

*Sportmedizinisches Institut (Direktor: Dr. med. O t t ó A r a t ó)
der Stadt Budapest (Ungarn)*

Ultraschall-Echolotbestimmung des Unterhaut-Fettgewebes und des Körperfettes

B. B u g y i

Mit 2 Tabellen

(Eingegangen am 24. Juli 1975)

Die Dicke des Unterhaut-Fettgewebes – die Speckdicke – wird an den Rindern und an den Schweinen über zwei Jahrzehnte schon mit Hilfe des Ultraschall-Echolotverfahrens bestimmt. Dieselbe Methode zur Beurteilung der subkutanen Fettgewebsschicht bei Menschen zu verwenden, wurde einige Jahre später von verschiedenen Autoren versucht. So möchten wir auf die diesbezüglichen Publikationen von *I. Paerisch* und *M. Paerisch* (1963), *H. Kändler* (1963), *B. B. Bullen*, *Fl. Quade*, *E. Olesen* und *S. E. Lund* (1965), *A. W. Sloan* (1967), *M. Stráková*, *J. Marková*, *J. Simšová*, *M. Benešová* (1970), *B. Bugyi* (1971), *R. Maaser*, *W. Droese*, *H. Würtenberger* (1972) u. a. hinweisen. Ihre Untersuchungen sprechen dafür, daß die praktische Möglichkeit der Ultraschall-Echolot-Fettgewebsschichtmessung besteht.

Methode (Grundlagen und Durchführung)

Longitudinale Wellen über eine Frequenz von 16 000–18 000/Sekunde werden vom menschlichen Ohr nicht wahrgenommen und werden als *Ultraschall* bezeichnet. Ein Quarzkristall kann piezoelektrisch, praktischer eine bariumtitanatkristalline Keramikscheibe kann elektrostriktionisch bei Auffüllung mit einer rasch wechselnden elektrischen Ladung in eine Schwingung gebracht werden. Diese Schwingung wird bei entsprechender Frequenz eine Ultraschallstrahlung emittieren. Beim Auftreffen der Ultraschall-Strahlungsenergie kommt die Bariumtitanatscheibe selbst in Schwingung und kann dementsprechend die antreffende Ultraschallenergie aufnehmen. Wenn die Schwingungen derart tempiert sind, daß zwischen Emission und Absorption entsprechende Zeitspannen bestehen, kann derselbe Kopf sowohl als Emittor wie auch als Rezeptorgerät fungieren.

Die emittierte Ultraschallstrahlung verläuft in den tierischen und anderen Geweben mit entsprechender Geschwindigkeit und trifft eine Grenzfläche, von wo die Strahlung reflektiert wird. Die reflektierte Energie kommt in den Untersuchungskopf und wird von dort an ein Oszilloskop weitergeleitet. Der von der Strahlung durchlaufene Weg ist dementsprechend von doppelter Länge und kann am Oszilloskop gut registriert wer-

den. I. Krautkrämer und H. Krautkrämer haben diesbezüglich die Zahlenwerte publiziert, demnach

Material	Dichte	Geschwindigkeit des Ultraschalles in dem Gewebe m/sec	Reflektierter Energie- anteil (%) von der Oberfläche		
			Fett	Muskeln	Knochen
Fettgewebe	0,97	1400	–	9,9	–
Muskeln	1,04	1600	9,9	–	32,8
Knochengewebe	1,70	3600	–	32,8	–

Wir untersuchten an vier Körperstellen die Ultraschall-Echolottiefe (im weiteren UET) des subkutanen Fettgewebes. Die Körperstellen waren die folgenden:

- I. *Subskapularepunkt* am unteren Ende des rechten Schulterblattes.
- II. *Trizepspunkt* an der hinteren Seite des rechten Oberarmes in der Mitte gemessen.
- III. *Thoraxpunkt* am lateralen Rand des rechten Musculus pectoralis
- IV. *Abdominalpunkt* rund 1 cm rechts vom Nabel.

Wir haben bei unseren Messungen die Ultraschallapparatur der Firma Kretztechnik (Zipf, Österreich) verwendet. Die Apparatur war die typische Untersuchungsapparatur der industriellen Qualitätskontrolle zur zerstörungsfreien Materialprüfung mit Ultraschall. Wir verwendeten einen zusammengesetzten, zu Fettgewebsbestimmungen konstruierten Untersuchungskopf der Kretztechnik, den die Firma uns liebenswürdigerweise zur Verfügung gestellt hat.

Untersuchungsergebnisse

Wir haben mit der UET-Methode die subkutane Fettgewebsschicht verschiedener Menschengruppen untersucht. Zum Vergleich haben wir mit dem standardisierten Kaliber des *Minnesota-Typus* – Konstruktion von Brožek und Lange – in den Tabellen als letzte Spalte angegeben.

