

Vergleiche einiger Methoden zur Bestimmung des Körperfettes und des Magergewichtes bei Jugendlichen

Von B. BUGYI

Mit 10 Abbildungen und 11 Tabellen

(Eingegangen am 23. Februar 1971)

Problemstellung

A. R. BEHNKE folgend wird allgemein angenommen, daß das sog. *Magergewicht*, d. h. fettfreier Anteil des Körpergewichtes, und das *Körperfett* den menschlichen Körper gemeinsam charakterisieren. Das immer wachsende Interesse betreffend diese beiden Grundkomponenten des Körpers führte zur Entwicklung einer Reihe von Methoden, die miteinander kaum verglichen und kritisch gewertet wurden. Die einzige diesbezügliche Mitteilung stammt von A. DAMON und R. F. GOLDMAN, die 10 anthropometrische Methoden der Beurteilung des Körperfettes an insgesamt 13 jugendlichen Personen im Alter von 17–23 Jahren kritisch geprüft haben. Die genannten amerikanischen Autoren haben durch hydrometrische Untersuchung die Körperdichte bestimmt und daraus das Körperfett berechnet. Das so erhaltene Körperfett wurde mit den Zahlenwerten, die durch die 10 anthropometrischen Methoden erhalten wurden, verglichen und geprüft. J. V. G. A. DURNIN und M. M. RAHAMAN haben festgestellt, daß jedoch bei Kindern und Jugendlichen nicht dieselben Beziehungen zwischen dem hydrometrisch bestimmten Körperfett und der Hautfaltengröße gültig sind wie bei Erwachsenen, und so ist auch das hydrometrisch bestimmbare Körperfett bei Kindern und Jugendlichen kritisch zu werten. Deshalb haben wir von den hydrometrischen Körperdichtenbestimmungen abgesehen. Immerhin haben wir die nach den Angaben von DURNIN und RAHAMAN berechneten Körperfettwerte anhand unserer Hautfaltenbestimmungen in der Tab. 7 angegeben und mit den Körperfettgrößen, die bei denselben Personen durch andere Untersuchungsmethoden bestimmt wurden, verglichen.

Untersuchungsmethoden und Untersuchungsmaterial

Die von uns geprüften Methoden zur Bestimmung der beiden Grundkomponenten des Körpers waren folgende:

a) Es wird das *Magergewicht* des Körpers durch das Verfahren von WILLOUGHBY, SHELTON, MCGAWACK anhand der Umfangsgrößen der Extremitätengelenke, der Brust und der transversalen Durchmesser bestimmt. Diese Methode wurde von uns vereinfacht (BUGYI, 1969 a); diese vereinfachte Methode haben wir zur Berechnung des Magergewichtes des Körpers angewendet und mit dem Originalverfahren von WILLOUGHBY, SHELTON und MCGAWACK verglichen.

b) Es werden die *Hautfaltengrößen* am Tricepsspunkt und an der unteren Ecke des Schulterblattes an dem Rücken mit dem Kaliber bestimmt. Aus der gemessenen Hautfaltengröße haben wir 1) den zahlenmäßigen Zusammenhang zwischen der Hautfaltengröße am Tricepsspunkt und dem prozentualen *Fettgehalt* des Körpers berechnet. 2) Wir haben nachgewiesen (BUGYI, 1969 b), daß der prozentuale Fettgehalt des Körpers entsprechend dem Logarithmus der Hautfaltengrößen zu bestimmen ist. Danach haben wir den prozentualen Fettgehalt des Körpers angegeben. 3) Da der Großteil des Körperfettes unter der Hautfläche verteilt ist, kann aus der Hautfalte die Unterhautfettgewebsbreite einfach berechnet und daraus – eine gleichmäßige Verteilung des Unterhautfettgewebes angenommen – das Körperfett berechnet werden. 4) Entsprechend der zahlengemäßen Feststellung von J. V. G. A. DURNIN und M. M. RAHAMAN haben wir den prozentualen Fettgehalt des Körpers berechnet.

c) Röntgenhistometrisch und

d) mit dem Ultraschallecholotverfahren haben wir gesondert die Muskulaturbreite und Unterhautfettgewebsbreite bestimmt;

e) das Verfahren der WHO – publiziert durch J. B. JELIFFE – wurde zur Beurteilung des Ernährungszustandes herangezogen.

Wir haben bei männlichen sporttreibenden Jugendlichen zwischen 6–16 Jahren vergleichende Untersuchungen mit den oben genannten Methoden ausgeführt. Es wurden aus jedem Jahrgang je zwanzig Personen untersucht. Die Untersuchungen wurden an denselben Personen ausgeführt (Tab. 1). Wegen der Umständlichkeit und der lange Zeit dauernden Messungen haben wir das Verfahren von D. B. WILLOUGHBY, E. K. SHELTON und T. H. MCGAWACK nur bei je 10 Personen pro Jahrgang angewendet.

Tab. 1. Körperhöhe und Körpergewicht der untersuchten Personen..

Jahre:	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
Körperhöhe in cm:											
113,0	120,3	125,1	130,1	136,2	139,8	146,2	151,1	159,1	163,9	169,8	
Körpergewicht in kp:											
20,9	22,7	25,9	28,6	33,8	34,9	38,1	42,6	49,0	54,0	61,7	

Bei der *Hautfaltenbestimmung* haben wir den von J. BROŽEK und O. LANGE konstruierten Kaliber angewendet. Dieser als *Minnesotatyp* bezeichnete Kaliber hat eine Druckfläche von rund 35 mm², und der ausgeübte standardisierte Druck ist 10 g/mm². Mit der rechten Hand heben wir eine Hautfalte und mit dem in der linken Hand gehaltenen Kaliber bestimmen wir an der Basis der Hautfalte die Größe der Hautfalte. Die Hautfaltenbestimmungen wurden in dem mittleren Teil der Rückseite des Armes – sog. Tricepsspunkt – und an der unteren Ecke des Schulterblattes an dem Rücken – subskapulär – ausgeführt.

Anthropometrische Magergewicht-Bestimmung

a) D. P. WILLOUGHBY hat im Jahre 1932 ein Verfahren entwickelt zur Beurteilung des Magergewichtes des Körpers, welches von vielen Autoren, als das „optimale“ Magergewicht betrachtet wurde. D. P. WILLOUGHBY bestimmt eine Anzahl von Brei-

tendurchmessern des Körpers: den Brustumfang, weiterhin die Umläufe der Extremitätengelenke. Die so erhaltenen Größen werden nach E. K. SHELTON, später nach T. H. MCGAWACK gewertet, auf eine gemeinsame Basis „konvertiert“, und durch zeitraubende Tabellenrechnungen kann das *g/cm-Magergewicht* des Körpers berechnet werden. Die Anwendung des Verfahrens wird dadurch noch weiter erschwert, daß die Methode nicht das cm/kp-System verwendet, sondern die englischen Maßstäbe benützt, weshalb weitere Umrechnungen nötig sind. So ist es keineswegs zu verwundern, daß trotz der guten Resultate, die dieses Verfahren gibt, es außer im englischen Sprachgebiet überhaupt nicht angewendet wurde. Durch Multiplizieren des *g/cm-Magergewichtes* durch die Körperhöhe erhalten wir das Magergewicht des Körpers in kp. Anhand der Formel

$$\text{Körpergewicht kp} = \text{Magergewicht kp} + \text{Körperfett kp} \quad [1/a]$$

$$\text{Körperfett kp} = \text{Körpergewicht kp} - \text{Magergewicht kp} \quad [1/b]$$

ist das Körperfett aus dem Magergewicht des Körpers zu erhalten (siehe Tab. 2). Infolge der Unhandlichkeit der Methode und der große Zeit fordernden Messungen und Rechnungen haben wir pro Jahrgang nur 10–10 Personen mit dem Verfahren von WILLOUGHBY, SHELTON, MCGAWACK untersucht (von den 20–20 Personen pro Jahrgang, die mit den übrigen Methoden geprüft wurden). Die Auswahl kann als zufällig betrachtet werden. Das *g/cm-Magergewicht*, das sog. Magergewicht und das Körperfett wächst zwischen 6.–16. Lebensjahr mit dem Alter. Der prozentuale Fettgehalt des Körpers bleibt praktisch unverändert. Der Mittelwert des prozentualen Körperfettes betrug 15,05% in unserem Material. Die Streuung ist von einer Größe von 2,35%.

