Ueber die Kohlensäureabgabe bei Muskellarbeit.¹

Von

Gunnar Koraen.

(Aus dem physiologischen Laboratorium des Carolinischen medico-chirurgischen Instituts in Stockholm.)

Die vorliegenden Versuchsreihen bilden eine Fortsetzung der in diesem Archiv Bd. XIII, S. 251 bis 268 von Johansson und Koraen veröffentlichten Untersuchungen. Durch jene Untersuchungen haben Johansson und Koraen nachgewiesen, dass eine Nahrungsaufnahme die bei Muskellarbeit stattfindenden Umsetzungsprocesse nicht beeinflusst, indem eine Zufuhr von Fett keine Steigerung der CO_2 -Abgabe, weder bei Muskellarbeit, noch bei vollständiger Ruhe, bewirkt; eine Zufuhr von Zucker steigert die CO_2 -Abgabe ebenso viel bei Muskellarbeit wie bei Ruhe, und Muskellarbeit steigert die CO_2 -Abgabe ebenso viel bei Zufuhr von Zucker wie in nüchternem Zustande.

Nach einer Periode von Hunger und kräftiger Muskelthätigkeit nimmt die CO_2 -Bildung sowohl bei Muskellarbeit wie bei Ruhe ab; aller Wahrscheinlichkeit nach weil der im Körper vorhandene Glykogenvorrath sich in beträchtlichem Grade verringert hat und statt seiner das Körperfett an den bei Muskellarbeit und bei Ruhe stattfindenden Zersetzungsprocessen in höherem Maasse theilnimmt.

Ob diese Annahme richtig ist, sollte man demnach dadurch ermitteln können, dass man durch Hunger und Muskelthätigkeit den Glykogenvorrath des Körpers verbrauchte oder wenigstens auf ein Minimum reducirte und dann einige Tage lang dem Körper eine seinem Energiebedarf entsprechende nicht glykogenbildende Nahrung — Fett — zuführte: der Körper sollte demnach fortdauernd Mangel an Glykogen leiden, und wenn dieser Glykogenmangel die Ursache

¹ Der Redaction am 3. Juli 1904 zugegangen.

der verringerten CO_2 -Bildung wäre, sollte man auch jetzt trotz der Fettnahrung dieselben niedrigen Werthe der CO_2 -Bildung bei Muskelarbeit und bei Ruhe wie vorher nach Hunger erhalten; wenn man dann einige Tage lang dem Körper eine glykogenbildende Nahrung — Zucker — zuführte, würde der Körper wieder einen hinreichenden Glykogenvorrath aufspeichern können und man würde jetzt dieselben Werthe der CO_2 -Bildung wie unter normalen Verhältnissen erhalten.

In Gemässheit dieses Planes wurden die nachstehenden Versuche ausgeführt. Die Versuchsperson war ich selber. Mein Körpergewicht betrug bei Beginn des Versuches 62.9 kg. Die Arbeit wurde wie bei den oben angeführten Versuchen von Johansson und Koraen mit dem von Johansson¹ construirten Arbeitsapparat ausgeführt, der in der von Tigerstedt und Sondén eingerichteten Respirationskammer im hiesigen physikalischen Laboratorium aufgestellt war. Die Analysen sind theils von mir selbst, theils von Fräulein Cand. phil. Tora Rosenberg ausgeführt worden. Bei allen Versuchsreihen: Hebung: $P = 21.7$ kg; $H = 0.5$ m; $D = 0$ cm; $A = 10.85$ m·kg; $Z = 1.1$ sec.

Tabelle I. Die CO_2 -Abgabe bei Muskelarbeit im nüchternen Zustande nach gewöhnlicher gemischter Kost.

