Die Wirkung der Arbeit auf den Zuckergehalt des menschlichen Blutes.

Von
Max Bürger.

(Aus der medizinischen Klinik der Universität Königsberg i. Pr.
[Direktor: Prof. Dr. Schittenhelm].)

Mit 3 Textfiguren.

(Eingegangen am 16. Mai 1916.)

Das Problem, auf welche Weise ein rasch einsetzender Calorienbedarf, wie ihn eine plötzlich geforderte körperliche Leistung bedingt, vom Organismus gedeckt wird und wie diese Deckung im einzelnen geregelt wird, hat schon lange Physiologen und Ärzte beschäftigt. Daß als Energiequelle für solche Arbeitszwecke die in Muskeln und Leber aufgespeicherten Kohlenhydratvorräte allein in Frage kommen, ist mit guten Gründen vor allem von Seegen¹⁾, von Zuntz²⁾ u. a. bestritten worden. Andererseits weiß man aber, daß das Muskelglykogen während der Arbeit teilweise wenigstens verbraucht und aus dem Blutzucker wieder ergänzt werden kann. Daraus würde sich eine Differenz im Zuckergehalt des arteriellen und venösen Blutes ergeben, eine solche glauben Cheauvau und Kaufmann³⁾ auch gefunden zu haben.

Für den Organismus des Menschen konnte Weiland⁴⁾ als Folge intensiver Muskelarbeit ein Sinken des Blutzuckerspiegels in 5 Einzeluntersuchungen feststellen. Dem gegenüber hat Lichtwitz⁵⁾ neuerdings darauf hingewiesen, daß beim Normalen kurzdauernde aber intensive Muskelarbeit den Blutzuckergehalt nicht in allen Fällen herabsetzt.

Die gelegentliche Beobachtung einer beträchtlichen Erhöhung des Blutzuckers nach anstrengender Arbeit bei einem vollkommen gesunden Menschen gab den Anlaß zu den folgenden Untersuchungen.

Es war naheliegend, daß die Widersprüche in den Befunden der Autoren ihre Erklärung finden in dem verschiedenen gewählten Zeitpunkt

¹⁾ Seegen, Archiv f. Anat. u. Physiol. 1895/96.

²⁾ Zuntz, Vortrag in der Berliner Phys. Ges. ref. Archiv f. Anat. u. Physiol. 1896. S. 542.

³⁾ Cheauvau und Kaufmann, Compt. rend. 103, 104, 105.

⁴⁾ Weiland, Deutsches Archiv f. klin. Med. **92**. 1908.

⁵⁾ Lichtwitz, Berliner klin. Wochenschr. 1914, Nr. 22.

der Blutuntersuchung. Demgemäß wurde im folgenden das Blut zu wiederholten Malen, und zwar sofort nach der Arbeit und in verschieden gewählten Zeitabständen nach Abschluß der Arbeit untersucht. Im einzelnen wurde folgendermaßen verfahren: Da größere Unterschiede im Zuckergehalt nur in der eigentlichen Nährlüssigkeit des Organismus, dem Plasma, zu erwarten waren, wurde dieses für die Untersuchungen benutzt. Der Zuckergehalt des Plasmas liegt beim Menschen im allgemeinen etwas höher als der des Gesamtblutes¹⁾. Die Differenz beträgt nach Tachau²⁾ in gleicher Weise beim normalen Zuckergehalt und Hyperglykämie stets weniger als 10% des Blutzuckerwertes. Enteiweißt wurde nach Michaelis und Rona, der Zucker nach Möckel und Frank³⁾ titriert. Bei sorgfältiger Arbeit beträgt die Differenz zwischen zwei Parallelbestimmungen bei Verwendung von 10—12 ccm Plasma stets unter 5%.

Als Arbeit wurde den Versuchspersonen anfänglich aufgegeben, bis zur Ermüdung verschieden schwere Gewichte zu heben. Es zeigte sich bald, daß auf diese Weise nur eine geringe äußere Leistung von Kilogrammtern zustande kommt; später erwies sich das Treppensteigen mit Sandsackbelastung als bequem dosierbare und relativ gern geleistete Arbeit.

