

Messung des Fettgehaltes des menschlichen Körpers

Vorbemerkung:

Die in dieser Leitlinie vorgeschlagenen diagnostischen und therapeutischen Maßnahmen sind medizinisch notwendig und entsprechen dem allgemein anerkannten Stand der Wissenschaft.

Beachten Sie bitte auch die für das arbeitsmedizinische Leitlinienprinzip geltenden Besonderheiten sowie die sonstigen fachgebietsrelevanten Handlungsempfehlungen.

Einleitung

Die Zusammensetzung des menschlichen Körpers ist Folge genetischer und Ernährungsfaktoren. Sie kann durch äußere Einflüsse wie Training, Krankheit, Diät beeinflusst werden. Sie wird nicht nur aus arbeitsphysiologischen sondern auch aus ernährungsphysiologischen, epidemiologischen, sportmedizinischen, trainingsphysiologischen, pharmakokinetischen, psychologischen und klinischen Gründen analysiert.

Zur Beurteilung seiner Zusammensetzung wird der Mensch als ein System betrachtet, das aus mindestens zwei Kompartimenten, nämlich Fett und fettfreie Körpermasse (FFM) besteht, deren Verhältnis und genaues Volumen bestimmt werden kann. Die gemessenen Variablen, wie Körperwasser, Körperfett, Knochendichte und Mineralgehalt der Knochen variieren dabei intra- und interindividuell nicht nur in Abhängigkeit von der Energie-, Wasser- und Elektrolytbilanz des Menschen sondern auch mit dem Alter [Brozek and Kinzey 1960, Garn 1985, Himes et al. 1979, Womersley et al. 1976], dem Geschlecht [Chumlea et al. 1984 und Clegg and Kent 1967, Womersley et al. 1976], der ethnischen Gruppe [Jones et al. 1976] u.a., was die Methodenwahl zusätzlich erschwert.

Die nachfolgend beschriebenen Methoden sind mehr oder weniger aufwendig und fehlerbehaftet, wobei ein umgekehrtes Verhältnis zwischen Aufwand und Präzision des Ergebnisses besteht [Fogelholm et al. 1996, Keys and Brozek 1953, Lohman 1981 und 1986, Lukaski 1987]

Methode

Körperbaubezogene Methoden

Einfachste Methode ist die Inspektion des unbedeckten Körpers. Erfahrene Beobachter sind in der Lage, den Fettanteil auf $\pm 5\%$ -Punkte richtig zu schätzen, wobei vor allem die allgemeine Körperhaltung (schlaff/straff) das Ergebnis beeinflusst.

Historisch gesehen sind die Indices für Abweichungen vom Sollgewicht nach Broca (Broca-Index) und Quetelet (heute: BMI = body mass index) die ältesten Schätzwerte aus einfach zu messenden anthropometrischen Variablen. Sie sind auch heute noch weit verbreitet., geben jedoch über die eigentliche Körperzusammensetzung aus den Kompartimenten Fett und FFM keine Auskunft.

Ihre Fehlerbreite im statistischen Mittel ist tolerabel, individuell können Fehleinschätzungen bis zu 20%-Punkten vorkommen.

In USA weit verbreitet sind Sollwerte des Körpergewichts in Abhängigkeit von der Körperlänge für drei Gruppen des Knochenbaus (body frame). Sie sind aus Krankendaten und der Lebenserwartung abgeleitet worden und so ebenfalls nur ein grobes Raster [Metropolitan Life Insurance Company 1959 und 1983]. Ihre Aussagegenauigkeit für das Individuum entspricht der der anthropometrischen Indices.

Anthropometrische Indices

BROCA: $BI = \frac{KG}{(KL-100)} * 100$,

Normalwerte 90-110

QUETELET: $BMI = \frac{KG}{(KL/100)^2}$

- Normalwerte 20-25,
- >27 = übergewichtig, >30 = adipös,
- < 18 unterernährt / magersüchtig.