Datum	N	Q	CO_2 g in $\frac{1}{2}$ Stunde		Δ	
			beob.	ausgegl.		
20./IX. 1901	449	4872	36.2	36.2	± 0.0	$q = 10.9 \pm 0.3$
18./IX. „	447	4850	35.9	36.1	-0.2	$p = 0.0563 \pm 0.0006$
20./IX. „	302	3277	28.1	27.9	$+0.2$	
18./IX. „	303	3288	27.8	28.0	-0.2	
20./IX. „	151	1638	19.3	19.4	-0.1	

Tab. I enthält einen „Normalversuch“. Der aus der Versuchsreihe berechnete Ruhewerth, q , beträgt 10.9 s in $\frac{1}{2}$ Stunde oder 21.8 s in 1 Stunde und stimmt also innerhalb der Grenzen der Versuchsfehler mit jenem direct beobachteten Ruhewerth, 22.2 s in 1 Stunde, den ich bei einer vorhergehenden Versuchsreihe² gefunden habe; er stimmt auch mit demjenigen berechneten Ruhewerth q , den ich bei den oben angeführten Versuchsreihen von Johansson und Koraen³ erhalten habe. Die CO_2 -Abgabe, die einer Hebung, p , entspricht, be-

¹ *Dies Archiv* 1900. Bd. XI. S. 273.

² *Ebenda* 1900. Bd. XI. S. 178.

³ *Ebenda* 1902. Bd. XIII. S. 260.

trägt 0.0563^g und stimmt also mit demjenigen Werth 0.0556^g, den ich vorher gefunden habe.

Nachdem es sich also gezeigt hatte, dass ich die für mich constanten *q*- und *p*-Werthe unter normalen Verhältnissen erreicht hatte, setzte ich den Versuch nach dem vorstehend erwähnten Plane fort, zunächst mit Hunger und kräftiger Muskelthätigkeit einen Tag lang; dann mit ausschliesslicher Fettnahrung zwei Tage lang; dann mit ausschliesslicher Zuckernahrung zwei Tage lang und zuletzt mit gewöhnlicher gemischter Kost zwei Tage lang.

Im Detail wie folgt:

19. Sept. 1901. Gewöhnliche gemischte Kost; letzte Mahlzeit um 5^h 30' Nachmittags; 10^{km} Radfahren.

20. Sept. „Hungertag“; am Morgen Arbeit in der Respirationsskammer etwa 11000^{m-kgr} (Tab. I); im Laufe des Tages etwa 30^{km} Radfahren; überdies Arbeit im Laboratorium, gewöhnliche Laboratoriumsarbeit bis 8^h Nachmittags; ging (nach Schrittzähler) etwa 9000 Schritte; zu Bett um 9^h 30' Nachmittags.

21. Sept. „Fetttag“; schlief unruhig die ganze Nacht, erwachte zwei Mal; aufgestanden um 7^h Morgen; dann Arbeit in der Respirationsskammer etwa 11000^{m-kgr} (Tab. II); nahm dann im Laufe des Tages 270^g reines Olivenöl zu mir (= 2511 W. E.). Arbeit im Laboratorium bis um 8^h Nachmittags; ging 7000 Schritte; zu Bett um 10^h Abends, ziemlich starkes Gefühl von Müdigkeit und Unlust.

22. Sept. „Fetttag“; schlief unruhig während der Nacht; aufgestanden um 7^h Vormittags; dann Arbeit in der Respirationsskammer etwa 11000^{m-kgr} (Tab. III); nahm bei dieser Versuchsreihe 75^g Olivenöl $\frac{1}{2}$ Stunde vor Anfang des Versuches zu mir; dann im Laufe des Tages noch 195^g Olivenöl; Arbeit im Laboratorium bis 8^h Nachmittags; ging 11000 Schritte; zu Bett um 10^h 30' Abends; sehr müde und unlustig.

23. Sept. „Zuckertag“; schlief ohne Unterbrechung bis 5^h 30' Vormittags; aufgestanden um 7^h; dann Arbeit in der Respirationsskammer etwa 11000^{m-kgr} (Tab. IV); genoss im Laufe des Tages 610^g Rohrzucker (= 2501 W. E.) theils als Substanz, theils als gesättigte Wasserlösung mit Zusatz von etwas Weinsäure; Arbeit im Laboratorium bis 8^h Abends; ging 9000 Schritte; zu Bett um 10^h; subjectives Befinden gut; kein nennenswerthes Gefühl von Müdigkeit.