Die Leistung wird im folgenden in Kilogrammtern angegeben werden, natürlich kann das nur sehr annähernd geschehen. In Rechnung gestellt wurde die erstiegene Höhe, das Eigengewicht und die Belastung. Die beim Herabsteigen der Treppen geleistete Arbeit blieb unberücksichtigt. Da die Versuche alle in gleicher Weise angestellt wurden, erlauben die angegebenen Zahlen von Kilogrammtern Vergleiche anzustellen. Das Blut wurde in der Menge von 25 ccm der Vena basilica entnommen, sofort in ein Zentrifugenglas, das etwas Natrium citricum enthält, entleert, sodann ausgeschleudert. Die Zuckerbestimmungen wurden sofort im Anschluß an die Versuche durchgeführt⁴⁾, da der Zuckergehalt beim Stehen abnimmt, worauf schon Claude Bernard hinweist. Die Blutentziehungen wurden jedesmal auf 20—25 ccm beschränkt, um den Fehler der Aderlaßhyperglykämie zu vermeiden. Die Versuchspersonen blieben vor Beginn des Versuchs mindestens 12 Stunden nüchtern; für die ganze Dauer des Versuchs wurde ihnen die Nahrungsaufnahme untersagt, um alimentäre Einflüsse auf den Zuckergehalt des Blutes und eine verschieden starke Glykogenaufspeicherung in der Leber möglichst auszuschalten.

¹⁾ Schirokauer, Berliner klin. Wochenschr. 1912, S. 1782.

²⁾ Tachau, Deutsche med. Wochenschr. 1913, Nr. 15.

³⁾ Möckel und Frank, Zeitschr. f. phys. Chem. **65** u. **69**. 1910.

⁴⁾ Bei der raschen Durchführung der Zuckerbestimmungen war mir Herr Dr. L. Vogelsson (Moskau) in dankenswerter Weise behilflich.

Versuch 1.

Pat. S. Diagn.: Lumbago, Ischias, Adipositas. Pat. arbeitet von 9^h 30'—10^h 30' auf dem Bergoniéschen Apparat. Alle Muskeln mit Ausnahme der Muskulatur des linken Oberschenkels sind unter Belastung in dauernder Tätigkeit.

Zeit der Blutentnahme	100 ccm Plasma enth. g Zucker	Bemerkungen
9 ^h	0,105	Blut sofort nach Abschluß der Arbeit entnommen
10 ^h 30'	0,103	
11 ^h 50'	0,095	
1 ^h 30'	0,089	

Die Leistung in diesem Versuch ist offenbar gering. Es ist trotzdem ein deutliches Absinken des Blutzuckers zu bemerken, das noch lange nach Aussetzen der Arbeit anhält.

Versuch 2.

St., stud. med., klein, kräftig, gesund. Hebt in der Zeit von 9^h 10'—9^h 40' 200 mal ein Gewicht von 20 kg 85 cm hoch = 3400 kg/m. Er ist nach dieser starken Anstrengung dem Kollaps nahe. Der Versuch muß abgebrochen werden.

Zeit der Blutentnahme	100 ccm Plasma enth. g Zucker	Änderung des Zuckergehalts in Proz. d. Ausgangswerts	Bemerkungen
9 ^h	0,114	— —	—
9 ^h 45'	0,124	+ 16	—

Nach dieser akuten Anstrengung ist es also zu einer beträchtlichen Vermehrung des Blutzuckers gekommen, die 16% des Ausgangswertes ausmacht. Die Stundenleistung in Kilogramm Metern (6800) ist im Vergleich mit den folgenden Versuchen, die für die Personen eine wesentlich geringere Anstrengung erforderten, klein.

Versuch 3.

In ähnlicher Weise wird der folgende Versuch angestellt: Ein mittelkräftiger Mann mit leichtem Emphysem hebt in der Zeit von 10^h bis 11^h 305 mal ein Gewicht von 20 kg = 5185 kgm.