KG = Körpergewicht [kg], KL = Körperlänge [cm]

WHR = waist to hip ratio

Sollwert $<1,0$ für Männer und Frauen

= Bauch- dividiert durch Hüftumfang

Pathognomonische Bedeutung scheint ein Quotient zu haben, der leicht bestimmbar ist. Sobald das Verhältnis von Bauch- zu Hüftumfang (WHR = waist to hip ratio) $> 1,0$ ist, steigt wegen der pathophysiologischen Bedeutung des intraabdominalen Fetts das Risiko für das Ent- oder Bestehen einer koronaren Herzkrankheit oder eines metabolischen Syndroms.

Kompartimentmethoden

In den Methoden der zweiten Gruppe wird der menschliche Körper als Zwei-Kompartiment-Modell betrachtet: Ein Teil ist Fett und ein Teil die fettfreie Substanz mit Haut, Muskeln, Blut, Leber, Gehirn, Niere, Herz etc. Beim Drei-Kompartiment-Modell (Fogelholm et al. 1996) werden die Knochen getrennt betrachtet. Wenn die spezifischen Gewichte von Fett ($0,9 \text{ gcm}^{-3}$) und FFM (im Mittel $1,1 \text{ gcm}^{-3}$) bekannt sind, kann auf die relativen Anteile nach dem Archimedes Prinzip zurückgerechnet werden. [Behnke et al. 1942, Brozek, Mendez and Keys 1960, Morales et al. 1945, Siri 1956, Wang and Deurenberg 1996]. Die Vier-Kompartiment-Methode kombiniert die unten beschriebenen Methoden Deuteriumverdünnung, DEXA und Unterwasserwägung und erreicht damit eine größere Genauigkeit, wenn Mittelwert, Standardabweichung und Conbachs a betrachtet werden [Friedl et al. 1992].

Zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes durch Wiegen unter Wasser, was heute noch als "Goldstandard" anerkannt ist, muß das in der Lunge bei maximaler Ausatmung verbleibende Volumen (Residualvolumen) durch Gasverdünnung (O_2 oder Helium) berechnet werden. Dadurch ist die Methode sehr aufwendig und auch nur einsetzbar bei Menschen, die bereit sind, vollständig unter Wasser zu tauchen. Als Alternative bietet sich der Erfahrungswert an, daß das Residualvolumen $1/3$ der Vitalkapazität beträgt.

Um aus dem spezifischen Gewicht auf den Körperfettanteil zurückzurechnen, haben sich zwei Formeln in der Literatur etabliert [Brozek and Henschel 1961, Brozek et al. 1963, Siri 1956]:

Fettgehalt über spezifisches Gewicht

Brozek et al. (1961, 1963) $rF = (4,570/D) - 4,142$

Siri (1956) $rF = (4,950/D) - 4,50$

rF = relativer Fettgehalt [%], D = spezifisches Gewicht des Körpers

Die beiden Formeln ergeben Werte mit einem maximalen Unterschied von 5% im Bereich von 10-48 % Fett, wobei die Werte nach Siri im Bereich über 16,7% Fett höher ausfallen. Der Methode selbst wird eine Genauigkeit von 2 % Körperfett zugestanden.

Als Fehler gehen in diese Methode die luftgefüllten Räume des Körpers ein. Den Gasinhalt des Magen-Darm-Traktes (MDT) kann man nicht bestimmen. Er wird mit 50-300 ml angenommen. Mit dem

Alter nehmen die Mineraleichte der Knochen wie auch das Körperwasser ab und damit das spezifische Gewicht der FFM. Bei Sportlern ist das spezifische Gewicht der FFM wegen der größeren Knochendichte höher. Der Hydratationszustand des Körpers, der als FFM gemessen wird, kann sehr stark schwanken und ist wohl neben den Gasen im MDT die größte Fehlermöglichkeit. [Fogelholm et al. 1996, Mendez and Keys 1960, Morales et al. 1945).