Wir haben mit dem Ultraschall-Echolot-Impulsgerät der Firma Kretztechnik (Zipf, Österreich) die subkutane Fettgewebsschicht bestimmt. Bekanntlich bilden zwei abgehobene Schichten der Haut und der subkutanen Fettgewebsschicht eine Hautfalte. In unseren Untersuchungen haben wir die Hautfaltengröße mit dem Ultraschall-Echolottiefenwert verglichen. Gegenüber dem theoretischen Wert 0,5 erhielten wir Größen zwischen 0,58 und 0,72 mit einem Mittelwert von 0,64. Die Streuung der 40 untersuchten Fälle ergab sich zu 0,4 %. Demnach ist die mit Ultraschall bestimmbare Tiefe der Unterhaut-Fettgewebsschicht größer als die erwartete Hälfte der Hautfaltenbreite.

Wir haben ebenfalls feststellen können, daß die Unterhaut-Fettgewebsschichten am Subskapularepunkt, am Trizepspunkt und am Thoraxpunkt gut reproduzierbar sind, wogegen die Reproduzierbarkeit am Abdominalpunkt wesentlich kleiner ist, insbesondere bei dicken Personen, wo sich meist

Tab. 1. Ultraschall-Echolot-Fettgewebssmessung bei Sportlern in mm, Körperfettgehalt in Prozent

Sportart	Geschl.	Zahl	Skap.	Triz.	Thor.	Körper- fett %	Abdom.	Körper- fett %	Hautfalten- Körperfett %
Läufer	M.	11	5,6	4,6	5,0	12,5	4,4	10,2	9,8
	F.	9	5,8	5,2	8,6	13,5	6,2	14,7	15,2
Springer	M.	8	4,4	5,8	6,0	12,7	5,0	12,5	11,6
	F.	7	6,7	6,4	8,9	15,7	7,3	15,5	15,1
Diskus- und Speerwerfer	M.	10	6,5	6,2	8,7	15,2	7,1	15,2	14,8
	F.	8	11,0	10,5	13,5	20,5	14,5	20,5	21,2
Boxer	M.	15	5,8	5,0	8,2	14,2	6,2	12,0	11,0
Ringer	M.	10	6,3	6,1	8,1	15,1	7,0	14,2	13,5
Fußballspieler	M.	15	4,0	4,6	5,6	11,6	5,0	11,5	11,0
Turner	M.	10	2,0	3,0	3,5	6,6	3,2	7,0	7,5
	F.	8	4,1	4,8	5,2	11,4	4,6	10,0	10,5
Schwimmer	M.	12	5,6	5,0	7,8	13,6	6,0	14,0	13,5
	F.	10	12,0	12,0	14,3	21,0	16,5	22,7	23,2
Ruderer	M.	11	7,1	6,5	9,3	16,0	7,4	15,8	14,8
	F.	10	11,6	11,5	14,0	19,5	16,0	19,5	18,8
Wasserpoltspieler	M.	10	8,2	8,8	10,3	17,7	9,8	18,0	19,0

Geschl. bedeutet Geschlecht, M.: Mann, F.: Frau. Die ersten drei Reihen bedeuten die UET-Bestimmungswerte am Subskapulare-, am Trizeps- und am Thoraxpunkt. Die Größe des Körperfettes wird hier aus diesen drei Größen berechnet. Abdom. bedeutet Abdominalpunkt. Die demnach angegebene Größe ist der aus den vier Körperstellen errechnete prozentuale Körperfettgehalt. Die letzte Reihe bedeutet den aus den Hautfaltenwerten berechneten prozentualen Körperfettgehalt.

eine Bauchfettschürze ausbildet. Deshalb haben wir den prozentualen Körperfettgehalt sowohl aus den drei wie auch aus den vier Meßwerten – Abdominalpunkt mitverwendet – bestimmt. Wir haben zu beiden Möglichkeiten die entsprechenden Formeln berechnet anhand der Regressibilität des aus den Hautfaltengrößen erhaltenen Körperfettwertes.

a) Wir summieren die Zahlenwerte der erstgenannten drei Unterhaut-Fettgewebsschichten mit der UET-Methode. Diese Größe bezeichnen wir als „A“, und die Formel lautet in diesem Fall *prozentualer Körperfettgehalt* = $22 \cdot \log (2,00 \cdot A) - 20,5$.

b) Wir summieren die erhaltenen Zahlenwerte aller vier Körperregionen. Dann lautet die Formel: *Prozentualer Körperfettgehalt* = $22 \cdot \log (1,5 \cdot B) - 20,5$. Diese Zahlenwerte werden in den entsprechenden Säulen der Tab. 1 und 2 angegeben.

