Das BIA-Kompendium

III. Ausgabe

- Biophysikalische Grundlagen
- Körperzusammensetzung
- Ernährungszustand
- Klinische Anwendungsbereiche
- Fallbeispiele

Data Input
Body Composition

Liste der Abkürzungen:

A	Querschnitt eines Zylinders
BCM	Body Cell Mass, Körperzellmasse
BF	Body Fat, Körperfett
BIA	Bioelektrische Impedanz Analyse
BMI	Body Mass Index
ECM	Extra Cellular Mass, Extrazelluläre Masse
ECW	Extra Cellular Water, Extrazelluläres Wasser
FFM	Fat-Free Mass, Fettfreie Masse
Ht	Height, Körpergröße
ICW	Intra Cellular Water, Intrazelluläres Wasser
kHz	Kilo Hertz
L	Länge Körperhöhe (in cm oder m)
LBM	Lean Body Mass, Magermasse
R	Resistance (Wasserwiderstand in Ohm)
SEE	Standard Error of the Estimate
TBW	Total Body Water, Ganzkörperwasser
V	Volumen (in Kubikzentimetern)
Xc	Reactance (Zellwiderstand in Ohm)
Z	Impedanz (Gesamtwiderstand in Ohm)

Herausgeber: Data Input GmbH
Copyright: 2005 Data-Input GmbH
Druck: Digitaldruck Darmstadt GmbH & Co. KG
Titel: Das B.I.A.-Kompendium 3. Ausgabe

Das B.I.A.-Kompendium
Data Input GmbH
Landwehrstr. 54
64293 Darmstadt
Tel.: 0 61 51-1 36 13-0
Fax: 0 61 51-1 36 13-10

A. Einleitung

B. Körperkompartimente und Untersuchungsmethoden zur Bestimmung der Körperzusammensetzung

1. Ein-Kompartiment-Messung ... 2
2. Zwei-Kompartiment-Messung ... 2
3. Drei-Kompartiment-Messung ... 3
4. Weitere Untersuchungsmethoden ... 4

C. Physikalische Grundlagen der B.I.A. ... 5

D. Die Messparameter der Impedanzanalyse

1. Impedanz ... 6
2. Phasenwinkel ... 6
3. Multifrequenzmessungen ... 8

E. Die Ergebnisparameter der Impedanzanalyse

1. Resistance ... 9
2. Reactance ... 9

F. Die errechneten Grössen der Impedanzanalyse

1. Total Body Water TBW (Gesamtkörperwasser) ... 10
2. Lean Body Mass LBM (Magermasse) ... 11
3. Body Cell Mass BCM (Körperzellmasse) ... 12
4. Extra Cellular Mass ECM (Extrazelluläre Masse) ... 13
5. ECM/BCM-Index ... 14
6. Body Fat BF (Körperfett) ... 15
7. Zellanteil (%) ... 15

G. Fallbeispiele ... 16

H. Der BIA-Vektorgraph ... 26

I. NutriPlus - Software zur Analyse von Körperzusammensetzung und Ernährungszustand

1. Individuelle Vergleichswerte ... 32
2. Auswertung von Kindern und Jugendlichen ... 36
3. Der Z-Score-Vektorgraph ... 41
4. Gewichtsunabhängige BIA-Auswertung ... 42
5. Optimierung der Fettbestimmung (korrigiertes Fett) ... 43

J. Messtechnik

1. Durchführung der Messung ... 44
2. Fehlerquellen und Trouble Shooting ... 47

K. Klinische Anwendungsgebiete der Impedanzanalyse

1. Gastroenterologie ... 49
2. HIV-Infektion ... 50
3. Endokrinologie ... 50
4. Adipositas ... 51
5. Pädiatrie ... 52
6. Nephrologie ... 53
7. Onkologie ... 54

L. Literaturverzeichnis ... 55

M. Interessante Links ... 60

Luigi Aloisius Galvani 1737-1798

A. Einleitung - die Entwicklung der Bioelektrischen Impedanz Analyse

Die Geschichte der Bioelektrischen Impedanz Analyse begann im Grunde bereits 1786, als der italienische Physiker Galvani den Einfluss elektrischen Stroms auf Gewebsstrukturen des Frosches beobachtete. Konkrete Formen nahmen die Experimente jedoch erst in den 60-er Jahren dieses Jahrhunderts an. Der französische Arzt Thomasset war davon überzeugt, dass der elektrische Widerstand den Flüssigkeitsgehalt des menschlichen Körpers widerspiegelt. Er und seine Kollegen entwickelten 1962 einen der ersten Impedanzanalysatoren für Messungen an biologischen Geweben.

Den Grundstein für die heute bekannte Form der Impedanzanalyse legte schließlich der amerikanische Forscher Nyboer um 1970. Ihm gelang es nachzuweisen, dass Impedanzwerte in der Tat Rückschlüsse auf unsere Körperzusammensetzung zulassen.

Ihre endgültige Bezeichnung erhielt die Bioelektrische Impedanz Analyse in den 80er Jahren. Im Laufe der Jahre setzte sie sich gegen eine Vielzahl ähnlicher Diagnoseformen durch und gilt heute als international anerkannte Methode in unterschiedlichsten Bereichen der Ernährungsmedizin oder Anthropologie.

Einfach, zuverlässig und kostengünstig ist die Impedanzanalyse eine Methode unserer Zeit. Sie bietet den Anwendern die Möglichkeit differenzierter Diagnostik und damit die Grundlage gezielter, langfristiger Therapieansätze. Ein immer vielfältigeres Spektrum an Geräten und Software für spezifische Einsatzbereiche gewährleistet Präzision und Sicherheit. Heute wie in Zukunft. Denn Innovation und Fortschritt gehen weiter ...

B. Körperkompartimente und Untersuchungsmethoden zur Bestimmung der Körperzusammensetzung

Die Bestimmung der Körperzusammensetzung ist mit verschiedenen physikalischen und chemischen Untersuchungsmethoden möglich. Die Messgrundlagen und Ergebnisgrößen der wichtigsten Methoden werden im folgenden Kapitel zusammengefaßt.