Ein Kompromiß zwischen Messung mit geringem zeitlichen Aufwand und denen mit wissenschaftlicher Exaktheit waren die Ende der 60er Jahre von Durnin and Womersley 1974, und Wilmore and Behnke 1969 u. 1970 entwickelten Methoden der Hautfaltenmessung, die später validiert und/oder erweitert wurden (Fogelholm et al. 1996, Harrison et al. 1991, Jackson et al. 1980, Pollock et al. 1980). Sie gehen von dem Befund aus, daß die Masse des Körperfetts subcutan liegt und daß durch Messung der Hautfaltendicke bei etwa konstanter Dicke der Cutis die doppelte Fettschichtdicke gemessen wird. Nach Behnke et al. 1942, Borkan 1982 und Martin et al. 1985 wird an sieben, nach Harrison et al. 1991 an fünf, nach Durnin and Womersley 1974 an vier und nach Jackson et al. 1980 und Pollock et al. 1980 an drei typischen Stellen die Hautfaltendicke bestimmt. Nach Vergleich mit der hydrodensitometrischen Methode kann aus der Summe der Hautfalten auf den relativen Fettgehalt in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht geschlossen werden. Aus den ursprünglichen Tabellenwerten wurden später Formeln entwickelt, die auch das Alter und das Geschlecht berücksichtigen [Berres et al. 1980]. Die Methode hat bei korrekter Anwendung einen Fehler von etwa 5 %.

Fettgehalt über Hautfaltenmessung

$$rF = ((4,95 \cdot ((1,1572 - 0,0647 \cdot \text{Log}(\text{Summe Hautfalten}))^{-1} - (0,00038 \cdot (\text{Alter}))) - 4,5) \cdot 100) \text{ (Männer)}$$

$$rF = ((4,95 \cdot ((1,1739 - 0,06227 \cdot \text{Log}(\text{Summe Hautfalten}))^{-1} - (0,000555 \cdot (\text{Alter}))) - 4,5) \cdot 100) \text{ (Frauen)}$$

Methode nach Durnin and Womersley 1974, Formel nach Berres et al. 1980

$$r = 1,0994921 - 0,0009929(S HF) + 0,0000023(S HF)^2 - 0,0000714 \text{ Alter} \text{ (Jackson et al.)}$$

$$r = 1,1549 - 0,00678 \text{Log}(S HF) \text{ (Frauen nach Durnin and Womersley 1974)}$$

rF = relativer Fettgehalt [%], r = spezifisches Gewicht

Die Messung der Hautfaltendicke kann von Untersucher zu Untersucher schwanken und ist u.a. auch abhängig ist von dem Zeitpunkt, zu dem nach Loslassen des Calipers abgelesen wird und der Kraft, mit der das Caliper die Hautfalte zusammendrückt. Deshalb wurde nach anderen Methoden gesucht und dabei Formeln entwickelt, bei denen die Umfänge an verschiedenen Körperstellen (Hals, Brust, Bauch, Hüfte, Bein) benutzt wurden, um mit verschiedenen Konstanten dem mit der Unterwasserwägung bestimmten Körperfettanteil nahe zu kommen [Cole 1991, Hammer et al. 1991, Hodgdon and Beckett 1984, Norris 1985, Ross et al. 1988, Wright and Wilmore 1974].

Eine unzulässige Extrapolation der Hautfaltenmethode benutzt die Infrarotreflektionsspektrometrie (NIR = near infra red reflexion spectrometry), um von einer ausgewählten Hautstelle über dem M. biceps brachii auf den Fettgehalt des Körpers zu schließen. Auch wenn die Messung der Fettschicht mit der NIR gleich gut oder sogar genauer ist, als mit dem Caliper, ist die Extrapolation von einem auf die sonst üblichen 4 oder 7 Werte unzulässig.