Tab. 2. Magergewicht nach WILLOUGHBY-SHELTON-MCGAWACK an, 10 Personen/Jahr bestimmt

Jahre:	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
<i>g/cm Magergewicht:</i>											
162	165	169	180	192	214	230	240	240	270	278	310
Magergewicht des Körpers in kp:											
18,35	19,60	21,20	23,42	26,19	29,78	33,78	36,35	36,35	43,00	45,59	52,19
Körperfett in kp:											
2,55	3,10	4,70	5,20	5,60	5,10	4,50	6,20	6,20	6,00	8,40	9,20
Prozentualer Körperfettgehalt:											
12,20	13,60	18,20	17,80	17,60	14,70	11,80	14,50	14,50	12,30	15,60	13,00
Mittelwert des prozentualen Körperfettes: 15,05%, Streuung: 2,35%											

b) Das Verfahren von WILLOUGHBY, SHELTON, MCGAWACK ist auch bei körperlich disproportionierten Personen und endokrinologischen Patienten gut zu verwenden. Nach kritischer Wertung der angewendeten Parameter haben wir die Schulterbreite – biacromialer Diameter – und die Beckenbreite – bicristaler Diameter – zur Berechnung des *g/cm-Magergewichtes* für geeignet befunden. Wir haben in vorherigen Untersuchungen, die wir an größerem Material ausgeführt haben, die folgende annähernde Formel gefunden, die den Zusammenhang zwischen *g/cm-Magergewicht* des Körpers und der Summe der beiden Durchmesser angibt:

$$\text{g/cm-Magergewicht} = 6. \text{ Summe der transversalen Durchmesser in cm} - 100 \quad [2]$$

Wenn wir das g/cm-Magergewicht des Körpers durch die Körperhöhe multiplizieren, erhalten wir das Magergewicht des Körpers in kp (siehe Abb. 1). In der Abb. 1 haben wir das Körpergewicht in kp, das Magergewicht des Körpers in kp und g/cm-Magergewicht des Körpers dargestellt. In Tab. 3 wurden die entsprechenden Parameter und das g/cm-Magergewicht, das Magergewicht in kp und das Körperfett in kp angegeben. Der prozentuale Fettgehalt bleibt zwischen 6.-16. Lebensjahr konstant. Der Mittelwert ist 15,5%, die Streuung 1,35%. Wenn das Körperfett durch die Körperfläche dividiert wird, ergibt sich auf die Flächeneinheit des Körpers 4,86 g/cm²

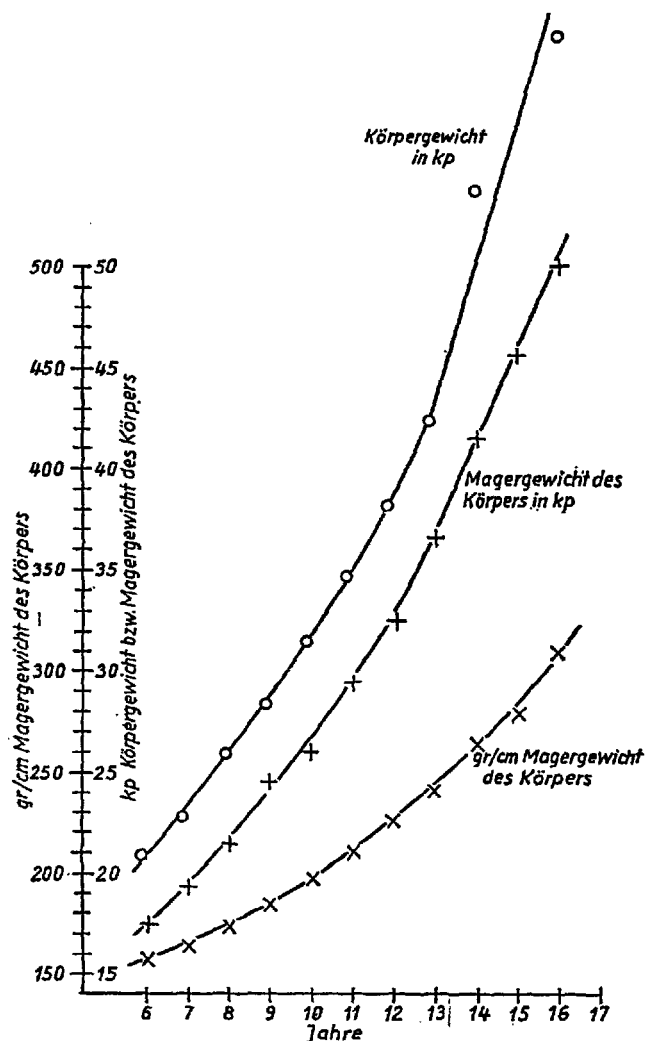


Abb. 1. Die Größenzunahme des gemessenen Körpergewichtes, des sog. Magergewichtes - berechnet aus den Breitendurchmessern des Körpers - und des g/cm Magergewichtes berechnet aus den Breitendurchmessern des Körpers.

Jahre:	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
Schulterbreite in cm:	23,8	25,8	27,6	28,2	30,2	31,6	32,7	33,2	35,9	36,5	37,9
Beckenbreite in cm:	16,8	18,0	18,9	20,0	20,9	22,5	23,9	24,9	25,1	27,7	27,9
Summe der Schulter- und der Beckenbreiten in cm:	40,6	43,8	46,4	48,2	51,1	53,7	56,6	58,1	59,0	64,1	65,8
g/cm Magergewicht des Körpers:	156	162	173	186	198	210	225	240	263	278	303
Magergewicht des Körpers in kp:	17,6	19,3	21,6	24,5	26,0	29,6	32,6	36,4	41,5	45,6	52,0
Körperfett in kp:	3,3	3,4	4,3	4,1	5,8	5,3	5,5	6,2	7,5	8,4	9,7
Prozentualer Körperfettgehalt:	15,9	14,5	16,7	14,3	18,2	15,2	14,4	14,7	15,3	15,6	15,8
Mittelwert: 15,5%, Streuung: 1,35%											
Schichtgröße des Fettgewebes auf Flächeninhalt der Körperfläche berechnet:	4,02	3,90	4,45	3,96	5,32	4,65	4,50	4,90	5,50	5,50	5,90
Mittelwert: 4,86 g/cm², Streuung: 0,7 g/cm²											