24. Sept. „Zuckertag“; schlief gut ohne Unterbrechung bis 7^h Vormittags; aufgestanden um 7^h 30'; genoss im Laufe des Tages 610^g Rohrzucker; Arbeit im Laboratorium bis 9^h Nachmittags; ging 10000 Schritte; zu Bett um 10^h.

25. Sept. Gewöhnliche gemischte Kost; schlief gut bis um 6^h Morgens; aufgestanden um 7^h; dann Arbeit in der Respirationskammer etwa 11000 m^mkg (Tab. V).

26. Sept. Gewöhnliche gemischte Kost.

27. Sept. Am Morgen im nüchternen Zustande Arbeit in der Respirationskammer etwa 11000 m^mkg (Tab. VI).

Der ganze Versuch verlief ohne irgendwelche Verdauungsstörungen. Das Körpergewicht, das bei Beginn des Versuches den 19. September 62.9 kg betrug, ging während der folgenden Tage zurück, so dass es bei der Wiederaufnahme gewöhnlicher Kost den 25. September 58.8 kg, und zwei Tage später, während welcher gewöhnliche Kost genossen wurde, den 27. September 59.1 kg betrug. Als Getränk wurde die ganze Zeit über gewöhnliches Wasser verwendet. Da die Versuchsperson fünf Tage lang (20., 21., 22., 23., 24. September) auf absoluten N-Hunger gesetzt war, wurde der Harn für jeden Tag während des ganzen Versuches mit Anfang den 19. September Vormittags 8^h theils in Tagesportionen (8^h Vorm. bis 8^h Nachm.), theils in Nachtportionen (8^h Nachm. bis 8^h Vorm.) aufgehoben. Als separate Portionen wurde der Harn während der Arbeitsversuche in der Respirationskammer aufgehoben. Auf die Ergebnisse der Harnuntersuchungen, die von besonderem Interesse sind, werde ich späterhin zurückkommen. Fäces wurden nur ein Mal während des Versuches, 25. September, erhalten, versehentlich wurden sie aber nicht auf ihren Fettgehalt analysirt, wie es die Absicht gewesen war. Der Fettverlust kann daher nicht exact angegeben werden; er dürfte aber, nach Allem zu urtheilen, nicht besonders gross gewesen sein.

Tabelle II. Die CO₂-Abgabe bei Muskelarbeit nach eintägigem Hunger nebst kräftiger Muskelthätigkeit.

Datum	N	Q	CO ₂ ^s in 1/2 Stunde		Δ	
			beob.	ausgegl.		
21./IX. 1901	449	4872	33.3	33.0	+0.3	$q = 9.7 \pm 0.7$
	303	3288	24.8	25.4	-0.6	$p = 0.0517 \pm 0.0023$
	150	1628	17.8	17.5	+0.2	

Tab. II enthält eine Versuchsreihe nach Hunger und kräftiger Muskelthätigkeit. Die CO₂-Abgabe, die einer Hebung, p , entspricht, beträgt 0,0517 s. Der entsprechende Werth im nüchternen Zustande nach gewöhnlicher gemischter Kost beträgt 0.0563 s (Tab. I). Der p -Werth nach Hunger ist also um 8 Proc. niedriger als der p -Werth im nüchternen Zustande, eine Differenz, die ausserhalb der Grenzen der

Versuchsfehler liegt. Auch ein Rückgang des berechneten Ruhewerthes, q , hat stattgefunden. Der Ruhewerth nach Hunger beträgt 9.7^s in $\frac{1}{2}$ Stunde; der entsprechende q -Werth im nüchternen Zustande 10.9^s . Der Hungerwerth ist also um 11 Proc. niedriger, eine Differenz, die gleichfalls ausserhalb der Grenzen der Versuchsfehler liegt. Diese niedrigeren p - und q -Werthe, 0.0517^s bzw. 9.7^s , nach Hunger und kräftiger Muskelthätigkeit stimmen gut mit den p - und q -Werten, 0.0505^s bzw. 9.8^s , überein, die ich vorher bei einem derartigen Versuch¹ erhalten habe.