In jüngster Zeit ist, ausgehend von Lukaski, eine neue Methode eingeführt worden, die bei einer einfachen Handhabung hohe wissenschaftliche Genauigkeit verspricht: die biologische Impedanzanalyse (BIA). Die physikalische Hypothese geht davon aus, daß der Wechselstromwiderstand des Körpers mit dem Körperwassergehalt abnimmt und mit dem Körperfettgehalt zunimmt, so daß man aus dem Wechselstromwiderstand auf den Körperwasser- und Körperfettgehalt schließen kann. Die Methode hat bei Messwiederholungen an mehreren Tagen eine Reproduzierbarkeit von >95%. Eine Vielzahl von Gruppen hat versucht, sie zu validieren. Die Studien resultieren aber in sehr unterschiedlichen Formeln der Umrechnung von Widerstandswerten auf Körperfettgehalt, so daß der Einsatz der verschiedenen Formeln in eine Meßserie zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen führt. Als Beweis der Genauigkeit der Übereinstimmung von Bioimpedanzmethode mit hydrodesitometrischer werden in den meisten Studien die

Korrelationskoeffizienten herangezogen, die aber zu einer solchen Aussage untauglich sind. Speziell wenn man ein Einzelindividuum betrachtet, können die Ergebnisse, die mit den verschiedenen Formeln erzielt werden, sehr stark voneinander abweichen [Fogelholm et al. 1996, v. Restorff et al. 1995, Wang and Deurenberg 1996]. Zusammenfassend kann von dieser Methode festgehalten werden, daß sie für größere statistische Kollektive wohl annähernd richtige Werte liefert, für die Einzelfallanalyse aber jedoch zu ungenau ist.

Fettgehalt über Bioimpedanzanalyse

$$\text{FFM} = 786 \cdot \text{KL}^2 \text{Res}^{-1} + 2,7 \text{ [Deurenberg et al. 1989a]}$$

$$\text{FFM} = 652 \cdot \text{KL}^2 \text{Res}^{-1} + 10,9 + 3,8 \cdot \text{S} \text{ [Deurenberg et al. 1989b]}$$

$$\text{FFM} = 850 \cdot \text{KL}^2 \text{Res}^{-1} + 3,04 \text{ [Lukaski et al 1985]}$$

$$\text{FFM} = 0,305 \cdot \text{KG} + 13,2 \cdot \text{KL}^2 - 0,0439 \cdot \text{Res} - 0,168 \cdot \text{Alter} + 22,67 \text{ (für Männer) [Segal et al. 1988]}$$

$$\text{FFM} = 0,232 \cdot \text{KG} + 10,8 \cdot \text{KL}^2 - 0,0209 \cdot \text{Res} - 0,068 \cdot \text{Alter} + 14,59 \text{ (für Frauen) [Segal et al. 1988]}$$

Methode: Bioimpedanzanalyse Gerät Akern/RJL, Florenz, Italien,

FFM = fettfreie Körpermasse [kg], KG = Körpergewicht [kg], KL = Körperlänge [m],

Res = Resistanzwert des BIA-Gerätes [W],

S = Geschlecht (Mann =1, Frau = 0)

Neuere Geräte, die diese Methode erweitern und nicht mehr bei einer, sondern bei vier oder mehr, teilweise variabel einstellbaren Frequenzen messen, versprechen genauere Ergebnisse. Eine erste Validierung, die Ellis und Wong beschrieben haben, bestätigen die Vermutung durch Analyse von 551 Kindern, Männern und Frauen im Alter von 3-33 Jahren.

Die BIA-Methode mit Elektroden für Stromein- und Stromausleitung am rechten Hand- und Fußgelenk hat zudem den großen Nachteil, daß die Probanden etwa 2 Stunden vorher nichts gegessen und etwa 30 min vorher die Blase entleert haben sollten. Dann sollen sie mindestens 30 Minuten in absoluter körperlicher Ruhe liegen, bevor eine zuverlässige Messung gemacht werden kann. Sportliche Aktivität und auch Aderlaß verfälschen das Ergebnis in nicht vorhersagbarer Weise.

Eine neue Variante der BIA nutzt den Wechselstromwiderstand vom rechten zum linken Fuß. Hier ergeben sich ähnlich wie bei der Messung vom Hand- zum Fußgelenk sehr große interindividuelle Streuungen zu den Werten, die mit der Calipermethode gemessen worden sind; eine Abhängigkeit des Meßwertes von körperlicher Aktivität scheint ebenfalls vorzuliegen.