Zeit der Blutentnahme	100 ccm Plasma enth. g Zucker	Änderung d. Zuckergehalts in Proz. d. Ausgangswerts	Bemerkungen
9 ^h 35'	0,082	—	Starke Ermüdung
11 ^h 7'	0,113	+ 38	
1 ^h	0,093	+ 13	
5 ^h	0,093	+ 13	

Auch in diesem Versuch ist es bei einer relativ geringen Stundenleistung zu einer starken Ermüdung gekommen. Der Blutzucker ist sofort nach Abschluß der Arbeit beträchtlich erhöht und bleibt für die ganze Dauer des Versuchs über dem Ausgangswert; dadurch unterscheidet sich dieser Versuch von allen folgenden.

Versuch 4.

Ein mittelkräftiger 50 Jahre alter Arbeiter mit einem Körpergewicht von 50,4 kg steigt 40 mal 10,19 m unter einer Belastung von 10 kg in der Zeit von 5^h 59' bis 11^h 34'.

Leistung: gesamt: 24 619 kg/m.
 pro Stunde: 15 720 kg/m.
 „ Körperkg: 488 kg/m.
 „ kg und Stunde: 312 kg/m.

Zeit der Blut- entnahme	100 cem Plasma enth. g Zucker	Änderung d. Zuckergehalts in Proz. d. Ausgangswerts	Be- merkungen
9h 47'	0,108	—	9h 59' Arbeitsbeginn
11h 45'	0,092	— 15	P. ¹⁾ 104 pro Min.
12h 30'	0,087	— 19	11h 34' Arbeitsende
1h 30'	0,081	— 25	P. 126 pro Min.
2h 31'	0,103	— 5	

Versuch 4.

Fig. 1.

Arbeitszeit: 114 Minuten
 Leistung gesamt: 24 782 kg/m
 pro Stunde 13 020 „
 pro Körperkilogramm 487 „
 pro Stunde und Kilogramm 256 „

Zeit der Blut- entnahme	100 cem Plasma enth. g Zucker	Änderung d. Zuckergehalts in Proz. d. Ausgangswerts	Be- merkungen
9h 25'	0,082	—	9h 37' Arbeitsbeginn
11h 50'	0,060	— 27	11h 31' Arbeitsende
1h 7'	0,060	— 27	
2h 31'	0,067	— 18	
3h 55'	0,048	— 41	

Wie im vorhergehenden Versuch ist eine primäre Vermehrung des Zuckers ausgeblieben; der Zuckerspiegel erreicht seinen niedrigsten Stand während der Beobachtungsdauer 4 Stunden 24 Minuten nach der Arbeitsbeendigung. Der Versuch wurde vor dem Wiederanstieg abgebrochen, da die Versuchsperson nicht länger ohne Nahrung bleiben wollte.

¹⁾ P. = Pulszahl.

Trotzdem von diesem Mann pro Kilogramm und Stunde die höchste Leistung aller Versuche erzielt wurde, ließ sich ein primäres Ansteigen des Plasmazuckers nicht nachweisen. Bemerkenswert erscheint, daß der niedrigste Stand des Zuckerspiegels erst 1 Stunde 45 Minuten nach Arbeitsbeendigung erreicht wird.

Versuch 5.

Nahezu das gleiche Verhalten zeigt ein schwächerer jugendlicher Arbeiter von typischem asthenischem Habitus mit 50,8 kg Körpergewicht. Er steigt in der Zeit von 9h 37'—11h 31' mit einer Belastung von 10 kg 40 mal 10,19 m.

Versuch 6.

In dem folgenden an einem 70,8 kg schweren 48 Jahre alten Mann angestellten Versuch wurde die Leistung weiter gesteigert. Die Muskulatur der Versuchsperson ist schlecht entwickelt. Es besteht eine Neuromyositis pector. sin.