Jahre:	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
Magergewicht aus den transversalen Durchmessern des Körpers berechnet in kp:	17,60	19,30	21,60	24,50	26,00	29,60	32,60	36,40	41,50	45,60	52,80
Magergewicht nach dem Verfahren von WILLOUGHBY-SHELTON-McGAWACK berechnet:	18,35	19,60	21,20	23,42	26,19	29,78	33,78	36,78	43,00	45,59	52,19
Differenz zwischen den Magergewichten in kp:	-0,75	-0,30	+0,40	+0,08	-0,19	-0,18	-0,18	+0,05	-1,5	+0,01	-0,19
Mittelwert:	-0,25 kp, Streuung: 0,66										
Körperfett aus den transversalen Durchmessern des Körpers, berechnet in kp:	3,30	3,40	4,30	4,10	5,80	5,30	6,50	6,20	7,50	8,40	9,70
Körperfett nach dem Verfahren von WILLOUGHBY-SHELTON-McGAWACK berechnet:	2,55	3,00	4,70	5,20	5,60	5,10	4,50	6,20	6,00	8,40	9,20
Differenz zwischen den Körperfettgrößen:	+0,75	+0,30	+0,60	-1,10	+0,20	+0,20	-1,00	—	+1,50	—	+0,50
Mittelwert:	+0,178 kp, Streuung: 0,6 kp										
Differenz der Körperfettgröße zwischen den Werten, die aus den transversalen Durchmessern und nach DURNIN und RAHAMAN aus der Hautfalte berechnet wurden:	+0,60	+0,15	+0,35	-0,05	-0,25	+0,35	+0,20	+0,30	-0,06	-0,25	-0,50
Mittelwert der Differenzen:	+0,075 kp, Streuung: 0,31 kp										

Fettmenge mit einer Streuung von $0,7 \text{ g/cm}^2$. Das Körperfett in kp zwischen 6.–16. Jahr wird in Abb. 2 dargestellt.

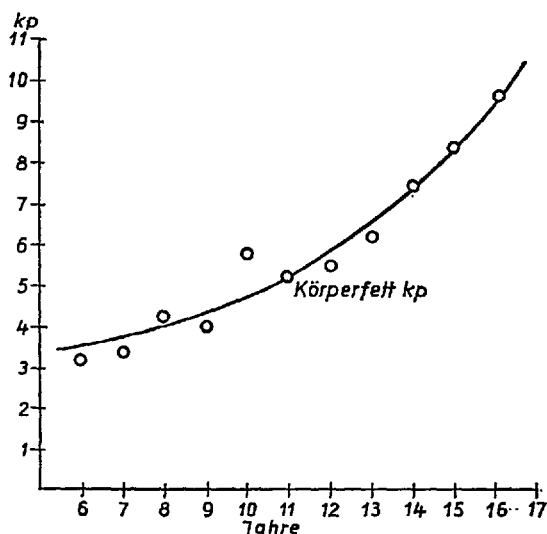


Abb. 2. Zunahme des Körperfettes in kp. bei 6–18jährigen männlichen Jugendlichen.

Das von uns vereinfachte Verfahren zur Bestimmung des Magergewichtes aus den transversalen Durchmessern des Körpers, mit der Originalmethode von WILLOUGHBY, SHELTON, McGAWACK verglichen, ergibt die in Tab. 4 aufgetragenen Zahlenwerte. Die Differenz zwischen den Magergewichten, die mit den beiden Verfahren erhalten wurden, hat einen Mittelwert von $0,25 \text{ kp}$ zugunsten der Größen, die mit dem Originalverfahren berechnet werden. Die Streuung ist $0,66 \text{ kp}$. Die Differenz zwischen den Körperfettgrößen ist statistisch nicht verwertbar. Der Mittelwert der Differenzen ist $0,178 \text{ kp}$ zugunsten der Zahlenwerte, die mit dem modifizierten Verfahren zu erhalten sind. Die Streuung ist $0,60 \text{ kp}$. Dementsprechend geben die beiden Methoden miteinander gut übereinstimmende Größen, zumindest bei normal gebauten Jugendlichen. Wir haben die Körperfettgrößen, die wir mit dem Verfahren von J. V. G. A. DURNIN und M. M. RAHAMAN berechnet haben, mit den Hautfaltenbestimmungen verglichen. Die Differenzen der Körperfettgrößen zwischen diesen Zahlenwerten und denen, die wir anhand der transversalen Durchmesser des Körpers berechnet haben, sind minimal. Der Mittelwert der Differenzen ist $0,075 \text{ kp}$. Die Streuung ist $0,31 \text{ kp}$, d. h. die beiden Methoden ergeben praktisch die gleichen Größen und können alternativ angewendet werden.

Hautfalten-Bestimmung und deren Anwendung zur Beurteilung des Körperfettes.

Wir haben an der Rückseite des mittleren Anteiles des Armes – am Insertionspunkt des Triceps – und an der unteren Ecke des Schulterblattes – subskapulär – mit dem standardisierten Kaliber, der durch J. BROŽEK und O. LANGE konstruiert wurde, die Hautfalten bestimmt. In Tab. 5 wurden die Hautfaltengrößen (S), am Tricepspotpunkt und subskapulär gemessen, in mm angegeben. Es wird weiterhin in

Tab. 5. Hautfaltenbestimmung zur Berechnung des Körperfettes. Zahl der untersuchten Personen 20/Jahr

Jahre:	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
Hautfalte am Triceps in mm:											
	7,8	7,9	7,6	6,9	8,2	7,3	7,8	7,1	6,6	6,8	7,3
Hautfalte an der unteren Ecke des Schulterblattes in mm:											
	5,6	6,3	7,8	7,5	10,8	6,8	6,0	6,7	9,0	9,2	9,1
Mittelwert der Hautfaltengrößen in mm:											
	6,7	7,1	7,7	7,2	9,5	7,1	6,9	6,9	7,8	8,0	8,2
a) Die Unterhautfettgewebsschicht in mm/cm ² :											
	2,85	3,05	3,35	3,10	4,25	3,05	2,95	2,95	3,40	3,50	3,60
Die Unterhautfettgewebsschicht in g/cm ² multipliziert die vorherige Reihe durch 1000:948											
	3,01	3,22	3,55	3,26	4,49	3,22	3,15	3,15	3,58	3,70	3,80
Körperfett in kp:											
	2,48	2,82	3,41	3,45	4,85	3,60	3,78	4,06	5,02	5,64	6,18
Prozentualer Fettgehalt des Körpers:											
	12,98	12,40	13,10	12,10	15,30	10,50	9,98	9,50	10,20	10,50	10,10
Magergewicht des Körpers in kp:											
	18,42	19,88	22,51	25,14	26,92	31,25	34,33	38,54	44,00	48,35	55,50
b) Aus dem Mittelwert der Hautfalten nach der logarithmischen Beziehung berechneter prozentualer Fettgehalt:											
	13,0	14,0	15,0	14,0	16,0	15,0	13,5	13,5	15,2	15,4	15,5
Körperfett daraus berechnet in kp:											
	2,70	3,19	3,88	4,01	5,39	4,86	5,18	5,78	7,42	8,32	9,65
Magergewicht des Körpers daraus berechnet in kp:											
	17,20	18,50	22,00	24,60	28,40	30,00	32,90	36,82	41,60	45,70	52,80
c) Anhand größeren Materials gefundener Zusammenhang zwischen Hautfalte und prozentualen Fettgehalt, allein aus der Hautfalte am Triceps bestimmt:											
prozentualer Fettgehalt:											
	16,5	16,8	16,1	15,0	16,5	15,5	16,2	15,0	14,8	15,1	15,2
Körperfett in kp:											
	3,42	3,82	4,15	4,30	4,40	5,40	6,20	6,48	7,25	8,80	9,30
Magergewicht des Körpers in kp:											
	17,48	18,90	21,75	24,30	29,40	29,50	23,20	36,12	41,75	45,82	52,40
d) Wenn an Stelle der am Tricepsspunkt bestimmten Hautfalte der Mittelwert beider Hautfalten berechnet wird:											
prozentualer Fettgehalt:											
	14,8	15,2	16,2	15,3	18,0	15,8	16,2	15,5	16,2	18,2	18,4
Körperfett in kp:											
	3,10	3,46	4,16	4,40	6,10	5,50	6,00	6,60	8,00	9,80	11,30
Magergewicht des Körpers in kp:											
	17,80	19,24	21,74	24,20	27,70	29,40	32,10	36,00	41,00	44,20	50,40
e) Mittelwerte, aus den b-d-Größen berechnet:											
Mittelwert des Körperfettes in kp:											
	3,07	3,49	4,09	4,24	4,76	5,18	5,80	6,29	7,55	8,95	10,09
Mittelwert des Körpermagergewichts in kp:											
	17,8	19,2	21,8	24,4	29,0	29,7	32,30	36,3	41,4	45,0	51,6
Mittelwert des prozentualen Fettgehalts des Körpers:											
	14,9	15,4	15,9	14,7	16,6	14,8	15,0	14,7	15,4	16,0	16,4

