger als vor Arbeit ergibt, oder dass er zwar höher als vor Arbeit, doch verhält-

nismässig weniger als bei der Kontrolle ansteigt—keineswegs darauf schliessen, dass die durch Arbeit bewirkte Milchsäurebildung unwesentlich sei. Ebenso wenig darf man, selbst wenn die Blutmilchsäure in 30–60 Minuten nach der Arbeit auf den kurz vor der Arbeit ermittelten Wert zurückkommt, hieraus folgern, dass die durch Arbeit gebildete Milchsäure vollkommen resynthetisiert worden sei.

Die erstaunliche Erniedrigung von RQ ist aus oben angeführter sehr kleiner CO_2 -Abgabe leicht zu ersehen, was auch von Campbell, Douglas, Haldane u. Hobson,²¹⁾ Herxheimer u. Kost,²²⁾ Hayasaka u. Itakura²³⁾ u. a. bereits erwiesen worden ist. Dass RQ während der Arbeit rasch ansteigt, dürfte wohl darauf bezogen werden, dass bei anfänglicher Einatmung von kohlensäurereicher Luft zwar die Kohlensäure sich bis zu einem gewissen Grad anhäuft, hernach aber allmählich ausgeschieden wird, und dass zumal noch während der Arbeit die freie Kohlensäure gebildet wird, die CO_2 -Abgabe auf einmal erhöht wird.

Dass RQ in seiner Maximalerhöhung noch kaum den bei der Einatmung von normaler Luft ermittelten Wert erreichen kann, ist darin begründet, dass, trotzdem die CO_2 -Abgabe noch niedriger als bei der Norm ist, die O_2 -Aufnahme in ziemlich beträchtlichem Masse vermehrt wird. Auch RQ verharrt noch nach Aufhören von der Arbeit auf erhöhtem Wert, das beruht darauf, dass, während die CO_2 -Abgabe nach der Steigerung nicht so merklich herabgesetzt ist, die O_2 -Aufnahme immer allmählich abnimmt.

III. Versuch bei der Inhalation von sauerstoffarmer Luft.

Als sauerstoffarme Luft wurde diejenige, welche mit 8–11% O_2 versetzt war, benutzt und der Versuch an 5 Tieren durchgeführt.

Diesbezügliche Ergebnisse sind in Tab. 3 u. Fig. 3 wiedergegeben.

Das Atemvolumen betrug vor Arbeit 738–1876 ccm pro Min., dieser Wert überstieg das dreifache des Kontrollwertes. In der ersten halben Periode der Arbeit war es 866–2176 ccm, eine Zunahme um 15,6–34,0%, in der späteren halben Periode war es 838–1912 ccm. Im Versuch 1 nahm das respiratorische Volum um 0,4% mehr ab als der Wert

21) Campbell, Douglas, Haldane u. Hobson, Journ. Physiol., 1913, **46**, 301.

22) Herxheimer u. Kost, Zeitschr. f. kl. Med., 1931, **116**, 88 u. 103.

23) Hayasaka u. Itakura, Tohoku Journ. Exp. Med., 1931, **18**, 166.