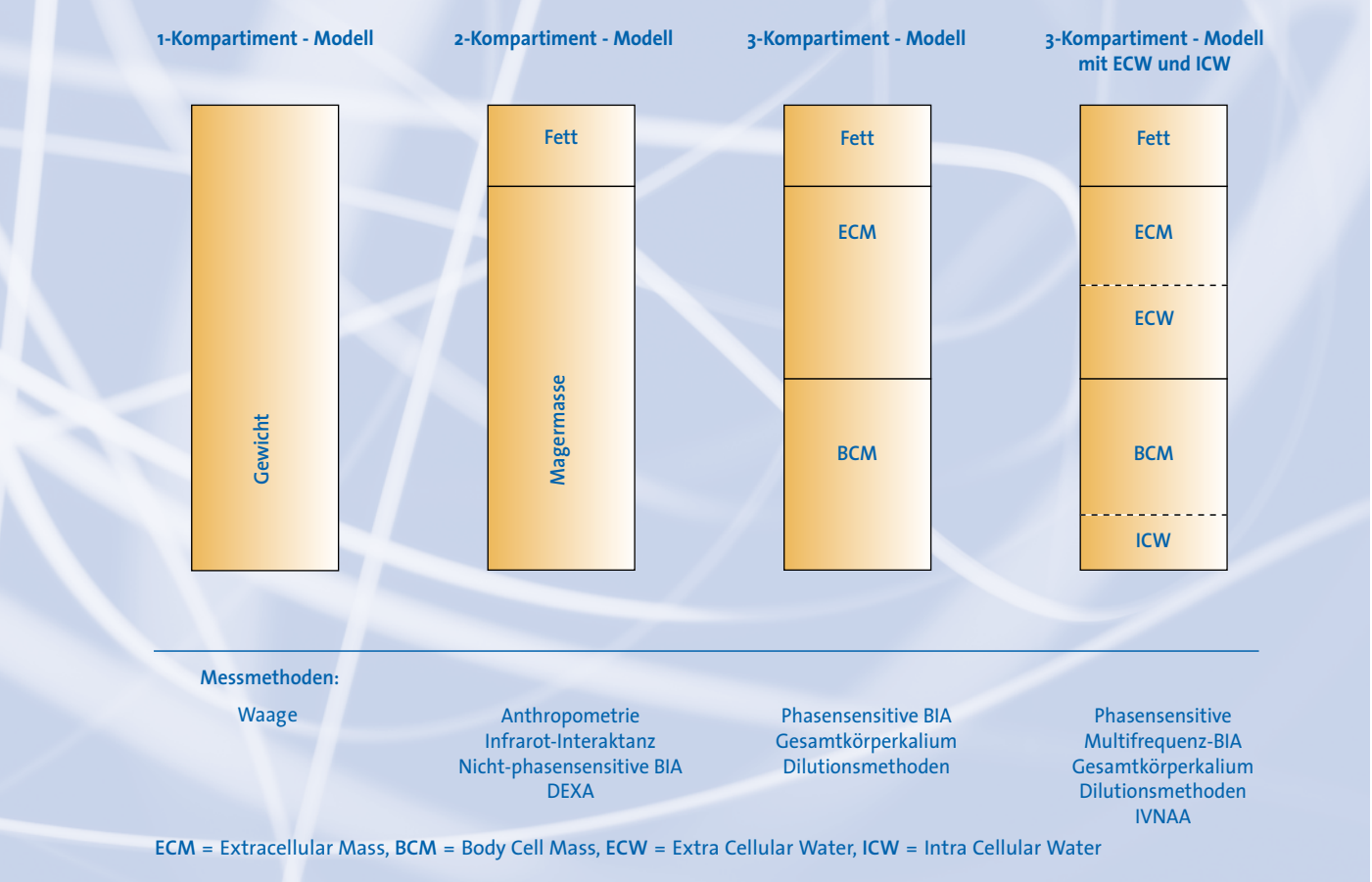


Abb. B1 Schematische Darstellung der Kompartimentmodelle

1. Ein-Kompartiment-Messung

Das Einkompartiment-Modell als gröbster Parameter entspricht der Gewichtsmessung des Körpers. Man erhält einen genau bestimmbaren, sehr wichtigen Messwert, kann aber bei Änderungen des Gewichts keine Aussagen über die Ursache (Wasser-/Fettveränderung?) treffen.

2. Zwei-Kompartiment-Messung

Dabei wird der Körper unterteilt in Fett und fettfreie Masse. Diese Einteilung ist historisch auf die Unterwasserwägung (Densitometrie) zurückzuführen. Die Dichte von reinem Fett (Total Body Fat TBF) beträgt 0,9 g/cm³, bei der fettfreien Masse (Fat Free Mass FFM) liegt der Dichtewert bei 1,1 g/cm³. Die Densitometrie eignet sich wegen des technischen Aufwandes vorwiegend für Forschungszwecke.

Abb. B2 Densitometer der Universität Ulm

Ähnliche, aber nicht identische Methoden zur Zwei-Kompartiment-Messung sind die Anthropometrie, die Infrarot-Interaktanz und die nicht-phasensensitive BIA-Messung:

a. Anthropometrie

Mit Hilfe eines Caliper werden Hautfaltendicken über definierten Körperstellen bestimmt (meist an Bizeps und Trizeps sowie subscapulär und suprailiakal). Aus der Dicke der Hautfalten wird auf das Körperfett rückgeschlossen.

b. Infrarot-Interaktanz

Diese Methode nutzt ungefährliches Infrarot-Licht, um mit einer Nah-Infrarot-Sonde auf dem Bizeps des dominanten Arms den prozentualen Gesamt-Körperfettanteil zu messen.