Wie bei anderen Kompartimenten (Blutvolumen, Extrazellulärraum) auch, kann der Körperfettgehalt ebenfalls mit der Indikatorverdünnungsmethode bestimmt werden: Zur Bestimmung des Körperwassers, das sich nur im FFM befindet, können Deuterium und Tritium benutzt werden. Letzteres verbietet sich bei Frauen im gebärfähigen Alter, bei Kindern und bei repetitiven Messungen, während neue Analysetechniken den Einsatz von Deuterium erleichtert haben. Der Zeitbedarf für die Verteilung des Indikators beträgt ca. 2-3 Stunden [AbuKhaled et al. 1987, Lukaski 1987].

Da Kalium nicht im Fettgewebe und sonst fast ausschließlich intrazellulär vorkommt, kann sein Verteilungsraum mit K^{40} oder seine Konzentration bestimmt und daraus der Fettgehalt berechnet werden [Boling et al. 1962 und Forbes and Hursch 1963].

Fettgehalt über Indikatorverdünnung:

Gesamtkörperwasser =	73,2 % der FFM
Gesamtkalium =	2,28-2,31 g/kg FFM bei der Frau und 2,46-2,50 g/kg FFM beim Mann

Eine ganz andere Methode, die zunächst geeignet erschien, sich als Goldstandard zu etablieren, ist die DEXA-Methode (dual x-ray energy absorptiometry), die die Röntgenspektrofotometrie bei zwei Energiewerten nutzt, um die Anteile von Fett, Knochen und anderen Geweben zu erfassen [Lukaski 1993, Mazess et al. 1990 und Peppler and Mazess 1981]. Die Methode ist zeitlich sehr aufwendig, die Ergebnisse bestätigen prinzipiell die methodischen Ansätze von Siri (1956) und Brozek et al. (1961, 1963). Ihre Verbreitung und ihr Einsatz bei Reihenuntersuchungen scheitern aber an dem methodischen Aufwand. Sie zeigt aber auch im Vergleich zu bewährten Methoden große systematische Abweichungen [Fogelholm et al. 1996]