Wie also aus diesen Versuchsreihen hervorgeht, nimmt constant bei Hunger und nach kräftiger Muskelthätigkeit die CO_2 -Bildung sowohl bei Muskelarbeit als bei Ruhe ab. Dies dürfte davon abhängen, dass der Glykogenvorrath des Körpers aufgebraucht oder wenigstens in erheblichem Grade verringert worden ist und statt dessen eine grössere Theilnahme des Körperfettes an den Zersetzungsprocessen stattfindet. Dies geht aus den folgenden Versuchsreihen hervor.

Tabelle III. Die CO_2 -Abgabe bei Muskelarbeit nach eintägigem Hunger nebst kräftiger Muskelthätigkeit und eintägiger ausschliesslicher Fettnahrung und bei gleichzeitiger Aufnahme von Fett.

Datum	N	Q	CO_2 g in $\frac{1}{2}$ Stunde		Δ	
			beob.	ausgegl.		
22./IX. 1901	453	4915	33.1	33.0	+0.1	$q = 9.9 \pm 0.3$
	305	3309	25.3	25.5	-0.2	$p = 0.0511 \pm 0.0007$
	150	1628	17.6	17.5	+0.1	

Bei dieser Versuchsreihe wurde $\frac{1}{2}$ Stunde vor Anfang des Versuches 75^s reines Olivenöl genossen. Die Versuchsperson hatte vorher einen Tag lang, 20. September, gehungert und am folgenden Tage, 21. September, 270^s Olivenöl genossen. Es mangelte dem Körper also fortfahrend an Kohlehydraten. Da zudem eine Zufuhr von Fett die CO_2 -Abgabe weder bei Muskelarbeit noch bei vollständiger Ruhe beeinflusst, sollte man bei diesem Versuche dieselben niedrigen p - und q -Werthe erhalten wie vorher nach Hunger allein (Tab. II). Dies ist auch der Fall. Der berechnete Ruhewerth, q , beträgt 9.9^s und der p -Werth beträgt 0.0511^s . Die Werthe stimmen gut mit den vorher nach Hunger gefundenen Werthen 9.7^s bzw. 0.0517^s überein (Tab. II).

¹ Dies Archiv. 1902. Bd. XIII. S. 265.

Tabelle IV. Die CO_2 -Abgabe bei Muskellarbeit nach eintägigem Hunger nebst kräftiger Muskelthätigkeit und zweitägiger ausschliesslicher Fettnahrung. Nüchternwerth.

Datum	N	Q	CO ₂ g in 1/2 Stunde		Δ	
			beob.	ausgegl.		
23./IX. 1901	450	4883	33.1	32.7	+0.4	$q = 10.1 \pm 0.8$
	305	3309	24.8	25.5	-0.7	$p = 0.0503 \pm 0.0023$
	150	1628	18.0	17.7	+0.3	

Tab. IV enthält eine Versuchsreihe im nüchternen Zustande, nachdem die Versuchsperson vorher einen Tag lang, 20. September, gehungert und die beiden folgenden Tage, 21. und 22. September, ausschliesslich Fettnahrung zu sich genommen hatte. Es wurden jeden Tag 270 g reines Olivenöl (= 2511 W. E. oder mehr als 40 W. E. pro Kilo Körpergewicht) genossen. Es mangelte also dem Körper fortwährend an Kohlehydraten. Wir erhalten wieder dieselben niedrigen p - und q -Werthe wie vorher nach Hunger allein (Tab. II). Bei dieser Versuchsreihe betragen die p - und q -Werthe 0.0503 g bzw. 10.1 g, entsprechend den vorher nach Hunger gefundenen Werthen 0.0505 g bzw. 9.8 g¹ und 0.0517 g bzw. 9.7 g (Tab. II). Die Werthe stimmen auch mit den Werthen, die ich bei Kohlehydrathunger, aber bei gleichzeitiger Zufuhr von Fett während des Arbeitsversuches erhalten habe, nämlich 0.0511 g bzw. 9.9 g (Tab. III).