Nr.	Körpererg. (g), O ₂ -Gehalt in d. inhal. Luft (%)	Zeit (Min.)	Milchsäure		Respirator. Volumen		O ₂ -Verbrauch		CO ₂ -Abgabe		RQ	
			mg/dl	Diff. in %	cem	Diff. in %	cem	Diff. in %	cem	Diff. in %		Diff. in %
3	2040 ♀ 10,1	Vor der Arbeit Während d. Arbeit { 0 - 2,5 2,5 - 5 0 - 2,5 2,5 - 5 5 - 10 10 - 15 Nach der Arbeit { 15 - 20 20 - 30 30 - 50 50 - 70 70 - 90	28,3		1742	+ 94,9	17,8	+ 55,1	20,2	+ 31,7	1,14	
			39,2	+	2176	+ 98	27,6	+ 29,8	26,6	+ 10,9	0,96	- 15,8
					1912	- 5,2	23,1	+ 8,4	22,4	- 12,4	0,91	- 14,9
					1652	- 5,2	19,3	+ 8,4	17,7	- 12,4	0,91	- 20,2
					1814	+ 4,1	20,9	+ 17,4	19,1	- 5,4	0,91	- 20,2
					1669	- 4,2	18,4	+ 3,4	16,2	- 19,8	0,87	- 23,7
					1701	- 2,4	20,6	+ 15,7	18,2	- 9,9	0,88	- 22,8
					1652	- 5,2	20,3	+ 14,0	17,4	- 13,9	0,85	- 25,4
			45,0	+	1843	+ 5,8	21,8	+ 22,5	18,4	- 8,9	0,85	- 25,4
			59,8	+	1426	- 18,1	18,5	+ 3,9	14,9	- 26,2	0,81	- 28,9
					1899	+ 9,0	19,6	+ 10,1	15,4	- 23,8	0,79	- 30,7
			45,7	+	1782	+ 2,3	17,8	±	14,4	- 28,7	0,81	- 28,9
4	1950 ♂ 8,9	Vor der Arbeit Während d. Arbeit { 0 - 2,5 2,5 - 5 0 - 2,5 2,5 - 5 5 - 10 10 - 15 Nach der Arbeit { 15 - 20 20 - 30 30 - 50 50 - 70 70 - 90	30,9		1027	+ 15,6	14,6	+ 40,4	17,3	+ 4,0	1,18	
			38,6	+	1187	+ 18,7	20,6	+ 41,1	18,0	+ 15,0	0,96	- 25,4
					1219	- 15,7	14,2	- 2,7	13,6	- 21,4	0,96	- 18,6
					866	- 12,5	19,6	+ 34,2	17,1	- 1,2	0,87	- 26,3
					1155	+ 12,5	20,0	+ 37,0	16,6	- 4,0	0,83	- 29,7
					1163	+ 13,2	16,5	+ 13,0	12,9	- 25,4	0,78	- 33,9
					890	- 18,2	15,7	+ 7,5	13,3	- 23,1	0,85	- 28,0
					866	- 15,7	15,7	+ 2,1	12,9	- 25,4	0,86	- 27,1
			40,5	+	874	+ 14,9	14,9	+ 2,1	12,9	- 25,4	0,86	- 27,1
			33,4	+	886	- 13,7	15,6	+ 6,8	12,5	- 27,7	0,80	- 32,2
					878	- 14,5	15,2	+ 4,1	12,5	- 27,7	0,82	- 30,5
					952	- 7,3	14,2	- 2,7	12,4	- 28,3	0,87	- 26,3
5	1870 ♀ 8,9	Vor der Arbeit Während d. Arbeit { 0 - 2,5 2,5 - 5 0 - 2,5 2,5 - 5 5 - 10 10 - 15 Nach der Arbeit { 15 - 20 20 - 30 30 - 50 50 - 70 70 - 90	29,6		738	+ 17,3	10,3	+ 23,3	16,7	+ 0,6	1,61	
			49,5	+	866	+ 13,6	12,4	+ 20,4	15,8	+ 5,4	1,32	- 18,0
					838	- 8,1	12,5	+ 1,4	14,6	- 12,6	1,17	- 21,1
					798	+ 4,3	11,2	+ 8,7	13,8	- 16,8	1,23	- 27,3
					770	+ 4,3	12,4	+ 20,4	12,6	- 16,8	1,02	- 23,6
					706	- 4,3	12,4	+ 20,4	12,6	- 24,6	1,02	- 36,0
					706	- 4,3	12,3	+ 19,4	12,6	- 24,6	1,02	- 36,0
					650	- 11,9	12,9	+ 25,2	11,6	- 30,5	0,90	- 44,1
			41,2	+	626	- 16,3	12,0	+ 16,5	11,1	- 33,5	0,92	- 42,9
			36,7	+	594	- 19,5	10,9	+ 5,8	10,3	- 38,3	0,94	- 41,6
					626	- 16,3	11,7	+ 13,2	11,1	- 33,5	0,95	- 41,0
			36,7	+	563	- 25,1	10,0	+ 2,9	9,3	- 44,3	0,94	- 41,6

O₂-Debt=130,5O₂-Requirement=168,3O₂-Debt × 100=77,5O₂ Req.O₂-Debt=89,5O₂-Requirement=119,3O₂-Debt × 100=75,0O₂ Req.O₂-Debt=98,3O₂-Requirement=109,5O₂-Debt × 100=89,8O₂ Req.

vor der Arbeit, während es in anderen Fällen um 9,8–34,0% zunahm. Hieraus ersieht man, dass die Zunahme während der Arbeit, prozentisch gerechnet, zwar kleinere Werte, in absoluten Zahlen aber grössere Werte als beim Kontrollversuch aufweist. Nach

Fig. 3. Versuch unter der Inhalation von sauerstoff- armer Luft. (Versuch Nr. 1.)