Literatur

1. AbuKhaled, M., H. C. Lukaski, Ch. L. Watkins. 1987. Determination of total body water by deuterium NMR. *Am. J. Clin. Nutr.* 45: 1-6
2. Behnke, A. R., B. G. Feen, and W. C. Welham. 1942. Specific gravity of healthy man. *J. Am. Med. Assoc.* 118: 495-498.
3. Berres und Ulmer Fettformel
4. Boling C. A., W. Taylor, C. Entemor, A. R. Behnke. 1962. Total exchangeable potassium and chloride and total body water in healthy men of varying fat content. *J. Clin. Invest.* 31: 1840-1849.
5. Borkan, O. A., D. E. Hulth, J. Cardarelli, and B. A. Burrows. 1982b. Comparison of ultrasound and skinfold measurements in assessment of subcutaneous and total fatness. *Am. J. Phys. Anthropol.* 58: 307-313.
6. Brozek, J., F. Grande, J. T. Anderson and A. Keys. 1963. Densitometric analysis of body composition: revision of some quantitative assumptions. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 110: 113-140.
7. Brozek, J. and A. Henschel eds. 1961. *Proceedings of a Conference: Techniques for Measuring Body composition.* Washington, D.C.: National Acad. Sci.
8. Brozek, J., and Kinzey W. 1960. Age changes in skinfold compressibility. *J. Gerontol.* 15: 45-51.
9. Chumlea, W. C., A. R. Roche, P. Webb. 1984. Body size, subcutaneous fatness and total body fat in older adults. *Int. J. Obes.* 8: 311-317.
10. Clegg, E. J. and C. Kent. 1967. Skinfold compressibility in young adults. *Hum. Biol.* 39: 418-429.
11. Cole, T.J.: (1991) Weight-Stature Indices to Measure, Underweight, Overweight, and Obesity. In In: J. Himes (Ed.) *Anthropometric Assessment of Nutritional Status* (Hrsg.), Wiley-Liss, Inc., New York. pp. 83-111
12. Deurenberg, P., H. E. Smit, and C. S. L. Kusters. 1989a. Is the bioelectrical impedance method suitable for epidemiological field studies? *Eur. J. Clin. Nutr.* 43: 647-654.
13. Deurenberg, P., J. A. Weststrate, and K. van der Kooy. 1989b. Body composition changes assessed by bioelectrical impedance measurements. *Am. J. Clin. Nutr.* 49: 401-403.
14. Durnin, J. V. O. A. and J. Womersley. 1974. Body fat assessed from total body density from skinfold thickness: Measurements on 481 men and women aged 16 to 72 years. *Br. J. Nutr.* 32: 77-97.
15. Ellis, K. J and W. W. Wong. 1998. Human hydrometry: comparison of multifrequency bioelectrical impedance with $^2\text{H}_2\text{O}$ and bromide dilution. *J. Appl. Physiol.* 85: 1056-1062.
16. Fogelholm, G. M., T. K. Kukkonen-Harjula, H. T. Sievänen, P. Oja and I. M. Vuori. 1996. Body composition assessment in lean and normal-weight young women. *Brit. J. Nutr.* 75: 793-802
17. Forbes, O. B., and J. B. Hirsch. 1963. Age and sex trends in LBM calculated from K^{40} measurements: With a note on the theoretical basis for the procedure. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 110: 255-263.
18. Garn, S. M. 1985. Continuities and changes in fatness from infancy through adulthood. *Curr. Probl. Pediatr.* 15: 1-47.
19. Goldman R. F. and E. R. Buskirk. 1961. Body volume measurement by under-water weighing: description of a method. In: J. Brozek and A. Henschel, eds. *Techniques for measuring body composition.* Washington, DC. Nat. Acad. Sci – Nat. Res. Council. pp. 78-89.
20. Hammer, L.D., D. M. Wilson, I.F. Litt, J.D. Killen, Ch. Hayward, B. Miner, C. Vosti, C. B. Taylor. 1991. Impact of pubertal development on body fat distribution among white, hispanic, and asian female adolescents. *J. Pediatr.*, 118, 975-980.
21. Himes, J. H., A. F. Roche, and R. M. Siervogel. 1979. Compressibility of skinfolds and the measurement of subcutaneous fatness. *Am. J. Clin. Nutr.* 32: 1734-1740.
22. Hodgdon, J. A. and M. B. Beckett. 1984. Prediction of percent body fat for U.S. navy women from body circumferences and height. In *NAVAL HEALTH RESEARCH CENTER* (Hrsg.), San Diego, California, USA. Report No 84-29.