Arbeitszeit:		145 Minuten	
Leistung gesamt:		28 858 kg/m	
pro Stunde		11 940 „	
„ Körperkilogramm		407,6 „	
„ Kilogramm und Stunde		168,6 „	
Zeit der Blut- entnahme	100 ccm Plasma enth. g Zucker	Änderung d. Zuckergehalts in Proz. d. Ausgangswerts	Be- merkungen
8 ^h 10'	0,097	—	8 ^h 15' Arbeitsbeginn
11 ^h 5'	0,039	— 59	P. 108 p. M.
1 ^h	0,067	— 30	10 ^h 40' Arbeitsende P. 146 p. M.

In diesem Fall ist trotz gesteigerter Gesamtleistung der Blutzucker 2 Stunden nach Arbeitsbeendigung bereits wieder im Ansteigen. Im Gegensatz zu dem Verhalten der Fälle 4 und 5. Es ist dabei aber zu beachten, daß die pro Körperkilogramm und Stunde geleistete Arbeit mit 168,6 kg/m erheblich hinter der in der gleichen Zeit geleisteten Arbeit jener Fälle zurückbleibt.

Versuch 7.

In diesem Versuch wird die Gesamtleistung weiter gesteigert. Ein 56,3 kg schwerer Mann steigt mit einer Last von 10 kg in der Zeit von 10^h 8'—12^h 29' 45 mal 10,19 m.

Arbeitszeit:		141 Minuten	
Leistung gesamt:		30 402 kg/m	
pro Stunde		12 936 „	
„ Körperkilogramm		539 „	
„ Kilogramm und Stunde		229 „	
Zeit der Blut- entnahme	100 ccm Plasma enth. g Zucker	Änderung d. Zuckergehalts in Proz. d. Ausgangswerts	Be- merkungen
9 ^h 50'	0,108	—	10 ^h 8' Arbeitsbeginn
12 ^h 30'	0,089	— 7	12 ^h 29' Arbeitsende
1 ^h 35'	0,067	— 38	
5 ^h	0,090	— 16	

Wie in den vorhergehenden Versuchen ist der niedrigste Wert auch hier erst längere Zeit nach Arbeitsbeendigung zu finden. 4¹/₂ Stunden nach dem Aufhören der Arbeit beginnt der Zuckergehalt des Plasmas bereits wieder zu steigen.

Versuch 8.

Dieser Versuch wurde an einem sehr kräftigen muskulösen Mann von 93 kg Gewicht angestellt. Die Blutuntersuchung ergab einen leicht erhöhten Zuckergehalt. Eine Glykosurie bestand nicht. Da eine Kohlenhydratbelastungsversuch wegen der Kürze der Beobachtungszeit nicht angestellt werden konnte, muß es dahingestellt bleiben, ob dieser Fall in die Reihe der Diabetiker gehört, die, zeitweilig bei beträchtlich erhöhten Blutzuckerwerten, keinen Zucker durch die Nieren ausscheiden. Es

muß erwähnt werden, daß der Mann am Morgen des Versuchstages (um 7^h) wesentlich ein Weißbrötchen mit ungezuckertem Kaffee zu sich nahm. Er steigt in der Zeit von 9^h—10^h1' mit 7 kg Belastung 25 mal 10,19 m.

Arbeitszeit:		61 Minuten	
Leistung gesamt:		25 475 kg/m	
pro Körperkilogramm		274 „	
„ Kilogramm und Stunde		274 „	
Zeit der Blut- entnahme	100 ccm Plasma enth. g Zucker	Änderung d. Zuckergehalts in Proz. d. Ausgangswerts	Be- merkungen
8 ^h 59'	0,137	—	9 ^h Arbeitsbeginn
10 ^h 20'	0,132	— 4	10 ^h 1' Arbeitsende
11 ^h 50'	0,071	— 44	
1 ^h 30'	0,080	— 41	

Dieser Versuch zeigt besonders deutlich, daß man zu verkehrten Schlüssen über die Einwirkung der Arbeit auf den Blutzucker kommen kann, wenn man nur einmal nach beendeter Arbeit untersucht. Noch 20 Minuten nach Arbeitsabschluß ist in diesem Fall der Wert gegen den Ruhewert fast unverändert. Er erreicht erst 1¹/₂ Stunden danach seinen niedrigsten Stand.