Demnach hat die CO_2 -Bildung bei allen den Versuchsreihen, bei welchen es dem Körper an Kohlehydraten gemangelt hat, constant eine Abnahme gezeigt, sowohl bei Muskellarbeit als bei Ruhe.

Während der beiden folgenden Tage, 23. und 24. September, nahm nun die Versuchsperson ausschliesslich Kohlehydratnahrung — Rohrzucker — zu sich, und zwar jeden Tag 610 g (= 2501 W. E. oder mehr als 40 W. E. pro Kilo Körpergewicht). Der Körper hatte also Gelegenheit, wieder einen hinreichenden Glykogenvorrath aufzuspeichern. Das Ergebniss eines dann stattfindenden Arbeitsversuches finden wir in Tab. V.

¹ Dies Archiv. 1902. Bd. XIII. S. 265.

Tabelle V. Die CO_2 -Abgabe bei Muskelarbeit nach eintägigem Hunger nebst kräftiger Muskelthätigkeit, zweitägiger ausschliesslicher Fettnahrung und zweitägiger ausschliesslicher Zuckernahrung.

Datum	N	Q	CO_2 g in $\frac{1}{2}$ Stunde		Δ	
			beob.	ausgegl.		
25./IX. 1901	453	4915	34.7	34.5	+0.2	$q = 8.7 \pm 0.5$
	304	3298	25.6	26.0	-0.4	$p = 0.0568 \pm 0.0015$
	147	1595	17.3	17.1	+0.2	

Bei dieser Versuchsreihe beträgt der p -Werth 0.0568^s und stimmt also mit den p -Werthen, die ich vorher im nüchternen Zustande nach gewöhnlicher gemischter Kost erhalten habe, 0.0563^s (Tab. I) und 0.0556^s ¹ und auch mit dem p -Werth 0.0569^s , der bei einem Normalversuch zwei Tage später, 27. September, gefunden wurde (Tab. VI). Durch die Zufuhr von Zucker hat sich also die bei Kohlehydrathunger verminderte CO_2 -Bildung bei Muskelarbeit wieder zu der gewöhnlichen Höhe gesteigert.

Der berechnete Ruhewerth q , 8.7^s , bei dieser Versuchsreihe ist ungewöhnlich niedrig. Man hätte erwartet, dass auch der Ruhewerth, der bei dem Kohlehydrathunger ein wenig abgenommen hatte, sich nach der Zufuhr von Zucker wie der p -Werth zu seiner gewöhnlichen Höhe steigern würde. Dies war jedoch nicht der Fall. Wir haben jetzt anstatt des gewöhnlichen Ruhewerthes im nüchternen Zustande einen Werth erhalten, der sehr viel niedriger ist als irgend einer der vorher gefundenen Werthe. Bei der Versuchsreihe dagegen, die zwei Tage später nach gewöhnlicher gemischter Kost ausgeführt wurde, hat der Ruhewerth die normale Höhe wieder erreicht. Dass der aussergewöhnlich niedrige Ruhewerth 8.7^s auf irgend einem Versuchsfehler beruhen sollte, liegt kein Grund vor anzunehmen. Dagegen ist hin und wieder beobachtet worden, theils von mir selbst in ein paar früheren Versuchen², theils während der kürzlich im hiesigen Laboratorium ausgeführten³, mit verschiedenen Arten Kohlehydraten, dass man nach starker Kohlehydratzufuhr, nachdem die unmittelbar eintretende Steigerung der CO_2 -Abgabe vorübergegangen ist, ausser-

¹ *Dies Archiv.* 1902. Bd. XIII. S. 260.

² *Ebenda* 1900. Bd. XI. S. 185.