Abb. B3 Infrarot-Interaktanz-Messung (Fa. Futrex)

c. Nicht-phasensensitive BIA-Messung

Dabei wird der Gesamtwiderstand (Impedanz Z) des Körpers gemessen. Über die Berechnung des Körperwassers erhält man die Kompartimente Körperfett und Magermasse. Die Bestimmung des Phasenwinkels und damit die Unterteilung der Impedanz in Wasser- und Zellwiderstand erfolgt dabei nicht, daher kann man mit der nicht-phasensensitiven BIA keine Aussagen über die Körperzellmasse BCM oder die Extrazelluläre Masse ECM treffen.
Im Gegensatz zur fettfreien Masse FFM der Densitometrie werden bei den drei letztgenannten Methoden die gemessenen Kompartimente als Körperfett (Body Fat BF) und als Magermasse (Lean Body Mass LBM) bezeichnet. Der Unterschied liegt darin, daß die Densitometrie reines Triglyzerid mißt, während im Körperfett 15-18% Wasser und ca. 2% Protein enthalten sind.

3. Drei-Kompartiment-Messung

Das 3-Kompartiment-Modell entsteht durch die Unterteilung der Magermasse in die Körperzellmasse BCM und die Extrazelluläre Masse ECM.
Die BCM ist die Summe aller sauerstoffoxidierenden, stoffwechselaktiven Zellen, also Muskulatur, Innere Organe und ZNS. Zur Extrazellulären Masse ECM gehören der interstitielle und transzelluläre Raum sowie Skelett und Bindegewebe. Massive Verschiebungen zwischen BCM und ECM können ohne Änderungen von Gewicht und Magermasse einhergehen. Bestimmungen im 3-Kompartiment-Modell sind mit folgenden einfachen Methoden möglich:

a. Phasensensitive BIA-Messung

Die phasensensitive Messtechnik ermöglicht die Differenzierung der Impedanz Z in die beiden Bestandteile Resistance R (Wasserwiderstand) und Reactance Xc (Zellwiderstand) und damit die Differenzierung von Körperzellmasse und Extrazellulärer Masse.

Abb. B4 Phasensensitives Monofrequenz-Gerät Typ Nutribox

b. Phasensensitive Multifrequenzmessung

Eine weitere Stufe zur genauen Diagnose von Körperzusammensetzung und Ernährungszustand ist die phasensensitive Multifrequenzanalyse. Dabei wird durch die zusätzliche Widerstandsbestimmung bei niedrigen Frequenzen (1 oder 5 kHz) eine Unterteilung des Ganzkörperwassers TBW in intrazelluläres und extrazelluläres Wasser erreicht. Masseschwankungen von BCM und ECM können so differenzierter hinsichtlich anaboler/kataboler Vorgänge oder Wassershifts beurteilt werden. Indiziert ist die phasensensitive Multifrequenzanalyse besonders bei Patienten mit Störungen des Wasserhaushaltes, z.B. bei Herz- oder Niereninsuffizienz, Ödemen, Patienten mit parenteraler Ernährungstherapie und bei Intensivpatienten.

Abb. B5 Phasensensitives Multifrequenz-Gerät Typ Nutriguard M

4. Weitere Untersuchungsmethoden zur Bestimmung der Körperzusammensetzung

a. Gesamtkörperkalium

Fett ist kaliumfrei und Knochen enthalten nur Spuren von Kalium. Somit befindet sich praktisch das gesamte Körperkalium (98%) in den Zellen der BCM. Das natürliche, radioaktive Isotop K^{40} ist überall, wo Kalium vorkommt, mit einem Anteil von 0,012% vertreten. Durch die Messung des Isotops K^{40} kann man auf das Ganzkörperkalium und dann auf die BCM rückschließen. Die Messung von K^{40} erfolgt in einer Ganzkörper-Zählkammer.

Abb. B6 Kaliumkammer der Universität Texas

b. DEXA (Dual Energy X-ray Absorptiometry)

Die DEXA wird mit einem speziellen Röntgengerät bei sehr niedriger Strahlendosis durchgeführt. Es

Abb. B7 DEXA-Gerät (Fa. Hologic Inc., USA)

werden zwei Photonenstrahlen unterschiedlicher Energiestufen verwandt, daher der Name der Methode. Mittels DEXA können Knochenmasse, Fettmasse und Fettfreie Masse unterschieden werden.

c. Dilutionsmethoden

Die Verdünnungstechniken werden meistens zur Bestimmung des Körperwassers TBW eingesetzt. Als nicht-radioaktiver Tracer wird deuteriertes Wasser eingesetzt; es läßt sich oral oder parenteral zuführen. Ca. 2 Stunden nach Gabe wird die Konzentration des Tracers mittels Gaschromatographie oder Massen-Spektrometrie in Urin und Blut ermittelt und auf das Ganzkörperwasser rückgeschlossen. Die extrazelluläre Flüssigkeit läßt sich selektiv mittels Bromid oder Sulfat ermitteln.

d. IVNAA (In-Vivo-Neutronen-AktivierungsAnalyse)

Sicherlich die teuerste aller Methoden zur Bestimmung der Körperzusammensetzung; sie liefert aber auch die differenziertesten Aussagen. Ein auf den Körper gerichteter Neutronenstrahl induziert die Emission von Gammastrahlen mit charakteristischem Spektrum. So lassen sich einzelne Elemente, wie Ganzkörperkalium oder -calzium bestimmen. Aus der Menge der Elemente kann man das entsprechende Kompartiment berechnen.

Weitere bildgebende Verfahren zur Bestimmung der Körperzusammensetzung sollen hier nur erwähnt werden:

- Nuclear Magnetic Resonance Technik (NMR)
- Computertomographie (CT)
- Magnetresonanztomographie (MRT)
- Photonenabsorptionsmessung

C. Physikalische Grundlagen der B.I.A.

Der elektrische Widerstand Z (Impedanz) eines Zylinders ist abhängig von seiner Länge L und seinem Querschnitt A, gemäß der Formel Z = L/A .