Aufhören von der Arbeit nahm das respiratorische Volum im Versuch 1, 3 und 4 eine Zeitlang bis unter den Wert vor Arbeit ab und dann wieder zu, um danach von neuem abzunehmen. Im Versuch 5 nahm es nach der Arbeit allmählich ab. Und in obigen 4 Fällen wurde es zum Ursprungswert wiederhergestellt, während es im Versuch 2 nach der Arbeit vorübergehend abnahm, hernach aber umgekehrt zunahm und sich nie erholen wollte.

Der O_2 -Verbrauch betrug vor Arbeit 10,3–20,5 ccm pro Min., in der ersteren Periode der Arbeit war er 12,7–28,3 ccm, er nahm also um 20,2–55,1% zu, diese prozentuelle Zunahme war grösser gegenüber derselben des Kontrollversuchs. In der späteren halben Periode der Arbeit war er 12,4–24,7 ccm, nahm also um 20,2–41,1% zu; der O_2 -Verbrauch wurde in den meisten Fällen ziemlich kleiner als in der ersteren Periode. In der Erholungsperiode zeigte er das sog. Tal ein- oder zweimal und zwar Versuch 1 nach 2,5 und 15 Minuten, im Versuch 3 nach 2,5 und 10 Minuten, im Versuch 4 nach 2,5 Minuten, im Versuch 5 nach 5 Minuten, im Versuch 2 wurde er nach der Arbeit von neuem vermehrt, so dass nach 5 und 15 Minuten hier ein seichtes Tal in Erscheinung trat. Im darauf folgenden Zeitraum nahm der O_2 -Verbrauch in allen Fällen langsam ab, und zwar derart, dass er im Versuch 1 bis zum Ablauf von 60 Minuten, in anderen Versuchen bis zum Ablauf von 90 Minuten vollkommen zum Anfangswert wiederhergestellt wurde.

Die CO_2 -Abgabe betrug vor Arbeit 16,0–22,9 ccm pro Min., die-

ser Betrag war ausserordentlich grösser als der des Kontrollversuchs. Sie wurde in der ersteren halben Periode der Arbeit zu 16,8–26,6 ccm, in der späteren halben Periode zu 15,8–22,4 ccm ermittelt. In Versuch 1 und 2 ergab sich die CO_2 -Abgabe wie folgt: Sie verminderte sich im Gegenteil zu anderen Fällen während der Arbeit, nämlich in der ersteren halben Periode um 11,8% und 0,6%, in der späteren halben um 24,9% und 0,6%. In anderen 3 Fällen vermehrte sie sich durch die Arbeit und zwar in der ersten halben Periode um 31,7%, 4,0% und 0,6%; diese prozentische Zunahme war kleiner als bei der Kontrolle. Im Versuch 5 verminderte sie sich in der letzteren halben Periode bis unter den Wert vor der Arbeit, während sie in Versuch 3 und 4 in demselben Zeitpunkt noch eine Zunahme um 10,9% und 15,0% beibehielt. Nach Aufhören von der Arbeit nahm die CO_2 -Abgabe in allen Fällen allmählich ab.

RQ zeigte vor Arbeit einen äusserst erhöhten Wert von 1,12–1,61. In der ersteren halben Periode der Arbeit betrug er 0,71–1,32, in der späteren halben 0,70–1,27. RQ nahm durch Arbeit nicht zu, sondern in der ersteren halben Periode der Arbeit um 15,8–36,6%, in der späteren halben um 14,9–37,5% ab. Nach Aufhören von der Arbeit nahm RQ, wenn auch schwankend, immer stärker ab, in Versuch 1 und 2 erreichte er schliesslich einen subnormalen Wert.