Tab. 5 der Mittelwert der beiden Hautfaltengrößen angegeben. Die Unterhautfettgewebsbreite an der genannten Körperstelle kann folgendermaßen berechnet werden: die Hautfalte enthält in doppelter Schicht die Haut und das Unterhautfettgewebe. Die Hautdicke hat rund 0,5 mm Größe nach unseren röntgenologischen Untersuchungen (BUGYI, 1969 b) bei Kindern und bei Jugendlichen. Die Hautfalte soll halbiert werden und danach soll die Hautdicke – d. h. 0,5 mm – davon subtrahiert werden. Die sich so ergebende Größe ist die Breite des Unterhautfettgewebes an der gegebenen Körperstelle Abb. 3. Derartige systematische Untersuchungen von der gesamten Körperfläche haben B. ŠKERLIJ, J. BROŽEK und E. E. E. HUNT jr. zuerst ausgeführt. Die in mm/cm² erhaltene Unterhautfettgewebsschicht durch $\frac{100}{94,8}$ multipliziert, ergibt das Unterhautfettgewebsschichtgewicht pro cm². Wenn wir die so erhaltene Größe mit der Körperfläche multiplizieren, ergibt sich das Körperfett in kp. Die Körperfläche kann mit Hilfe der Nomogramme von SENDROY jr. und CECCHINI bzw. von DuBOIS und DuBOIS berechnet werden (siehe Tab. 6). Der prozentuale Fettgehalt des Körpers kann aus dem Körperfett und dem Körpergewicht einfach berechnet werden. Durch Subtraktion des Körperfettes von dem Körpergewicht ergibt sich das Magergewicht des Körpers in kp.

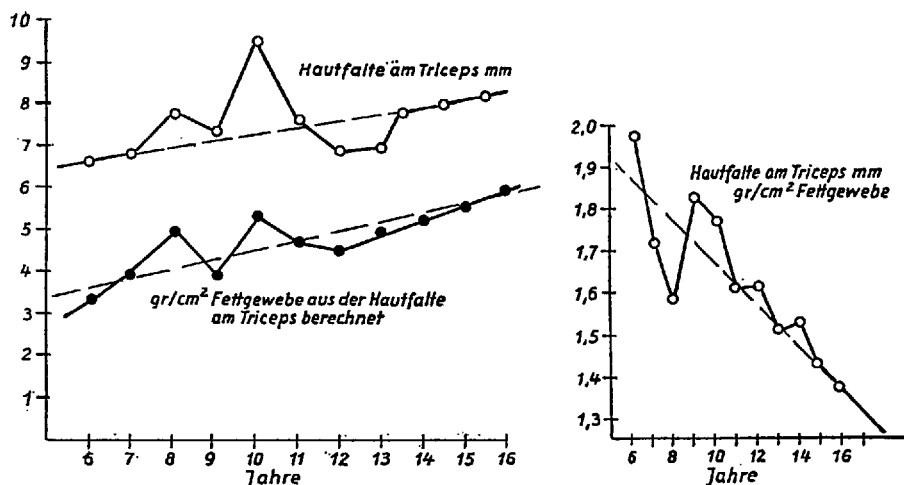


Abb. 3. Hautfalte am Tricepse am Arm bei 6–16jährigen männlichen Jugendlichen. Es wird in der unteren Punktreihe die Zunahme des g/cm² Körperfläche Unterhautfettgewebe angegeben.

Tab. 6. Körperflächengrößen, nach den einzelnen Nomogrammen berechnet. In Quadratmetergröße angegeben:

Jahre:	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
nach SENDROY und CECCHINI berechnet:											
	0,79	0,83	0,92	0,97	1,02	1,08	1,14	1,21	1,30	1,42	1,50
nach DuBOIS berechnet:											
	0,85	0,92	1,02	1,10	1,14	1,18	1,28	1,37	1,51	1,61	1,75
Mittelwert der Körperfläche:											
	0,82	0,87	0,97	1,04	1,08	1,13	1,21	1,29	1,41	1,52	1,62

Anhand der erhaltenen Hautfaltengrößen kann durch verschiedene Rechnungsweisen das prozentuale Körperfett und daraus weiterhin das Körperfett in kp berechnet werden. In einer früheren Mitteilung (BUGYI, 1961c) haben wir zwischen dem prozentualen Fettgehalt des Körpers und dem Logarithmus der Hautfalte einen linearen Zusammenhang gefunden. Nach diesem Rechenverfahren haben wir den prozentualen Fettgehalt des Körpers aus dem Logarithmus des Mittelwertes beider von uns gemessenen Hautfalten berechnet. Die erhaltenen Zahlenwerte sind in Tab. 5 dargestellt, so der prozentuale Fettgehalt, das Körperfett in kp und das Magergewicht des Körpers in kp u. a.

An einem größeren Erwachsenenmaterial haben wir den zahlenmäßigen Zusammenhang zwischen der Hautfalte am Triceps gemessen und den prozentualen Fettgehalt, den wir anhand der anthropometrischen Wertung des Körperfettes und des Magergewichtes mit Hilfe der transversalen Durchmesser des Körpers berechnet haben (Abb. 4), untersucht. In Tab. 5 haben wir die Hautfalte am Tricepspotpunkt allein verwertet bzw. den Mittelwert der beiden Hautfalten gebraucht. Die so erhaltenen Größen haben wir in Tab. 5 angegeben. Wir haben außerdem den Mittelwert der Zahlenwerte angegeben, die derart erhalten wurden, daß wir mit dem logarithmischen Rechenverfahren, weiterhin mit dem von uns bestimmten Erfahrungszusammenhang die prozentuale Körperfettgehalte berechnet haben.

J. V. G. A. DURNIN und M. M. RAHAMAN haben die Hautfaltengrößen am Tricepspotpunkt und subkapulär bei Kindern und bei Jugendlichen bestimmt. Sie haben gleichzeitig durch hydrometrische Messungen die Körperdichte der untersuchten Jugendlichen bestimmt und daraus den prozentualen Körperfettgehalt berechnet. Nach ihrer Feststellung entspricht der Hautfaltengröße ein größerer prozentualer Körperfettgehalt, als er bei Erwachsenen nachgewiesen wird. In Tab. 7 haben wir die nach dem Rechenverfahren von DURNIN und RAHAMAN erhaltenen prozentualen Fettgehalte, das Körperfett und das Magergewicht des Körpers aufgetragen. Wir haben in Tab. 7 die Differenz zwischen dem aus dem transversalen Durchmesser des Körpers berechneten Körperfett und dem Körperfett nach DURNIN und RAHAMAN berechnet. Die Differenzen sind derart klein, daß sie statistisch praktisch zu vernachlässigen sind. Der Mittelwert der Differenzen ist 0,075 kp, die Streuung 0,31 kp.