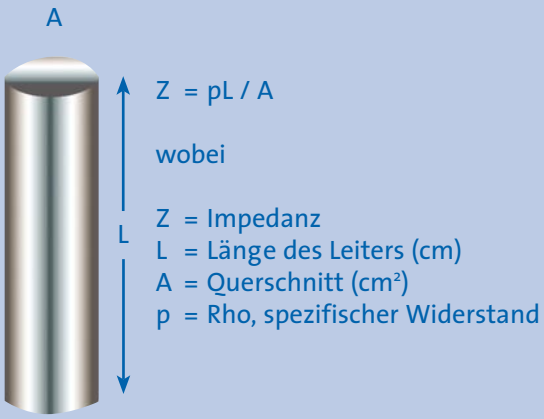


Abb. C1 Der Widerstand eines Zylinders

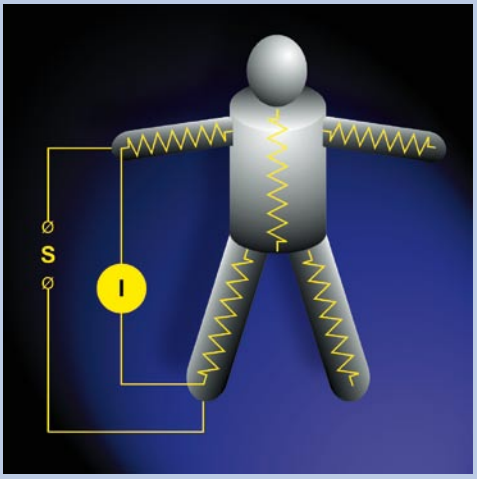


Abb. C2 Das elektrische Schema des menschlichen Körpers

Das Volumen eines Zylinders wird aus der Länge mal Querschnitt berechnet:

V = A x L

Die Formel Z = L / A kann zu A = L / Z umgestellt und in obige Formel eingesetzt werden; dabei entfällt A. Die Formel lautet dann:
V = L² / Z

Der Inhalt des Zylinders lässt sich auf diese Weise ganz einfach aus der Kenntnis von Zylinderlänge und elektrischem Widerstand berechnen.

Der menschliche Körper besteht messtechnisch aus 5 Zylindern (Arme, Torso, Beine), die elektrisch in Serie geschaltet sind.

Auf den Menschen übertragen lautet die Formel daher:

$$\text{Wassergehalt} = \frac{\text{Körperlänge}^2}{\text{Impedanz}} \quad \text{bzw.}$$

$$\text{Total Body Water} = \frac{\text{Height}^2}{\text{Impedance}}, \text{ genauer: Total Body Water} = \frac{\text{Height}^2}{\text{Resistance}}$$

Die Formel $TBW = \frac{Ht^2}{R}$ dient als Berechnungsgrundlage der Impedanzanalyse.

D. Die Messparameter der B.I.A.

1. Impedanz

Bisher wurde nur der Begriff Impedanz Z gebraucht. Die Impedanz ist definiert als Gesamtwiderstand eines biologischen Leiters gegen Wechselstrom. Die Impedanz setzt sich jedoch aus 2 Anteilen zusammen:

1. der **Resistance R,** der reine (ohmsche) Widerstand des elektrolythaltigen Gesamtkörperwassers, und

2. der **Reactance Xc,** der kapazitive Widerstand, der durch die Kondensatoreigenschaften der Körperzellen entsteht.

Die Unterscheidung und Bestimmung dieser beiden Komponenten der Impedanz wird durch die Messung des **Phasenwinkels** ermöglicht.

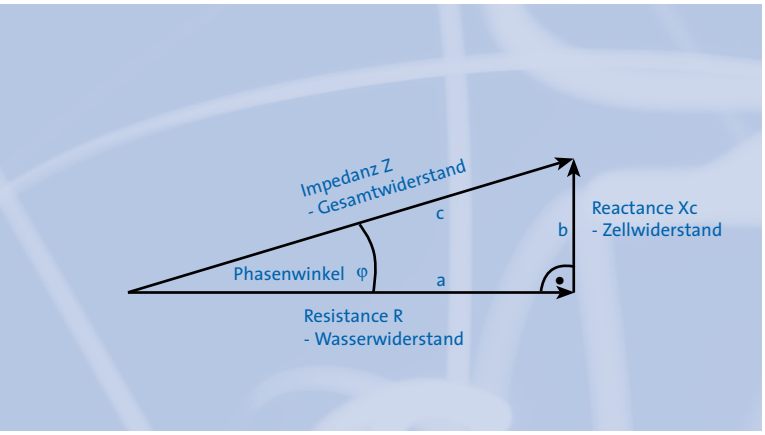


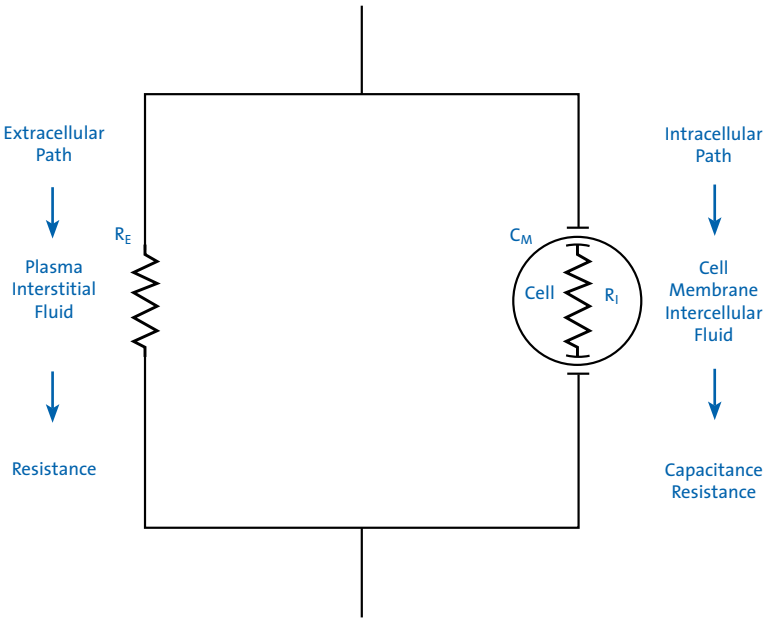
Abb. D1 Die Bestimmung von R und Xc aus Impedanz und Phasenwinkel.