Versuch 9.

Ein gesunder kräftiger Mann von 73 kg Gewicht steigt in der Zeit von 8^h7' bis 10^h15' mit 10 kg Belastung 45 mal 10,19 m.

Arbeitszeit:		128 Minuten	
Leistung gesamt:		38 059 kg/m	
pro Stunde		17 820 „	
„ Körperkilogramm		521 „	
„ Kilogramm und Stunde		244 „	
Zeit der Blut- entnahme	100 ccm Plasma enth. g Zucker	Änderung d. Zuckergehalts in Proz. d. Ausgangswerts	Be- merkungen
7 ^h 55'	0,067	—	
10 ^h 20'	0,085	+ 27	8 ^h 7' Arbeitsbeginn
11 ^h 50'	0,039	— 42	10 ^h 15' Arbeitsende
1 ^h 40'	0,078	+ 16	
3 ^h 7'	0,078	+ 16	

Dieser kräftige Mann vollbringt die höchste Leistung aller zu den Versuchen herangezogenen Personen. Der Blutzuckerwert erfährt nach der Arbeit eine beträchtliche Steigerung und sinkt dann erst rasch um 42% des Ruhewertes.

Versuch 10.

Während im vorigen Versuch die absolut größte Leistung erzielt wurde, ist in diesem die auf das Körperkilogramm berechnete Höchstzahl von Kilogrammetern erreicht worden. Es handelt sich um einen 130 cm großen Menschen von zwerg-haftem Wuchs, aber wohl proportioniertem Körperbau; er ist als Pferdewärter beschäftigt und an körperliche Arbeit gewöhnt. Das Gewicht beträgt 30,4 kg. Diese Versuchsperson steigt in der Zeit von 9^h27'—12^h3' 55 mal 10,19 m mit einer Belastung von 10 kg.

Arbeitszeit:		156 Minuten	
Leistung gesamt:		22 642 kg/m	
pro Stunde		8 700 „	
„ Körperkilogramm		744 „	
„ Kilogramm und Stunde		286 „	
Zeit der Blut- entnahme	100 cem Plasma enth. g Zucker	Änderung d. Zuckergehalts in Proz. d. Ausgangswerts	Be- merkungen
9 ^h 20'	0,073	—	9 ^h 27' Arbeitsbeginn
12 ^h 10'	0,092	+ 26	12 ^h 3' Arbeitsende
1 ^h 5'	0,077	+ 5	
3 ^h 5'	0,028	— 61	
5 ^h 10'	0,040	— 43	

Man bemerkt in der Tabelle ganz erhebliche Schwankungen der Zuckerwerte. Die nach vorübergehender Steigerung eingetretene Senkung des Zuckerspiegels ist die größte von allen beobachtete.

Versuch 11.

Es war zu erwarten, daß für schwächliche Personen mit mangelhaft entwickelter Muskulatur die Arbeitsleistung eine ähnliche Wirkung haben müsse, wie für den Zwerg des Versuchs 10. Das wurde in diesem und im folgenden Versuch geprüft.

Ein schwächlicher Mann von 53 Jahren mit beginnender Myodegeneratio cordis und einem Körpergewicht von 71 kg steigt mit 10 kg Belastung in der Zeit von 9^h 18'—11^h 46' 25 mal 10,19 m.