Die Blutmilchsäure wurde vor Arbeit zu 27,7–32,8 mg/dl ermittelt, im direkten Anschluss an die Arbeit betrug sie 32,2–49,5 mg/dl, sie wurde also durch Arbeit um 16,2–67,2% vermehrt. Nach der Arbeit vermehrte sie sich mit Ausnahme des Versuches 5 in allen anderen Versuchen noch weiter und hatte keine Neigung zur Abnahme. Im Versuch 5 nahm sie allmählich ab und konnte doch selbst nach 90 Minuten noch nicht wiederhergestellt werden.

„Oxygen Debt“ betrug 89,5–166 ccm, dieser Wert erreichte das annähernd fünffache des Kontrollwertes von 18–31 ccm. „Oxygen Requirement“ betrug 109,5–179,5 ccm, dieser Betrag war ebenfalls $3\frac{1}{2}$ mal so gross wie der Kontrollwert von 36–50 ccm.

Das Zahlenverhältnis von „Debt“ zu „Requirement“ war 75,0–92,5%, diese Zahlen erwiesen sich auch als viel grösser gegenüber dem Kontrollwert von 50,0–71,5%.

Die Milchsäuremenge, welche „Oxygen Debt“ entsprach, betrug 62,7–116,2 im Mittel 84,6 mg, ein Wert, der das fünffache gegenüber dem Kontrollwert von 17,8 mg und ungefähr das Doppelte des Wertes von 47,1 mg bei der Kohlensäurevergiftung ausmacht.

Über den Einfluss des O₂-Mangels auf die Atmung habe ich in erster Mitteilung ausführlich besprochen.

In meinem Versuch wurde die Atmung vom Augenblick der Einatmung von sauerstoffarmem Gas an gesteigert. Nach diesem Ergebnisse dürfte angenommen werden, dass die verminderte alveolare O₂-Spannung die Erregbarkeit des Atemzentrums reflektorisch erhöht. Das Atemvolumen während der Arbeit wurde in stärkerem Masse als bei der Kontrolle vermehrt. Diese stärkere Vermehrung sollte unvermeidlich zur Folge haben, dass, trotzdem der Sauerstoffbedarf während der Arbeit stark erhöht wird, die alveolare O₂-Spannung höher als bei körperlicher Ruhe zu bleiben vermag. Die derartige während der Arbeit erfolgende Steigerung der Atmung dürfte demgemäss meines Erachtens in innigem Zusammenhang mit dem vermehrten Sauerstoffverbrauch und der Stoffwechselsteigerung stehen.

Die Tatsache, dass der während der Arbeit sich vollziehende Sauerstoffverbrauch in grösserem Masse als bei der Kontrolle zunimmt, kann in die innige Beziehung mit der Milchsäurebildung der arbeitenden Muskeln gebracht werden.

Als Folge der Einatmung von sauerstoffarmer Luft kommt es zunächst zur Hyperventilation und sodann zur Alkalose des Blutes, wodurch die Glykolyse gefördert (Kodera u. Sugimoto²⁴), dementsprechend auch die Milchsäure mehr gebildet werden dürfte.

Durig²⁵) studierte über den Energieverbrauch gelegentlich des Horizontallaufens in Wien und Semmering (1000 m Höhe) vergleichend und beobachtete hierbei, dass er in Semmering um 6,9–8,9% zunahm. Andere Autoren²⁶) stellten auch vergleichende Beobachtung über den Energieverbrauch beim Horizontallaufen im Tiefland und in 2900 m Höhe an und fanden, dass der Energieverbrauch im Höhenklima um durchschnittlich 11,7% vermehrt wird.

Dass in der Nachperiode der Arbeit der Sauerstoffverbrauch auf erhöhtem Wert für lange Zeit verharret, d. h. „Oxygen Debt“ sich ausserordentlich grösser verhält, muss dadurch bedingt sein, dass die Oxydation der Milchsäure durch den Sauerstoffmangel stark gehemmt wird.

Die Vergrösserung von „Oxygen Debt“ beim O₂-Mangel beobachtete Barcroft²⁷) bei der Inhalation von einer 14,65% O₂ enthaltenden Luft. Margaria²⁸)

24) Kodera u. Sugimoto, wird bald in dieser Zeitschrift publiziert.

25) Durig, zit. nach Loewy, Physiologie des Höhenklimas, Berlin, 1932, 209.

26) Loewy, Physiologie des Höhenklimas, Berlin, 1932, 210.