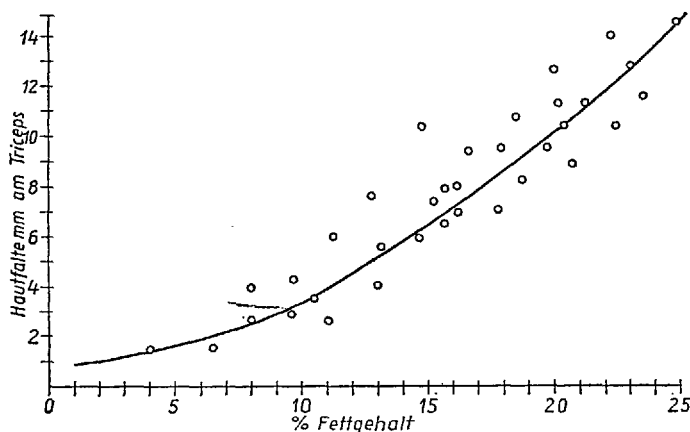


Abb. 4. Zusammenhang zwischen Hautfaltenwert am Tricepspotpunkt gemessen und den prozentualen Fettgehalt des Körpers.

Tab. 7. Körperfett, anhand der Hautfaltengröße nach DURNIN und RAHAMAN berechnet.
Die Zahl der untersuchten Fälle war 20/Jahr

Jahre:	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
Prozentualer Fettgehalt:	13,4	14,2	15,4	14,4	19,0	14,2	13,8	13,8	15,6	16,0	16,0
Körperfett in kp:	2,70	3,25	2,95	4,15	6,05	4,95	5,30	5,90	7,60	8,65	10,20
Magergewicht des Körpers in kp:	18,2	19,45	21,94	24,45	29,75	29,95	32,80	36,70	41,30	45,35	51,50

Das Körperfett nach DURNIN und RAHAMAN aus den Hautfalten berechnet und aus den transversalen Durchmessern des Körpers erhalten, ergibt praktisch gleiche Zahlenwerte, die ihrerseits bedeutend größer sind als die Zahlenwerte, die dadurch zu erhalten sind, daß man es aus dem Unterhautfettgewebe anhand der Hautfaltengrößen direkt bestimmt. Das vorher besprochene Körperfett entspricht dem gesamten Körperfett des Körpers. Die Differenz zwischen den beiden Körperfettwerten entspricht dem „inneren“ Anteil des Körperfettes in kp. Die Zahlenwerte des inneren Körperfettes nehmen mit dem Alter regelmäßig zu. Der Prozentsatz des inneren Körperfettes am prozentualen Körperfett einerseits (Abb. 5), andererseits der prozentuale innere Fettgehalt des Körpers am Körpergewicht verändert sich ebenfalls gesetzmäßig. Die Formeln dieser Veränderungen können angenähert in der folgenden

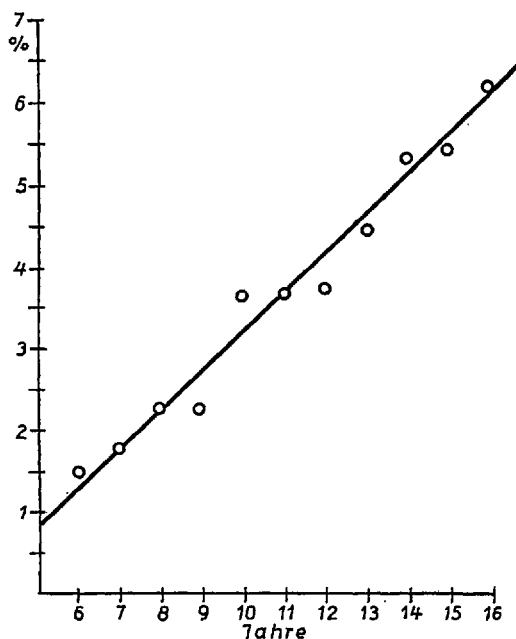


Abb. 5. Unterschied zwischen den Körperprozenten berechnet nach DURNIN und RAHAMAN und aus der Hautfalte.

Form definiert werden: *Zunahme des prozentualen inneren Fettgehaltes des Körpers am prozentualen Fettgehalt des Körpers* = $1,8 \cdot \text{Lebensjahr} + 7$ [3]

Der prozentuale innere Fettgehalt am Körpergewicht = $0,35 \cdot \text{Lebensjahre} + 0,40$ [4]

Differenz zwischen prozentualem Gesamtfettgehalt und innerem Fettgehalt = $0,49 \cdot \text{Lebensjahre} - 1,54$ [5]

Quotient = % Gesamtfettgehalt: % innerer Fettgehalt = $0,046 \cdot \text{Lebensjahre} + 0,82$ [6]

Die angegebenen annähernden Formeln, die bildlich in Abb. 5, 6 und 7 dargestellt sind, orientieren über das verändernde Verhalten des inneren und des äußeren Unterhautfettgewebes und Fettgewebes. Dementsprechend soll bei den Kindern der innere Fettgehalt kleiner sein, und er nimmt im Laufe des Alterns zu. So scheint, zumindest in unserem jugendlichen Material, es so, als ob das Verhältnis zwischen dem inneren und dem äußeren Fettgewicht keineswegs konstant sei. Das Vergleichen des Körperfettes anhand der Hautfaltenbestimmung und darauf folgende Berechnung des Unterhautfettgewebes – im Sinne von B. ŠKERLJ, J. BROŽEK und E. E. HUNT jr. – und anhand der transversalen Durchmesser des Körpers ergibt ein relativ einfaches Verfahren zur Beurteilung der beiden Körperfettmengen.

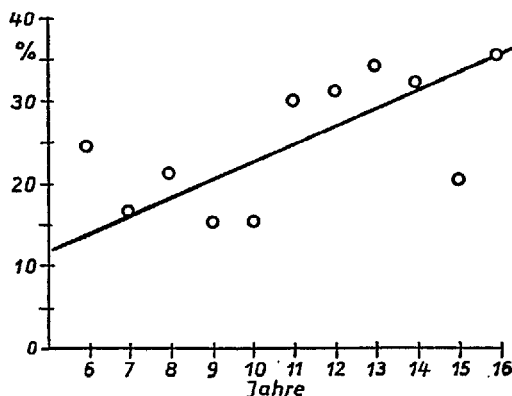


Abb. 6. Prozent inneren Körperfettes im Körperfett.

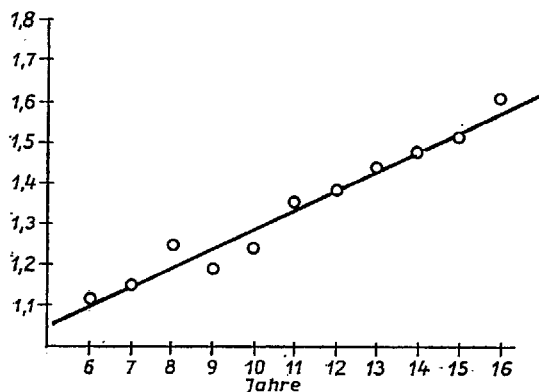


Abb. 7. Verhältnis der Körperfettprocente berechnet nach Durnin und Rahaman aus der Hautfalte.

Wir haben graphisch aufgetragen (Abb. 8) – den prozentualen (gemeinsamen) Fettgehalt des Körpers, den wir anhand der Berechnungen aus den Hautfalten als Unterhautfettgewebe bzw. anhand der Beurteilungsmethode von DURNIN und RAHAMAN einerseits, andererseits anhand der anthropometrischen transversalen Durchmesser und des Gelenks- und Brustumfangs nach WILLOUGHBY, SHELTON und MCGAWACK und mit der von uns vorgeschlagenen einfachen Methode erhalten haben.