Arbeitszeit:		148 Minuten	
Leistung gesamt:		20 634 kg/m	
pro Stunde		8 340 „	
„ Körperkilogramm		290 „	
„ Kilogramm und Stunde		117 „	
Zeit der Blut- entnahme	100 cem Plasma enth. g Zucker	Änderung d. Zuckergehalts in Proz. d. Ausgangswerts	Be- merkungen
9 ^h 10'	0,100	—	9 ^h 18' Arbeitsbeginn
11 ^h 50'	0,100	0	9 ^h 15' P. 100 p. M.
1 ^h 10'	0,105	+ 5	11 ^h 46' Arbeitsende
2 ^h 30'	0,077	— 23	11 ^h 50' P. 132 p. M.
3 ^h 30'	0,065	— 35	

Man bemerkt ein ähnliches Verhalten des Blutzuckers wie in Fall 10. Noch 84 Minuten nach Beendigung der Arbeit ist eine Senkung des Zuckerspiegels nicht wahrzunehmen. Diese tritt vielmehr erst nach weiteren 80 Minuten in die Erscheinung.

Fig. 2.

Versuch 12.

Dieser letzte Versuch wurde an der ältesten aller Versuchspersonen angestellt. Ein 61 Jahre alter Mann mit Osteoarthritis def. der Schultergelenke, Arteriosklerose mittleren Grades und beginnender Myodegeneratio cordis mit einem Körpergewicht von 67 kg steigt in der Zeit von 9^h 19'—12^h 15' mit 10 kg Last 25 mal 10,19 m.

Arbeitszeit:	176 Minuten
Leistung gesamt:	19 615 kg/m
pro Stunde	6 660 „
„ Körperkilogramm	292 „
„ Kilogramm und Stunde	99 „

Zeit der Blutentnahme	100 ccm Plasma enth. g Zucker	Änderung d. Zuckergehalts in Proz. d. Ausgangswerts	Bemerkungen
9 ^h 7'	0,104	—	9 ^h 19' Arbeitsbeginn
12 ^h 25'	0,116	+ 11	12 ^h 15' Arbeitsende
1 ^h 53'	0,116	+ 11	
2 ^h 45'	0,096	— 8	
4 ^h 51'	0,081	— 22	
6 ^h 35'	0,081	— 22	

Die Resultate dieses Versuches unterscheiden sich nur unwesentlich von denen des vorhergehenden.

Das Gemeinsame aller untersuchten Fälle mit Ausnahme von 2 und 3, besteht in einem mehr oder weniger starken Blutzuckerverlust. Bringt man die Resultate aller Versuche, bei denen eine Beobachtung mehrere

Stunden hindurch fortgeführt werden konnte (alle mit Ausnahme von 2) in eine Kurve derart, daß für jede Stunde nach Beendigung der Arbeit die mittlere Blutzuckersenkung in Prozenten des Ausgangswertes errechnet wird, so ergibt sich folgendes Bild (Fig. 3). In der ersten Stunde beträgt die mittlere Senkung nur 2,4 % des Ruhewertes, die Werte sinken langsam weiter und erreichen in der 4. Stunde ihren niedrigsten Stand (Senkung um 28 % des Ausgangswertes), um dann ziemlich rasch wieder anzusteigen.

Fig. 3.

Mittlere Arbeitszeit

122 Minuten.

Mittlere Arbeitsleistung

24 000 kg/m.

Neben der Arbeit könnte man als Ursache für diese Hypoglykämie die mangelnde Nahrungszufuhr ansehen — die Personen blieben vom

Vorabend der Versuche an bis zum Abschluß derselben, also fast 24 Stunden lang, nüchtern — wir wissen aber, daß der Zucker auch durch lang dauernden Hunger nicht aus dem Blute verschwindet, sondern in ungefähr gleichen Mengen wie bei gemischter Kost¹⁾ gefunden wird. Wenn nun bei starker körperlicher Arbeit ein Zuckerverlust im Blut beobachtet wird, der im Hunger fehlt, darf daraus nicht ohne weiteres eine anders-

¹⁾ v. Noorden, Handb. d. Path. d. Stoffw., Bd. 1, S. 514, dort weitere Lit.

artige Deckung des Calorienbedarfs des Körpers bei der Arbeit und im Hunger abgeleitet werden. Das Entscheidende bleibt für unsere Versuche der rasch einsetzende Calorienbedarf, bei dem der Organismus als Reserve den Blutzucker in merkbarer Weise in Anspruch nimmt. In der Ruhe, im Hungerzustand, überhaupt bei gleichmäßigem Calorienbedarf des Körpers wird verbrauchter Blutzucker aus der Leber sofort wieder ergänzt. Zu beachten ist, daß die Gesamtleistung in allen Versuchen keine besonders große ist. Die höchste Leistung ist im Versuch 9 mit 38 059 Kilogrammetern angegeben, dagegen beträgt allein die Herzarbeit des Menschen in 24 Stunden 62 208 kg/m¹).