Berechnungsgrundlage: $a^2 + b^2 = c^2$

bzw. $R^2 + Xc^2 = Z^2$

oder $Z = \sqrt{R^2 + Xc^2}$

Die Entwicklung dieser sogenannten phasensensitiven Messung war ein weiterer Meilenstein in der Geschichte der B.I.A., denn nun konnte, zusätzlich zum Körperwasser, auch die Zellmasse BCM des menschlichen Körpers bestimmt werden.



R_E = Extrazelluläre Resistance im interstitiellen Raum
C_M = Kapazitiver Einfluß der Zellmembran
R_I = Intrazelluläre Resistance

Nach Lukaski et al. (1996).

Abb. D2 Der Stromfluß an und in einer Zelle.

2. Phasenwinkel

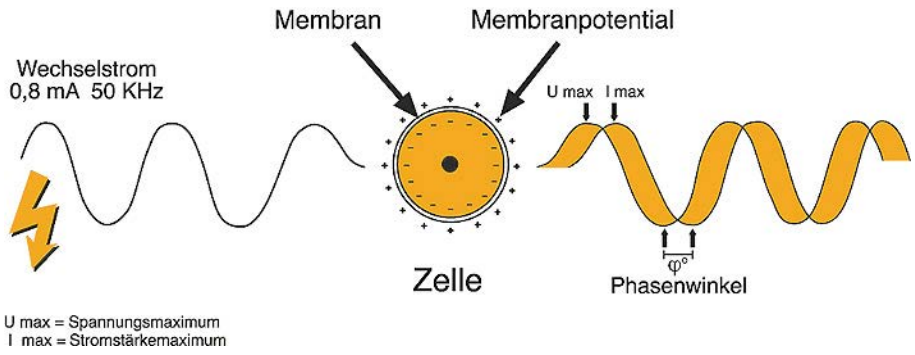
Zur Unterscheidung der beiden Komponenten Resistance und Reactance aus dem gemessenen Gesamtwiderstand verfügen moderne BIA-Geräte über eine phasensensitive Elektronik.
Das Messprinzip beruht darauf, daß durch Kondensatoren im Wechselstromkreis eine Zeitverschiebung Δt entsteht: das Strommaximum eilt dem Spannungsmaximum voraus. Jede stoffwechselaktive Zelle des Körpers besitzt eine Zellmembran, die wie ein Kondensator aufgebaut ist. Diese Membran lässt die Zelle in einem Wechselstromfeld als Kugelkondensator wirken. Da Wechselstrom eine Sinusform hat, wird diese Verschiebung in ° (Grad) gemessen und als Phasenwinkel φ (phi) oder α (alpha) bezeichnet. Bildlich ausgedrückt haben intakte, pralle Zellen mit stabilem

Membranpotential einen hohen Phasenwinkel, während geschädigte, sozusagen „welke“ Zellen einen entsprechend niedrigen Phasenwinkel zeigen. Der Phasenwinkel ist bei einer Frequenz von 50 kHz am höchsten und am aussagekräftigsten. Eine reine Zellmembranmasse hätte einen Phasenwinkel von 90 Grad, reines Elektrolytwasser hat einen Phasenwinkel von 0 Grad. Der Phasenwinkel ist direkt proportional zur Menge der BCM (Body Cell Mass), bzw. zur Gesamtoberfläche und zum elektrischen Potential der darin enthaltenen Membranen.

Im Gegensatz zu den Zellen der Body Cell Mass sind Fettzellen als reine Speicherzellen kaum stoffwechselaktiv, besitzen nur ein minimales Membranpotential und werden bei der phasensensitiven Messung nicht erfaßt.

Der Phasenwinkel ist als direkter Messparameter bzw „Rohwert“ weniger von messtechnischen Problemen oder anderen Fehlerquellen abhängig. Er ist ein generelles Mass für die Zelldichte und die Membranintegrität der Zellen und lässt Aussagen über den Zustand der Zelle und den Gesundheitszustand des Organismus zu.

Intakte Zelle mit hoher Membranintegrität oder hohe Zelldichte – hoher Phasenwinkel



Geschädigte Zelle oder niedrige Zelldichte – niedriger Phasenwinkel

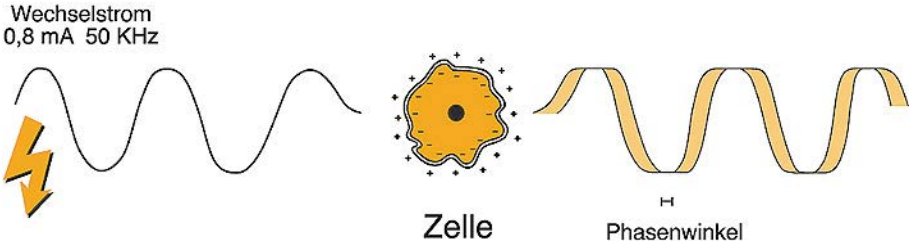


Abb. D3 Die Entstehung des Phasenwinkels an der Zellmembran.