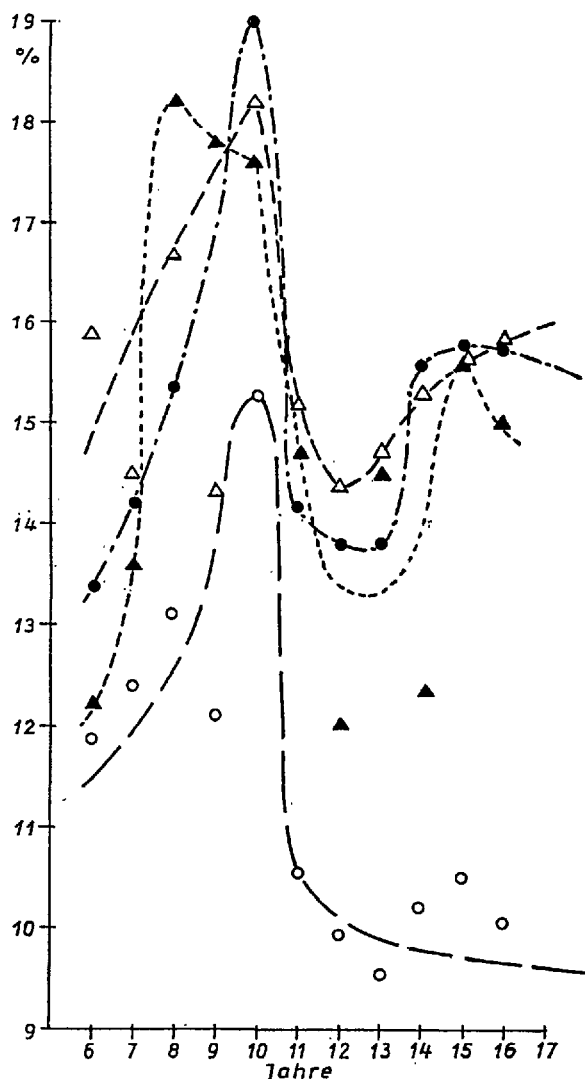


Abb. 8. Körperfettprozente berechnet aus:

- der Hautfalte
- △ den transversalen Durchmessern
- nach DURNIN und RAHAMAN
- ▲ nach WILLOUGHBY und MCGAWACK

Trotz gewisser Variabilität ist festzustellen, daß der Verlauf des prozentualen Fettgehaltes bei 6–16jährigen sportlich tätigen männlichen Jugendlichen der gleiche ist. In Abb. 9 haben wir graphisch die Veränderung des sog. „fettlosen“, d. h. Magergewichtes des Körpers im Laufe des Alterns bei denselben Personen zwischen 6–16 Jahren, mit verschiedenen Methoden bestimmt, aufgetragen. Die gute Übereinstimmung der erhaltenen Zahlenwerte spricht für die Gültigkeit dieser Methoden in der Beurteilung der beiden Grundkomponenten des Körperbaues.

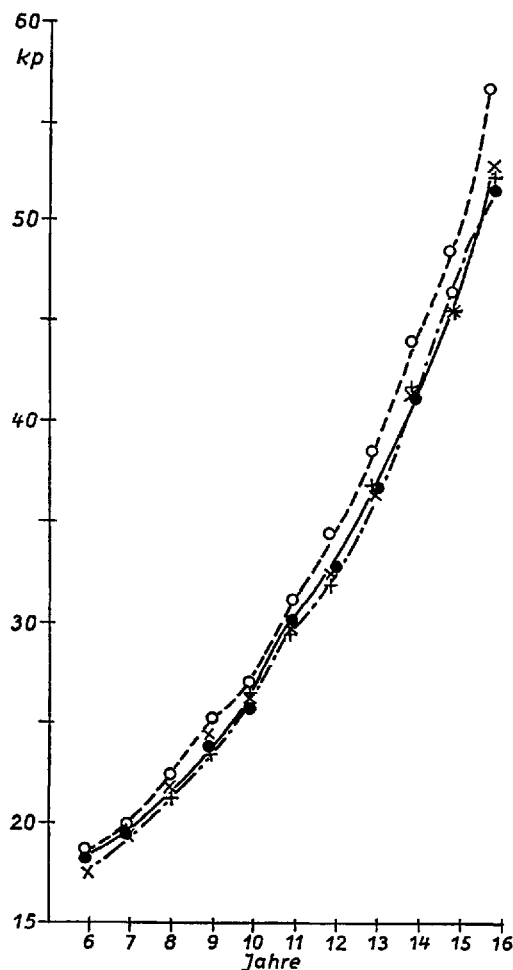


Abb. 9. Magergewicht kp berechnet aus

- O der Hautfalte
- x den transversalen Durchmessern
- nach DURNIN und RAHAMAN
- + nach WILLOUGHBY und MCGAWACK

Tab. 8. Körperfettdifferenzberechnungen. Aus dem Körperfett und den transversalen Durchmesser des Körpers berechnet, aus den Hautfalten bestimmt

Jahre:	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
Differenz zwischen den Körperfettwerten in kp. Inneres Körperfett in kp:	0,82	0,58	0,89	0,55	0,95	1,70	1,72	2,14	2,48	1,75	3,52
Prozent des inneren Körperfettes im gesamten Körperfett:	25	17	22	16	16	31	32	35	33	21	36
Prozent des inneren Körperfettes im Körpergewicht:	3,95	2,55	3,48	2,23	2,90	4,75	4,52	4,95	5,10	3,25	5,70
Differenz zwischen den Prozentzahlen des Fettgehaltes nach DURNIN und RAHAMAN und aus den Hautfalten als Unterhautfettgewebe berechnet:	1,5	1,8	2,3	2,3	3,7	3,7	3,8	4,3	5,4	5,5	6,3
Prozentzahl Quotient des Fettgehaltes nach DURNIN und RAHAMAN, aus den Hautfalten berechnet:	1,12	1,15	1,25	1,19	1,24	1,36	1,39	1,45	1,49	1,52	1,63

Über das Verfahren von D. B. Jelliffe zur Beurteilung des Ernährungszustandes.

Eine Fachkommission der WHO hat unter Vorsitz von J. B. JELIFFE eine eklektische Methode zur Beurteilung des Ernährungszustandes erarbeitet und mit besten Resultaten zur Massenbeurteilung der Ernährungsverhältnisse der Einwohner in Entwicklungsländern verwendet. Das Verfahren, welches wir bei denselben Personen angewendet haben, die mit den vorher besprochenen Methoden untersucht wurden, ist folgendes:

Es wird der Umfang des mittleren Anteiles am Arm – am sog. Triceps-Punkt – mit einem Leinenmeßband, das in 0,2-m-Einheiten eingeteilt wurde, bestimmt. (Circumferenz₁: C₁). Danach haben wir in Tab. 9, die am Triceps-Punkt schon bestimmten Hautfaltengrößen (S) eingetragen. Durch Multiplikation der Hautfaltengröße (S) durch π erhaltene Größe wird aus dem Armmumfang (C₁) subtrahiert. So ergibt sich der Umfang der Muskulatur am Arm (C₂).