Ferner zeigen die Versuche die Wichtigkeit des Zeitpunktes der Blutuntersuchung. In keinem Fall wurde der größte Verlust sofort nach Abschluß der Arbeit gefunden, meist erst mehrere Stunden danach. Lichtwitz²) bemerkte bereits bei seinen Normalfällen, bei denen er sofort nach beendeter Arbeit einen Blutzuckerabfall vermißte, ja sogar eine geringe Vermehrung fand (Fall 5 0,104 auf 0,107 und Fall 6 0,093 auf 0,104) nach einer Stunde bzw. 50 Minuten ein Absinken des Blutzuckers auf Werte, die unterhalb der Ausgangszahlen, aber immer noch im Bereich der Normen lagen (Fall 5 0,086, Fall 6 0,086). Vielleicht wäre bei späterer Untersuchungszeit ein noch niedrigerer Wert gefunden worden.

Als Ursache für das Absinken des Blutzuckers darf man sich wohl vorstellen, daß die nach dem starken Kohlenhydratverbrauch des arbeitenden Muskels einsetzende Glykogenregeneration dem Blute den Zucker entzieht; wenn dann die Glykogenolyse in der Leber nicht Schritt hält mit dem Abfluß des Zuckers aus dem Blut, ergibt sich daraus ungezwungen die Erklärung für die Arbeitshypoglykämie.

Eine quantitative Beziehung zwischen der Arbeitsleistung und dem Grad der Hypoglykämie läßt sich aus den Versuchen nicht ableiten. Das ist auch kaum zu erwarten, da der Glykogenvorrat bei den einzelnen Individuen stark schwankt und die Glykogenmobilisation bei verschiedenen Versuchspersonen ungleich prompt erfolgen kann. Daß der Zwerg des Versuchs 10 die stärkste Senkung um 61% des Ausgangswertes aufweist, darf man wohl mit der Tatsache in Zusammenhang bringen, daß hier auf das Körperkilogramm bezogen weitaus die größte Leistung erreicht wird: 744 kg/m. (Die Höchstleistung aller übrigen Versuche findet sich bei 7: 539 kg/m.)

Die Tabellen zeigen, daß nicht in allen Fällen bis zu einem Wiederanstiegen des Zuckerspiegels weiter untersucht wurde. Wo ein solches beobachtet wurde (Fall 2, 3, 4, 7, 10), spricht es gegen die Auffassung einer Erschöpfung des Leberglykogenvorrats als Ursache der Arbeitshypoglykämie.

¹) Vierordt, Tab. 1888.

²) Lichtwitz l. c.

Mehr Schwierigkeit als die Erklärung der Arbeitshypoglykämie macht die Deutung der in 5 Fällen beobachteten anfänglichen Steigerung des Blutzuckers. Bevor diese interessante Erscheinung nicht eine weitere experimentelle Analyse gefunden hat, sind wir auf Hypothesen angewiesen. Es soll in diesem Zusammenhange nur auf die Beziehungen zwischen den Funktionen des Muskels und ihrer Blutversorgung hingewiesen werden. Diese wird nach Maßgabe der Anforderung von zentraler Stelle auf nervösem Wege geregelt; es wäre denkbar, daß in ähnlicher Weise auf nervöse Vermittlung hin akute Anforderungen an die Energiequellen des Organismus mit einer Ausschüttung eines rasch mobilisierbaren Kohlenhydratvorrats der Leber beantwortet werden¹⁾. Die Folge wäre eine anfängliche mehr oder weniger deutliche Arbeitshyperglykämie. Welche Form diese rasch verfügbaren Kohlenhydrate haben, ist unbekannt. -Böhm und Hoffmann²⁾ kommen in ihren Untersuchungen zu dem Ergebnis, daß in der lebenswarmen Katzenleber sich neben Glykogen nur Spuren Zucker finden, die aus dem im Organ verbliebenen Blute stammen. Lichtwitz hat diese Steigerung des Blutzuckers gelegentlich bei Diabetikern beobachtet und deutet sie als eine Folge einer pathologisch gesteigerten Erregbarkeit der Glykogenolyse. Die bei den hier mitgeteilten an „stoffwechselgesunden“ Leuten gemachten Erfahrungen sprechen eher dafür, daß es sich um eine bei geeigneten Versuchsbedingungen häufig nachweisbare physiologische Erscheinung handelt.