27) Barcroft, The respiratory function of the blood, Cambridge, 1925, Teil I, 84.

28) Margaria, Arch. d. Fisiol., 1928, 26, zit. nach Loewy, Physiologie des Höhenklimas, Berlin, 1932, 215.

konnte in Turin und Col d'Olen (2900 m) bei derselben Arbeit (Körperhebung 20 mal in der Minute, 5 Minuten lang) nachweisen, dass in Col d'Olen „Oxygen Debt“ um 5% höher resultiert.

In bezug darauf, dass die Kurve des O_2 -Verbrauchs in der Nachperiode in den meisten Fällen 2 Täler darbietet, sei einiges erwähnt; vom Tal, welches im direkten Anschluss an die Beendigung der Arbeit auftritt, war schon oben die Rede, das später darauf auftretende Tal ist keineswegs durch den Einfluss der Arbeit, sondern dadurch bedingt, dass als Ausdruck des Einflusses des O_2 -Mangels die Milchsäure intensiv gebildet wird und das Blut wiederum zur Azidose geneigt ist. Im vorigen Bericht habe ich darauf hingewiesen, dass als Ausdruck des Einflusses der O_2 -Mangels die Milchsäure zunimmt und diese in ca. 35–50 Minuten nach erfolgter Inhalation von sauerstoffarmer Luft das Maximum erreicht und danach wieder abnimmt. Im vorliegenden Versuch konnte ich mich leider, da ich aus Rücksicht auf etwaige Anämie die Entnahme der Blutprobe nicht so häufig vornahm, nicht davon überzeugen, ob und wann die Milchsäure ihr Maximum erreicht hätte, folglich dass die Höhe der Milchsäure und das Auftreten des Kurvental zeitlich miteinander übereinstimmen; dennoch dürfte soviel als sicher angesprochen werden, dass das Auftreten des zweiten Tals durch die Azidosis, welche auf abnormer, durch den O_2 -Mangel bedingter Milchsäureanhäufung beruht, bewerkstelligt wird.

Die erhebliche Steigerung der CO_2 -Abgabe vor der Arbeit kommt daher, dass infolge des O_2 -Mangels die Übertventilation eintritt und dadurch die Blutkohlensäure in beträchtlichem Masse abdunstet. Aus diesem Grund ist es von vornherein verständlich, dass in dem Masse, als die Hypokapnie immer mehr manifest auftritt, auch die CO_2 -Abgabe immer mehr herabgesetzt wird.

Da aber nun die CO_2 -Abgabe vor der Arbeit so ungeheuer, wie oben erwähnt, zugenommen, der O_2 -Verbrauch aber hingegen abgenommen hat, weist RQ vor der Arbeit einen höheren Wert von 1,61 auf.

Haldane und Poulton²⁹⁾ sahen durch die Einatmung von sauerstoffarmer Luft RQ 2,8 erreichen, ebenfalls bestätigten Harrison, Wilson, Neighbors u. Pilcher,³⁰⁾ Gesell, Krueger, Gorham und Bernthal³¹⁾ bei einschlägiger Beobachtung überaus erhebliche Erhöhung von RQ.

29) Haldane u. Poulton, Journ. Physiol., 1908, **37**, 390.

30) Harrison, Wilson, Neighbors u. Pilcher, Americ. Journ. Physiol., 1927, **83**, 275.

31) Gesell, Krueger, Gorham u. Bernthal, Americ. Journ. Physiol., 1930, **94**, 300.

RQ nimmt auch im Laufe der Arbeit ab; das beruht darauf, dass während die CO₂-Abgabe, wie oben angeführt, nicht so bedeutend vermehrt, sondern unter Umständen umgekehrt vermindert wird, der O₂-Verbrauch hingegen erheblich erhöht wird.

Dass RQ nach Aufhören von der Arbeit immer stärker abnimmt, ist dahin zu erklären, dass die CO₂-Abgabe gleichzeitig mit dem Eintritt der Hypokapnie vermindert wird, wogegen der O₂-Verbrauch für längere Zeit seinen erhöhten Wert beibehält.

Zusammenfassung.