23. Jackson, A.S., M.L.Pollock, A. Ward. 1980. Generalized equations for predicting body density of women. *Med. Sci. Sports Exerc.* 12: 175-182
24. Jones, P. R. M., H. Bharadwaj, M. E. Bhatia, and M. S. Malhotra. 1976. Differences between ethnic groups in the relationship of skinfold thickness to body density. pp. 373-376. In: *Selected Topics in Environmental Biology*. B. Bhatia, G. S. Chhina, and B. Singh, eds. New Delhi: Interprint Publications.
25. Keys, A. and J. Brozek. 1953. Body fat in adult men. *Physiol. Rev.* 33: 245-325.
26. Lohman, T. G. 1981. Skinfolds and body density and their relation to body fatness: A review. *Hum. Biol.* 53: 181-225.
27. Lohman, T. G. 1986. Applicability of body composition techniques and constants for children and youths. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 14: 325-357.
28. Lukaski, H. C. 1987. Methods for the assessment of human body composition: Traditional and new. *Am. J. Clin. Nutr.* 46: 537-556.
29. Lukaski, H. C. 1993. Soft tissue composition and bone mineral status: evaluation of dual-energy X-ray absorptiometry. *J. Nutr.* 123: 438-443.
30. Lukaski, H. C., Ph. E. Johnson, W. W. Bolonchuk, and I. G. Lykken. 1985. Assessment of fat-free mass using bioelectrical impedance measurements of the human body. *Am. J. Clin. Nutr.* 41: 810-817.
31. Malina, R. M., B. B. Little, M. P. Stern, S. P. Gaskell, and H. P. Hazuda. 1983. Ethnic and social class differences in selected anthropometric characteristics of Mexican American and Anglo adults: The San Antonio heart study. *Hum. Biol.* 55: 867-883.
32. Martin, A. D., W. D. Ross, D. T. Drinkwater, and J. P. Clarys. 1985. Prediction of body fat by skinfold caliper: Assumptions and cadaver evidence. *Int. J. Obes.* 9:(suppl.) 31-39.
33. Mazess, R. B., H. S. Barden, J. P. Bisek, and J. Hanson. 1990. Dual-energy x-ray absorptiometry for total-body and regional bone-mineral and soft-tissue composition. *Am. J. Clin. Nutr.* 51: 1106-1112.
34. Mendez, J., and A. Keys. 1960. Density and composition of mammalian muscle. *Metabolism* 9: 184-188.
35. Metropolitan Life Insurance Company. 1959. New weight standards for men and women. *Stat. Bull.* 40: 1-4.
36. Metropolitan Life Insurance Company. 1983. 1983 Metropolitan height and weight tables. *Stat. Bull.* 64: 2-9.
37. Morales, M. F., E. N. Rathburn, R. E. Smith, and N. Oace. 1945. Studies on body composition. II. Theoretical considerations regarding the major body tissue components with suggestions for application to man. *J. Biol. Chem.* 156: 677-684.
38. Norris K. H. 1985. Reflectance spectroscopy. In: K.K. Stewart, J.R. Whitaker eds. *Modern methods of food analysis*. Westport CT, USA: AVI Publishing Corp. pp. 167-186.
39. Pepller, W. W., and R. B. Mazess. 1981. Total body mineral and lean body mass by dual-photon absorptiometry. 1. Theory and measurement procedure. *Calcif. Tissue Int.* 33: 353-359.
40. Pollock, M., D. Schmidt and A. Jackson. 1980. Measurement of cardio-respiratory fitness and body composition in a clinical setting. *Comprehens. Therap.* 6: 27-36.
41. v. Restorff, W., K.-H. Bach, W. Klops, S. Zickgraf und D. Arhlinger. 1995. Bestimmung des Ernährungszustandes mit der Impedanzmethode. *Wehrmed. Mschr.* 39: 6-15.
42. Roche, A. F. 1987. Some aspects of the criterion methods for the measurement of body composition. *Hum. Biol.* 59: 209-220.
43. Ross, W. D., S. M. Crawford, D. A. Kerr, R. Ward, D. A. Bailey, R. M. Mirwald. 1988. Relationship of the body mass index with skinfolds, girths, and bone breadths in canadian men and women aged 20-70 years. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 77, 169-173.
44. Segal, K. R., M. van Loan, P. I. Fitzgerald, J. A. Hodgdon, and Th. B. van Itallie. 1988. Lean body mass estimation by bioelectrical impedance analysis: a four-site cross-validation study. *Am. J. Clin. Nutr.* 47: 7-14.
45. Siri, W. B. 1956. The gross composition of the body. In: *Advances in Biological and Medical Physics*. C.A. Tobias and J.H. Lawrence eds. Vol. 4, pp. 239-280, Academic Press New York, NY, USA
46. Wang, J. and P. Deurenberg. 1996. The validity of predicted body composition in Chinese adults from anthropometry and bioelectrical impedance in comparison with densitometry. *Brit. J. Nutr.* 76: 175-182
47. Wilmore, J. H., and A. R. Behnke. 1969. An anthropometric estimation of body density and lean body weight in young men. *J. Appl. Physiol.* 27: 25-31.
48. Wilmore, J. H., and A. R. Behnke. 1970. An anthropometric estimation of body density and lean body weight in young women. *Am. J. Clin. Nutr.* 23: 267-274.
49. Womersley, J., J. V. G. A. Durmin, K. Boddy, M. Mahaffy. 1976. Influence of muscular development, obesity, and age on the fat-free mass of adults. *J. Appl. Physiol.* 41: 223-229.
50. Wright, H.F., H. Wilmore. 1974. Estimation of relative body fat and lean body weight in a united states marine corps population. *Aerospace Med.* 45: 301-306.