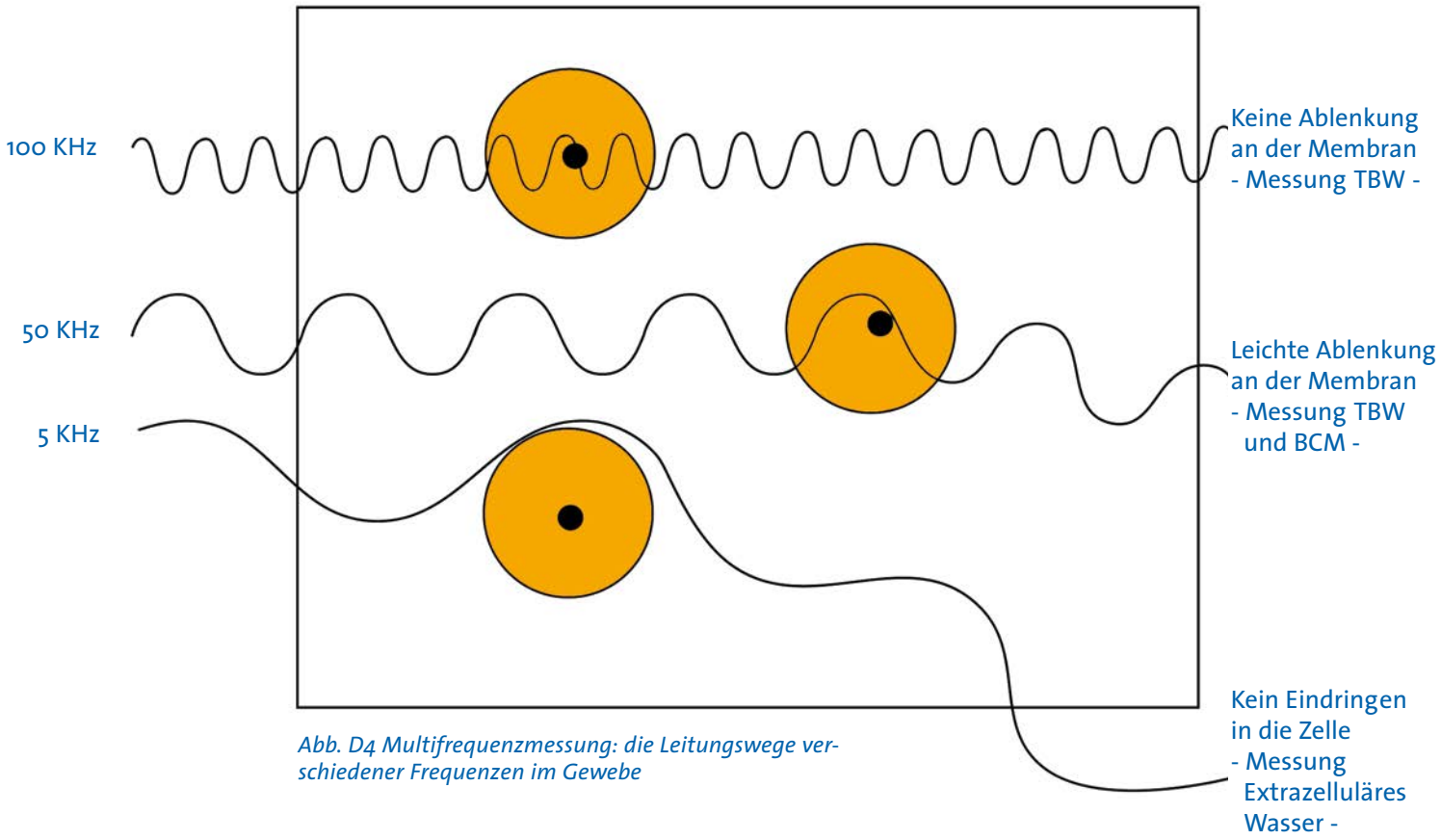


Abb. D4 Multifrequenzmessung: die Leitungswege verschiedener Frequenzen im Gewebe

3. Multifrequenzmessungen

Der Widerstand eines biologischen Leiters ist auch von der verwendeten Frequenz abhängig. Niedrige Frequenzen im Bereich von 1 bis 5 kHz (Kilo Hertz) können kaum die Zellmembranen überwinden. Sie breiten sich daher nur im Extrazellulärraum aus und enthalten praktisch keinen Reactance-Anteil. Daher kann mit diesen Frequenzen selektiv das Extrazelluläre Wasser ECW (Extra Cellular Water) berechnet werden. Mit steigender Frequenz nimmt der Phasenwinkel und damit der kapazitive Widerstand (Reactance) zu; das Maximum liegt bei ca. 50 kHz. Mit immer höherer Frequenz nimmt die Reactance wieder ab. Diese Beziehung von Frequenzen und Widerständen wurde von Cole (1968) beschrieben. Die graphische Darstellung wird als Cole-Plot bezeichnet und stellt die Beziehung von Resistance und Reactance bei verschiedenen Frequenzen dar.
Massenschwankungen der Extrazellulärmasse ECM und der Körperzellmasse BCM können mittels Multifrequenzanalyse differenzierter hinsichtlich Zellverlust oder Wasserverschiebung beurteilt werden. Von besonderem Vorteil ist die Multifrequenzanalyse bei Patienten mit verändertem Hydratationsgrad der Magermasse (Schwerstkranke, Nieren/Herzinsuffizienz, Ödeme verschiedener Genese) und bei Krankheiten, bei denen die Beobachtung des Wasserhaushaltes von besonderer Bedeutung ist (Dialyse, parenterale Ernährung).