Nur in einem Fall (Versuch 3) blieb nach anfänglicher Vermehrung des Blutzuckers die spätere Verminderung aus; das liegt vielleicht an der geringen Masse der in Tätigkeit getretenen Muskulatur, die nach Beendigung der Arbeit nur relativ wenig Zucker aus dem Blute absorbiert. Die Arbeit wurde im Versuch 3 im wesentlichen von der Muskulatur der rechten oberen Extremität geleistet, während beim Treppensteigen unter Belastung zum mindesten die ganze Muskelmasse beider unteren Extremitäten in Anspruch genommen wird.

Es sei schließlich noch auf die verschieden große „Anstrengung“ bei gleicher Gesamtleistung und bei gleicher Leistung pro Körperkilogramm und Stunde hingewiesen. Die unter „Anstrengung“ geleistete innere Mehrarbeit ist einer Messung unzugänglich; allein eine erhebliche Pulsbeschleunigung, wie sie zum Beispiel Fall 11 aufweist, bedeutet für seine Arbeitszeit von 145 Minuten schätzungsweise nur für den linken Ventrikel eine Mehrarbeit von 2500 kg/m gegenüber einer Versuchsperson, die die gleiche Arbeit ohne Pulsbeschleunigung durchführt.³⁾ Werden solche

¹⁾ Max Rubner, Die Blutversorgung in ihren Beziehungen zu den Funktionen des Muskels. Sitzungsber. d. Kgl. Pr. Akad. d. W. 14./1. 1915.

²⁾ Böhm und Hoffmann, Archiv f. experim. Pathol. u. Pharmakol. 8.

Verhältnisse bei einer vergleichenden Betrachtung der im vorstehenden mitgeteilten Zahlen und Daten berücksichtigt, so erklären sich allein daraus schon manche Unterschiede im Verhalten des Blutzuckers bei verschiedenen Personen, die die gleiche Arbeit geleistet haben.

Zusammenfassung.

1. Die mitgeteilten Reihenbestimmungen des Zuckers im menschlichen Blute vor und nach körperlicher Arbeit lehren, daß eine einmalige Untersuchung nur unvollkommenen Aufschluß über die Wirkung der Arbeit auf den Blutzuckergehalt geben kann, da die Veränderungen des Zuckerwertes bei verschiedenen Personen und gleicher Leistung zu verschiedenen vorher nicht übersehbaren Zeiten nach der Arbeit eintreten.

2. Die Schwankungen im Zuckergehalt des Blutes kommen bei gesonderten Untersuchungen des Plasmas deutlicher zum Ausdruck als bei der Untersuchung des Gesamtblutes. Sie betragen im Mittel von 10 Fällen nach unten hin 28% des Ruhewertes, maximal 61%.

3. Die Arbeitshypoglykämie überdauert die eigentliche Arbeitszeit beim nüchternen Menschen um Stunden.

4. Der Verminderung des Blutzuckers nach angestrenzter Arbeit geht bei stoffwechselgesunden Menschen oft eine Vermehrung voraus.

5. Gesetzmäßige quantitative Beziehungen zwischen der Größe der geleisteten Arbeit und der Veränderung der Blutzuckerwerte konnten nicht festgestellt werden.