In der Absicht, die bei CO₂-Vergiftung oder O₂-Mangel durch die Muskularbeit auftretenden Veränderungen des Energiewechsels zu erforschen, wurden an Kaninchen, unter der Inhalation von kohlensäurereicher oder sauerstoffarmer Luft durch faradische Reizung des N. ischiadicus 5 Minuten lang Muskelkontraktionen am beiderseitigen Unterschenkel hervorgerufen, wobei „O₂-Debt“, „O₂-Requirement“, respiratorisches Volum, RQ und CO₂-Abgabe bestimmt und diese Ergebnisse mit denselben bei der Einatmung von normaler Luft verglichen wurden.

1. Bei der Einatmung von normaler Luft nimmt die Blutmilchsäure gleich nach Aufhören von der Arbeit in erheblichem Masse zu und kommt innerhalb 30 Minuten danach vollkommen auf den Wert vor der Arbeit zurück. Der O₂-Verbrauch nimmt durch Arbeit zu, aber unmittelbar nach der Arbeit transitorisch stürmisch ab und wieder zu, um danach allmählich abzunehmen; in den meisten Fällen erholt er sich etwas später als die Milchsäure, nämlich nach 20–60 Minuten.

Die Veränderungen von CO₂-Abgabe und RQ bei der Arbeit gestalten sich in der Mehrzahl der Fälle im grossen ganzen ähnlich denen des O₂-Verbrauchs.

2. Durch Arbeit unter der Einatmung von kohlensäurereicher Luft erfolgt die Zunahme der Blutmilchsäure unmittelbar nach der Arbeit nicht so intensiver als bei der Kontrolle, in den meisten Fällen nimmt sie in 30 oder 60 Minuten bis unter den Wert, der kurz vor der Arbeit ermittelt worden ist, ab. Respiratorisches Volum wird durch die Einatmung von kohlensäurereicher Luft beträchtlich vermehrt, und auch die durch Arbeit herbeigeführte Vermehrung ist grösser als die der Kontrolle. Der O₂-Verbrauch zeigt hierbei eine auffallend grössere Zunahme als bei der Kontrolle, und die durch Arbeit aufge-

tretenen Zunahme dauert länger als bei der Kontrolle an. Und das „O₂ Debt“, das „O₂ Requirement“ sowie das Verhältnis von „O₂ Debt“ zu „O₂ Requirement“ sind alle weitaus grösser als bei der Inhalation von atmosphärischer Luft. Die CO₂-Abgabe, die vor der Arbeit äusserst spärlich gewesen war, nimmt durch Arbeit rapid zu und behält während der Arbeit ihren erhöhten Wert andauernd bei. Auch RQ verhielt sich vor der Arbeit überaus niedrig, erhöht sich aber durch überraschend und hat die Tendenz, nach der Arbeit weiter zuzunehmen.

3. Durch die Muskelarbeit unter der Einatmung von sauerstoffarmer Luft erfolgt die Erhöhung des Milchsäurespiegels des Bluts besonders unmittelbar nach der Arbeit in auffallendster Weise gegenüber den vorigen zwei Versuchsreihen, sie ist selbst im Ablauf von 90 Minuten nach der Arbeit noch nicht wiederhergestellt. Die während der Arbeit erfolgte Zunahme der O₂-Aufnahme erweist sich als stärker als bei der Einatmung von normaler Luft und die Erholung nach Aufhören von der Arbeit findet sehr verzögert statt, nämlich erst in 60 oder 90 Minuten. Das „O₂ Debt“, das „O₂ Requirement“ sowie das Verhältnis von „O₂ Debt“ zu „O₂ Requirement“ sind bei weitem vergrössert als bei der Inhalation von atmosphärischer oder kohlensäurereicher Luft. Respiratorisches Volumen ist vor der Arbeit zwar kleiner als bei der Einatmung von kohlensäurereicher Luft, aber noch weitaus grösser als bei derselben von normaler Luft, und vermehrt sich viel durch Arbeit stärker als bei der Norm. Die CO₂-Abgabe war schon vor der Arbeit sehr erhöht gewesen, nimmt durch Arbeit meistens unerheblich zu und nach Abschluss der Arbeit immer stärker ab. RQ erwies sich vor der Arbeit äusserst erhöht und nimmt sowohl während der Arbeit wie auch nach derselben immer stärker ab, bis er schliesslich manchmal einen subnormalen Wert erreicht.