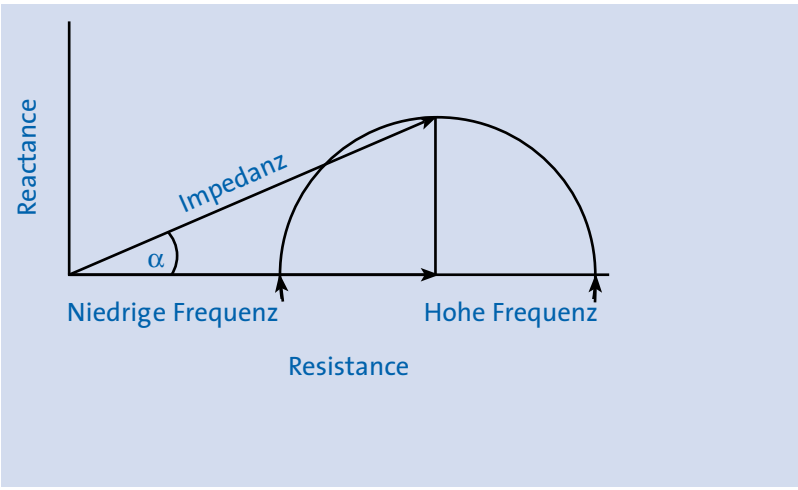
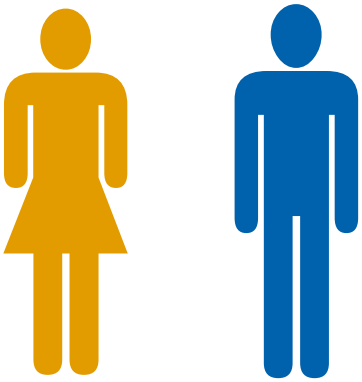


Abb. D5 Cole-Plot: Die Vektoren der Impedanz

E. Die Ergebnisparameter der B.I.A.

1. Resistance

Resistance R ist der reine ohmsche Widerstand eines Leiters gegen Wechselstrom und ist daher umgekehrt proportional zum Gesamtkörperwasser. Durch den hohen Anteil an Wasser und Elektrolyten ist die Magermasse ein guter Leiter für den Strom, während die Fettmasse einen hohen Widerstand besitzt.
Die Resistance ist ein ausgezeichnetes Mass für die Berechnung des Körperwassers bei gesunden, normalgewichtigen Personen. Sie entsteht zu etwa 95% an den Extremitäten und wird durch Veränderungen im Wassergehalt der Extremitäten entsprechend beeinflußt. Hierdurch erklären sich die gelegentlich auftretenden überproportionalen Schwankungen der Resistance, da die Durchblutung und damit der Flüssigkeitsgehalt der Extremitäten von äußeren Bedingungen (Umgebungstemperatur, Luftdruck) und inneren Bedingungen (körperliche Aktivität, krankheitsbedingte Stauung u.a.) abhängig ist. Liegt eine Resistance-Messung sehr weit oberhalb des normalen Bereichs, wie es bei extrem niedrigem Wassergehalt der Extremitäten vorkommt (Kälte, hoher Druck), so wird nach dem Berechnungsschema das Körperwasser und damit die Magermasse tendenziell zu niedrig und das Körperfett zu hoch berechnet. Bei verstärkter Extremitätendurchblutung oder -stauung weicht die Resistance nach unten ab und Körperwasser und Magermasse werden zu hoch, das Körperfett zu niedrig berechnet.
Mehrere Verlaufs- oder Wiederholungsmessungen einer Person verbessern die Beurteilung der Körperzusammensetzung durch die B.I.A. Man sollte sich stets bewußt machen, daß die Veränderungen des Körperwassers in einem dynamischen System wie dem menschlichen Körper stündlich und täglich stattfinden und eine aktuelle B.I.A.-Messung eine Momentaufnahme dieses dynamischen Systems darstellt.

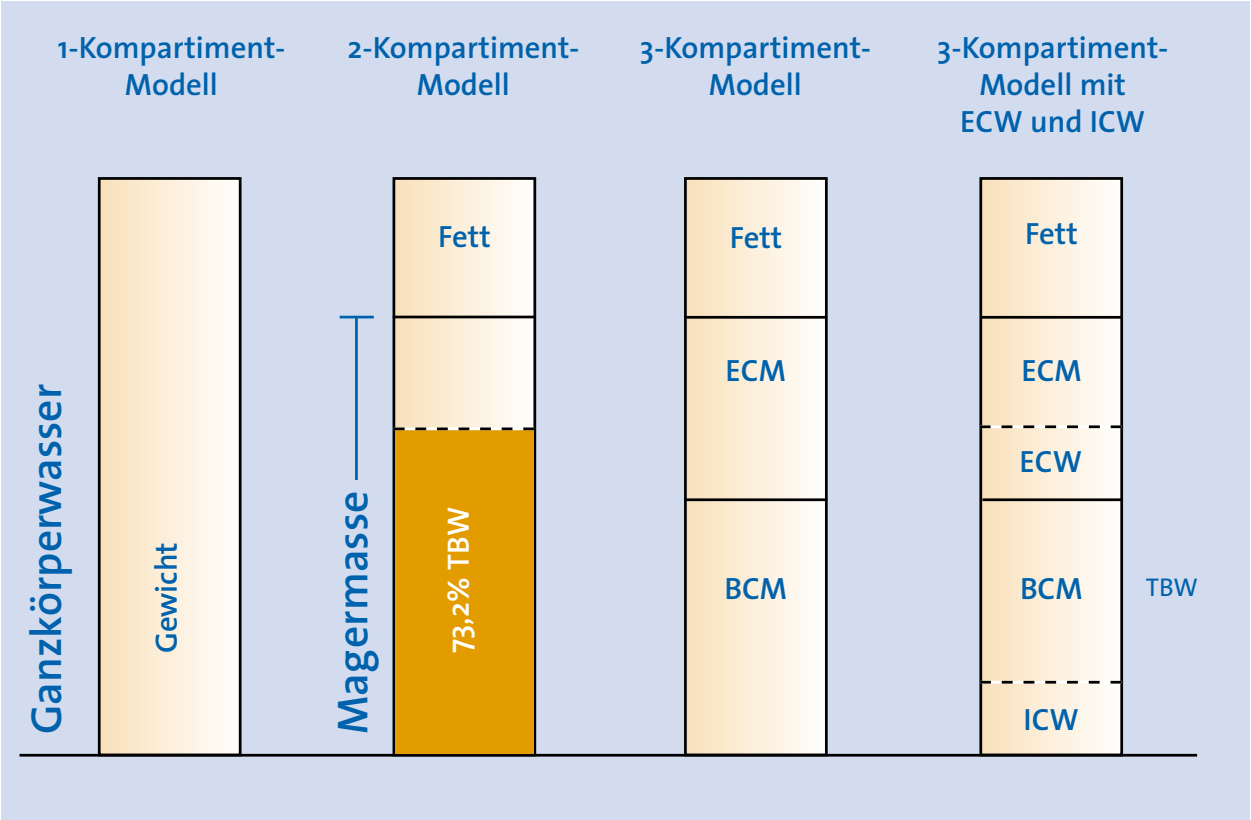


2. Reactance

Reactance Xc ist der Widerstand, den ein Kondensator Wechselstrom entgegensetzt. Jede Zellmembran des Körpers wirkt durch ihre Protein-Lipid-Schichten als Minikondensator. Die Reactance ist damit ein Mass für die Körperzellmasse.