$$C_2 (\text{Armmuskulaturumfang}) = C_1 - \pi \cdot S \quad [7/a]$$

Der Armdurchmesser (D₁) ist durch Dividieren des C₁ durch π zu erhalten

$$D_1 (\text{Armdurchmesser}) = C_1 : \pi \quad [7/b]$$

$$D_2 (\text{Muskulaturdurchmesser}) = (C_1 - \pi \cdot S) : \pi \quad [7/c]$$

Die entsprechenden Größen und die daraus berechenbaren Parameter, sowie die Differenz zwischen den Umfängen des Armes (C₁) und der Armmuskulatur (C₂), weiterhin die Differenz zwischen Durchmesser des Armes (D₁) und der Armmuskulatur (D₂) wurden in Tab. 9 eingetragen. Die so erhaltenen Größen orientieren eigentlich nur über die Grundkomponenten des Körperbaues am Arm, weshalb weitere Untersuchungen zur Beurteilung des Magergewichtes des Körpers und des Körperfettes als erwünscht zu betrachten waren. Als annähernde Formeln zur Berechnung des g/cm Magergewichtes ergibt sich der Zusammenhang:

$$\text{g/cm Magergewicht} = 4,3 \cdot \text{Armmuskulaturdurchmesser in mm} - 92, \quad [8/a]$$

weiterhin

$$\text{Magergewicht des Körpers in kg} = 0,9 \cdot \text{Armmuskulaturdurchmesser in mm} - 32,5 \quad [8/b]$$

Das Körperfett bzw. der prozentuale Fettgehalt des Körpers kann anhand der angegebenen Kurve bei Kenntnis der Hautfaltengröße am Tricepspunkt annähernd bestimmt werden. So ist eine Umrechnung zwischen den verschiedenen anthropometrischen Methoden der Ernährungsbeurteilung gegeben.

Tab. 9. Histometrische Daten, die durch das Verfahren von JELIFFE zu erhalten sind

Jahre:	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
Armumfang (C ₁) in mm:	196	207	216	225	233	242	253	266	278	286	294
Hautfalte (S) in mm, am Triceps gemessen:	7,8	7,9	7,6	6,9	8,2	7,3	7,8	7,1	6,6	6,8	7,3
$\pi \cdot S$ mm:	24,6	25,1	23,9	21,8	25,9	23,1	24,2	22,4	20,9	22,5	25,0
Muskulaturumfang (C ₁ — $\pi \cdot S$) in mm:	171	182	192	203	207	219	229	244	257	263	269
Muskulaturdurchmesser in mm:	54,5	58,0	61,5	64,5	66,0	69,5	73,0	77,5	82,0	83,8	85,9
Armdurchmesser in mm:	62,5	66,0	69,0	71,9	73,9	77,0	81,0	85,0	88,0	92,0	93,5
C ₁ — C ₂ mm:	80	80	75	74	79	75	80	75	80	82	80
D ₁ — D ₂ mm:	7,8	10,2	12,8	13,1	16,9	16,9	15,1	10,2	10,5	8,8	9,7

Röntgenhistometrische Bestimmung des Unterhautfettgewebes und der Muskulatur am Arm.

In weichen Röntgenaufnahmen – Röhrenspannung rund 45 kV – sind infolge ihrer unterschiedlichen Dichte der Knochen das Fett bzw. Fettgewebe und die Muskulatur getrennt dargestellt und können dementsprechend isoliert bestimmt werden. In der anthropometrischen Forschung werden derartige röntgen-histometrische Untersuchungen regelmäßig angewendet, so BROŽEK und Mitarb., GARN und Mitarb., TANNER und Mitarb. u. a. verwenden die röntgen-histometrische Methode zur Beurteilung der einzelnen Grundkomponenten des Körperbaues. Wir haben mit dem Vierventil-Apparat der Siemens-Reiniger-Röntgenwerke (Autoheliophos) mit einer Spannung 45 kV und Stromintensität 200 mA bei einer Belichtungszeit 0,01 Sek mit Verstärkerfolien Röntgenaufnahmen von der mittleren Partie des Armes gefertigt. Röhre-Film-Entfernung war 70 cm. Der Arm war auf der Aufnahmetischplatte flach aufgelegt worden und jede Muskulaturspannung wurde möglichst vermieden. Die sich ergebenden Zahlenwerte werden in Tab. 10 zusammengestellt.

Es wurde bestimmt: in der Mitte der Armaufnahme die Breite des Humerus, an beiden Seiten – vorne und hinten – die Muskulaturbreite und an der Rückseite am Tricepsspunkt die Breite des Unterhautfettgewebes, ebenfalls auch vorne die Breite des Unterhautfettgewebes (siehe Tab. 10). Die Breite der Muskulatur ist wesentlich

Tab. 10. Ultraschallecholot-Histometrie am Arm

Jahre:	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
Fettgewebsbreite am Triceps-Punkt in mm:	5,3	5,4	4,8	4,2	5,5	5,0	5,2	4,3	4,0	4,8	4,5
Muskulaturbreite am Triceps-Punkt in mm:	25,2	26,1	27,2	27,9	28,6	29,3	32,1	32,4	33,9	35,2	36,5

kleiner, als sie aus dem Muskulaturumfang nach JELIFFE zu erhalten wäre. Demgegenüber ist die Summe der Knochenbreite und der beiden Muskulaturschichten mit dem Muskulaturdurchmesser aus dem Armumfang berechnet praktisch gleich. Deshalb ist der „gemessene“ und der „charakteristische“ Muskulaturdurchmesser zu unterscheiden. Als charakteristischer Muskulaturdurchmesser ist die Summe der Knochenbreite und der beiderseitigen Muskulaturbreiten zu definieren. Dieser charakteristische Muskulaturdurchmesser stimmt mit dem Muskulaturdurchmesser, den wir aus dem Armumfang nach D. B. JELIFFE berechnet haben, überein.

Tab. 10 enthält die diesbezüglichen Parametergrößen. Es ist festzustellen, daß die röntgenologisch gemessene Haut- und Unterhautfettgewebsschicht im Zusammenhang mit der Hautfaltenbreite steht. Die röntgenologisch bestimmte Breite der Haut und der Unterhautfettgewebsschicht am Tricepspunkt ist größer (rund 130%) als die halbierte Hautfaltengröße. Der Unterschied ist darauf zurückzuführen, daß durch den Kaliber die Haut- und Unterhautfettgewebsschicht zusammengedrückt und in ihrer Breite wesentlich vermindert wird. Ähnliche Feststellungen hat schon S. M. GARN beim Vergleichen der Hautfaltengröße und der Unterhautfettgewebsschicht im Röntgenbild publiziert.

Ultraschallecholot-Histometrie am Arm.

Das Ultraschallbündel wird von den isolierten Flächen zwischen Muskulatur und Knochen, Unterhautfettgewebe und Muskulatur u. a. reflektiert. Durch Messung der Länge des Weges des Ultraschallbündels ist die Breite des Unterhautfettgewebes und der Muskulatur zu messen. Die isolierende Fläche zwischen Unterhautfettgewebe und Muskulatur fällt in den sog. toten Raume des emittierten Ultraschallbündels (Abb. 10). Wir haben eine Kunststoffkappe auf den Untersuchungskopf der Ultraschallapparatur appliziert, und so wurde es möglich, auf die Breite der Unterhautfettgewebsschicht zu schließen (siehe Tab. 11). Wir haben die Apparatur der Ges. KRAUTKRÄMER (Köln) verwendet und damit an der Rückseite des mittleren Anteiles des Armes durch Ultraschallecholot-Histometrie die Breite der Haut, das Unterhautfettgewebe und die Breite der Muskulatur bestimmt. Die sich so ergebenden

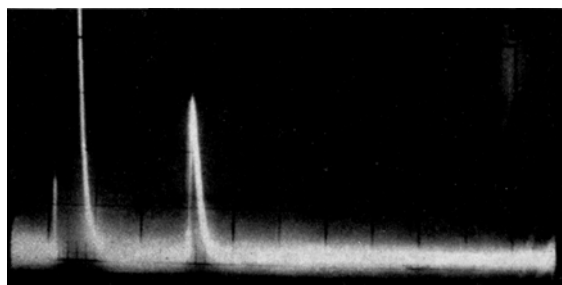


Abb. 10. Echolot-Bestimmung der Muskelbreite. Der aufsteigende linke Ast stammt von der Emission des Ultraschallbündels am Meßkopf selbst, der absteigende Ast entspricht des toten Raumes, worin die Breite der Unterhautfettgewebsschichten enthalten ist. Durch Vorsatzkopf ist im sog. toten Raume die Unterhautfettgewebsschicht – Echobreite – zu messen. Rechts die zweite Welle stammt von der Reflexion des Schallbündels an der Knochenmuskulaturfläche.