Die Tab. 1 gibt eine Orientierung über die Unterhaut-Fettgewebsschicht der Sportler und die berechneten prozentualen Körperfettgehalte aus den drei Meßwerten (Subskapular-, Trizeps- und Thoraxpunkt), weiterhin aus allen vier Meßpunkten ausgerechnet. Diese Werte werden mit den aus den Hautfaltengrößen berechneten Körperfettwerten verglichen. Eine Übereinstimmung ist bei den Sportlern festzustellen. Immerhin sind bei den Sportlern kleine oder mittelwertige Körperfettgehalte festzustellen.

Die Tab. 2 zeigt die Unterhaut-Fettgewebsschicht-Größen bei obesen Männern und Frauen. Hier sind je vier Männer und Frauen untersucht worden, die einen Fettgehalt von 27 bis 39 % aufgewiesen haben. Aus der Tab. 2 ist zu ersehen, daß die aus den vier Körperstellen berechneten Körperfett-Prozentzahlen den Größen, die sich aus den Hautfaltenmessungen ergaben, am besten gleichen.

Besprechung der Ergebnisse

Es kann festgestellt werden, daß mit dem Ultraschall-Echolotverfahren die subkutane Fettgewebsschicht gut und reproduzierbar bestimmt

Tab. 2. Ultraschall-Echolottiefenmessung der subkutanen Fettgewebsschicht bei obesen Personen beider Geschlechter

	Skap.	Triz.	Thor.	Körperfett %	Abdomen	Körperfett %	Hautfalten-Körperfett %
Männer:							
B. H.	36	38	36	31,0	36	31,0	30,5
A. L.	18	20	28	26,1	32	27,1	27,5
K. J.	26	30	38	30,2	42	34,4	30,0
Z. J.	46	46	52	36,4	48	32,7	35,0
Frauen:							
H. G.	64	60	76	36,5	74	37,5	37,0
C. C.	82	80	84	37,5	88	38,5	39,0
L. Z.	78	82	84	38,5	84	38,5	40,0
H. K.	88	76	86	38,9	86	39,1	39,0

werden kann. Sowohl an den drei angegebenen Körperstellen, Subskapularepunkt, Trizepspunkt und Thoraxpunkt, als auch am Abdominalpunkt kann die Dicke der Unterhaut-Fettgewebsschicht gemessen werden. Die Unterhaut-Fettgewebsschicht ist rund 0,64 der Hautfaltendicke mit einer Streuung von 0,4. Dementsprechend kann aus der Hautfaltenbreite nicht direkt auf die Ultraschall-Fettgewebsschicht-Dicke gefolgert werden. Wir haben Formeln berechnet zur Bestimmung des prozentualen Körperfettgehaltes aus den drei Meßpunktwerten:

$$\% \text{ Körperfett} = 22 \cdot \log (2,00 \cdot A) - 20,5 \text{ (drei Meßpunkte)}$$

$$\% \text{ Körperfett} = 22 \cdot \log (1,50 \cdot B) - 20,5 \text{ (vier Meßpunkte)}.$$

Die Formel kann sowohl bei normalernährten Sportlern, ebenfalls bei obesen Personen verwendet werden.

Zusammenfassung

Mit dem Ultraschall-Echolotverfahren haben wir die subkutane Fettgewebsschicht bei Normalernährten, Sportlern und obesen Personen bestimmt und Formeln berechnet zur Bestimmung des prozentualen Körperfettes.

Summary

We measured with the ultrasonic reflexion method the breadth of the subcutaneous adipose tissue at the following anatomical sites: subscapular, triceps and on the lateral margin of the m. pectoralis on the chest. The percentual body fat can be calculated from the formula: $\% \text{ body fat} = 22 \cdot \log / 2 \cdot \text{sum of the breadths on the three sites} / -20.5$. If we measure also the breadth on the abdominal point the $\% \text{ body fat}$ is $22 \cdot \log / 1.5 \cdot \text{sum on the four sites} / -20.5$. The so calculated numerical results are with the skinfold measurements in best correlation.

Literatur

- Bugyi, B., Z. Ernährungswiss. 10, 364 (1971). – Bullen, B. B., Fl. Quade, E. Olesen und S. E. Lund, Human Biology 37, 375 (1965). – Kändler, H., Medizin und Sport 4, 195 (1964). – Krautkrämer, J. und H. Krautkrämer, Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung mit Ultraschall (Köln 1966). – Kretztechnik: Einführung in die Ultraschall-Diagnostik (Wien 1967). – Maaser, G., W. Droese und H. Würtenberger, Klin. Wschr. 50, 923 (1972). – Paerisch, I. und M. Paerisch, Arch. ges. Physiol. 276, 437 (1963). – Sloan, A. W., Journ. appl. Physiol. 23, 311 (1967). – Šťáková, M., J. Marková, J. Simsová und M. Benesová, Ärztl. Jugendkunde 61, 385 (1970).

Anschrift des Verfassers:

Chefarzt Dr. med. habil. Dr. phil. Blasius Bugyi,
1053 Budapest, Ferenczy István utca 18 (Ungarn)