³ *Ebenda* 1904. Bd. XVI. S. 266.

gewöhnlich niedrige Ruhewerthe erhält, von denen nicht angenommen werden kann, dass es Versuchsfehler sind, sondern die vielleicht darauf beruhen dürften, dass die Umsatzprocesse im Körper in dieser oder jener Weise durch die starke Zufuhr von Kohlehydraten geändert worden sind. Der niedrige q -Werth bei dieser Versuchsreihe könnte daher vielleicht mit der vorausgegangenen starken Zufuhr von Zucker in Zusammenhang gebracht werden. Möglicher Weise werde ich Gelegenheit haben, künftighin hierauf zurück zu kommen.

Tabelle VI. Die CO_2 -Abgabe bei Muskularbeit im nüchternen Zustande nach gewöhnlicher gemischter Kost.

Datum	N	Q	CO_2 g in $\frac{1}{2}$ Stunde		Δ	
			beob.	ausgegl.		
27./IX. 1901	449	4872	36.4	36.4	± 0.0	$q = 10.8 \pm 0.0$
	303	3288	28.0	28.1	-0.1	$p = 0.0569 \pm 0.0000$
	154	1671	19.6	19.6	± 0.0	

Tabelle VII enthält eine Zusammenstellung der von der Versuchsperson K. erhaltenen p -Werthe mit den entsprechenden q -Werthen.

		CO_2 - Abgabe — p — entspr. d. Muskularbeit bei 1 Hebung; $P = 21.7 \text{ kg}$; $H = 0.5 \text{ m}$; $\alpha = 1.1 \text{ sec}$.	CO_2 -Abgabe — q — in $\frac{1}{2}$ St. Ruhewerth
Im nücht. Zustande nach gewöhnl. gemischter Kost	Febr.-März 01	0.0556 ± 0.0009^3	11.1 ± 0.5^3
	20./IX. 01	0.0563 ± 0.0006	10.9 ± 0.3
	27./IX. 01	0.0569 ± 0.0000	10.8 ± 0.0
Nach eintäg. Hunger nebst kräftiger Muskelthätigkeit	1./VI. 01	0.0505 ± 0.0012^4	9.8 ± 0.4^4
	21./IX. 01	0.0517 ± 0.0023	9.7 ± 0.7
do. + nach zweit. Fettnahr.	23./IX. 01	0.0503 ± 0.0023	10.1 ± 0.8
do. do. + n. zweit. Zuckern.	25./IX. 01	0.0568 ± 0.0015	8.7 ± 0.5

Wir können die Ergebnisse der von der Versuchsperson K. ausgeführten Versuchsreihen so zusammenfassen: durch Hunger und kräftige Muskelthätigkeit nimmt die CO_2 -Bildung sowohl bei Muskularbeit als bei Ruhe ab. Diese Abnahme wird durch eine ausschliessliche Fettnahrung nicht beeinflusst. Zuckernahrung steigert dagegen die

³ Dies Archiv. 1903. Bd. XIII. S. 260.

⁴ Ebenda 1903. Bd. XIII. S. 265.

verminderte CO_2 -Bildung bei Muskelarbeit wieder zu ihrer gewöhnlichen Höhe.

Dieses Verhältniss kann nur so gedeutet werden, dass bei Hunger und bei ausschliesslicher Fettnahrung der Glykogenvorrath des Körpers aufgebraucht oder wenigstens auf ein Minimum reducirt wird, wodurch eine Steigerung der Zersetzung des Körperfettes bei Muskelarbeit hervorgerufen wird. Wenn der Körper dann Gelegenheit hat, einen neuen Glykogenvorrath aufzuspeichern, nimmt das Glykogen wieder an den Umsatzprocessen in gleichem Maasse wie vorher Theil. Der im Körper vorhandene Glykogenvorrath spielt also unter den physiologischen Verhältnissen keine unbedeutende Rolle bei den Zersetzungsprocessen bei Muskelarbeit. In welchem Maasse aber das Glykogen hieran Theil nimmt, haben diese Versuche nicht aufgeklärt.