Zahlenwerte stehen den röntgenologisch bestimmten histometrischen Größen ebenfalls am Tricepspotpunkt bei denselben Personen recht nahe, und sie können daher alternativ verwendet werden.

Es wurden die Fettgewebsbreiten, die mit dem Ultraschallecholotverfahren und röntgenhistometrisch bestimmt wurden, verglichen. Der Mittelwert der Differenz ist zugunsten der röntgenhistometrischen Bestimmung 0,44 mm. Die Differenz zwischen der röntgenhistometrischen Unterhautfettgewebsbreite und der halben Hautfaltengröße berechnet ergibt den Mittelwert zugunsten der röntgenhistometrisch bestimmten Größe von 1,54 mm. Die Streuung ist 0,14 mm. So ist festzustellen, daß am Tricepspotpunkt röntgenologisch und mit dem Ultraschallecholotverfahren bestimmte Fettgewebsbreitengrößen gleich sind, und daß beide Fettgewebsschichtbreiten in engem zahlenmäßigen Verhältnis zur Hautfaltengröße am Tricepspotpunkt stehen.

Tab. 11. Röntgenhistometrie am Arm

Jahre:	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
Fettgewebsbreite an der Rückenseite – Triceps-Region – in mm:	5,0	5,2	5,0	4,5	5,3	4,8	5,1	4,6	4,3	4,4	4,8
Fettgewebsbreite an der Vorderseite – Biceps-Region – in mm:	4,3	3,6	4,1	2,5	4,9	3,1	4,1	2,8	2,8	1,8	3,9
Muskulaturbreite an der Rückenseite – Triceps-Region – in mm:	19,5	20,5	22,1	22,9	23,4	24,1	25,1	26,2	28,2	29,5	31,5
Muskulaturbreite an der Vorderseite – Biceps-Region – in mm:	29,3	29,2	29,9	30,6	31,2	32,8	33,6	34,0	36,6	37,3	39,4
Knochenbreite in mm:	10,0	10,4	10,8	11,0	11,4	11,6	11,8	12,0	12,0	12,2	12,2
Summe der vorderen und hinteren Fettgewebsbreiten in mm:	9,3	8,8	9,1	7,0	10,2	7,9	9,2	7,4	7,1	6,2	8,7
Summe der Muskulaturbreiten an der Vorderseite und an der Rückseite in mm, sog. „gemessene“ Muskulaturbreite in mm:	48,8	49,7	52,0	53,5	54,6	56,9	58,7	60,2	64,8	66,8	70,9
Charakteristische Muskulaturbreite:											
Knochenbreite und Summe der vorderen und der hinteren Muskulaturbreiten in mm:	58,8	60,1	62,8	64,5	66,0	68,5	70,5	72,2	76,8	79,0	83,0
Armdurchmesser in mm:	68,1	68,9	71,9	71,5	76,2	76,4	79,7	79,6	83,9	85,2	91,7
Aus dem röntgenologisch bestimmten Armdurchmesser bestimmter Armumfang in mm:	218	219	223	230	238	242	248	251	262	269	290

Besprechung der Ergebnisse.

Wir haben an männlichen sporttreibenden Jugendlichen von 6–16 Lebensjahren in jedem Jahrgang bei 20 Personen anthropometrisch das Magergewicht – mit dem Verfahren von WILLOUGHBY, SHELTON und MCGAWACK und mit der vereinfachten Form dieses Verfahrens – durch die Hautfaltenbestimmungen mit dem Kaliber das Körperfett bzw. den prozentualen Fettgehalt des Körpers bestimmt. Wir haben weiterhin das Verfahren von J. B. JELIFFE der WHO, die röntgenhistometrische

Methode und das Ultraschallecholotverfahren am mittleren Teil des Armes zur Bestimmung der Fettgewebsschicht und der Muskulatur verwendet und das gegenseitige Verhältnis dieser Methoden geprüft. In den oben besprochenen Untersuchungen konnten wir nachweisen, daß die verschiedenen Methoden annähernd gleiche bzw. ineinander umrechenbare Zahlenwerte ergeben und so sowohl die Methoden, die das Magergewicht des Körpers bzw. das Körperfett des Gesamtkörpers messen, als auch die Verfahren, wobei die Gewebe am Arm bestimmt werden, alternativ verwertbare histometrische Werte ergeben.

Zusammenfassung

Bei männlichen Jugendlichen zwischen 6–16 Lebensjahren, die sportlich tätig waren, wurden mittels der anthropometrischen Methode, die Hautfaltengrößenbestimmung, nach der Methode der WHO (J. B. JELIFFE), der Röntgenhistometrie und mit dem Ultraschallecholotverfahren vergleichend der Fettgehalt und das Magergewicht – welches mit der Muskulatur in engem Zusammenhange steht – bestimmt. Die verschiedenen Methoden können zur gegenseitigen Kontrolle der Ergebnisse verwendet werden.

Literatur

1. BEHNKE, A. R., Human Biol. 31, 295 (1959). — 2. BEHNKE, A. R., O. E. GUTTENTAG und C. BRODSKY, Human Biol. 31, 213 (1959). — 3. BROŽEK, J., Biotypologie 26, 98 (1965). — 4. BROŽEK, J. und H. MORI, Human Biol. 30, 322 (1958). — 5. BROŽEK, J., H. MORI und A. KEYS, Science 128, 901 (1958). — 6. BUGYI, BL., Anthropos. N. S. 11, 35 (1967). a) Der praktische Arzt (Wien) 23, 21 (1969). b) Morphologie, Anthropologie 61, 207 (1969). c) Röntgenpraxis 22, 178 (1969). — 7. DAMON, A. und R. F. GOLDMAN, Human Biol. 36, 32 (1964). — 8. DURNIN, J. V. G. A. und M. M. RAHAMAN, Brit. J. Nutrit. 21, 681 (1967). — 9. GARN, S. M., Radiographic Analysis of Body Composition. Techniques for Measuring Body Composition. (Eds. J. BROŽEK und A. HENSCHEL) National Academy of Sciences – National Research Council. Washington D. C. 1961, S. 36. — 10. JELIFFE, D. B., Appreciation de l'état nutritionnel des populations. Organisation Mondiale de la Santé (Genève 1969). — 11. MCGAWACK, T. H., Metabolism. 14, 150 (1965). — 12. ŠKERLI, B., J. BROŽEK und E. E. HUNT jr., Physic. Anthropol. N. S. 11, 577 (1953). — 13. TANNER, J. M., Wachstum und Reifung des Menschen (Stuttgart 1962). — 14. WILLOUGHBY, D. P., Res. Quart. 8, 48 (1932).

Anschrift des Verfassers:

Chefarzt Dr. med. habil. Dr. phil. BLASIUS BUGYI
Budapest V. (Ungarn) Ferenczy István utca 18