Normalwert:
10 - 12 % des Resistance-Wertes, s. Tabelle Normalkollektiv S.33.

F. Die errechneten Grössen der B.I.A.



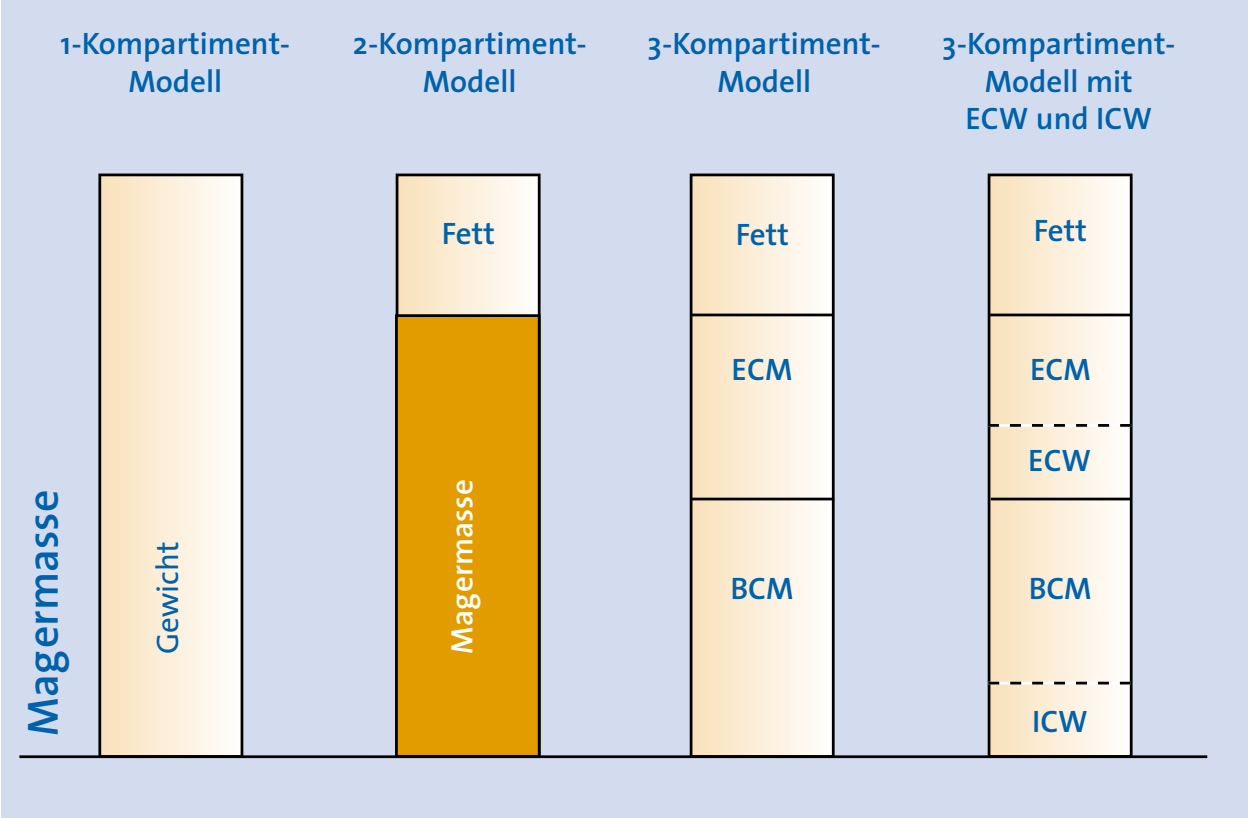
1. Total Body Water TBW (Ganzkörperwasser)

Bei der Impedanzmessung wird das in den Geweben enthaltene Elektrolytwasser sehr genau erfaßt. Oral aufgenommenes Wasser, welches noch nicht vom Körper resorbiert wurde, wird nicht gemessen, während i.v. applizierte Lösungen sofort erfaßt werden. Aszitesflüssigkeit wird nicht gemessen, da sie sich außerhalb des Gewebes der Magermasse befindet.

Normalwert Frauen:	50 - 60 %
Normalwert Männer:	55 - 65 %
Sehr muskulös:	70 - 80 %
Adipös:	45 - 50 %

Verteilung des TBW
Extrazellulär: 43 % des TBW (Lymphe, interstitiell, transzellulär, Plasma)
Intrazellulär: 57 % des TBW

Die Menge des Körperwassers eines Organismus wird in erster Linie über die Körperzellmasse BCM und damit primär über die Muskelmenge determiniert. Zur Erkennung von eingelagertem Wasser sind weitere Parameter notwendig: ein erhöhter ECM/BCM-Index und ein erniedrigter prozentualer Zellanteil sind Hinweise auf Wassereinlagerung.



2. Lean Body Mass LBM (Magermasse)

Die Magermasse LBM stellt die fettfreie Masse des Körpers da. Im wesentlichen wird die Magermasse von der Muskulatur, den Organen, dem Skelettsystem und dem ZNS gebildet. Die morphologisch sehr unterschiedlichen Organsysteme sind funktionell identisch aufgebaut und bestehen aus Zellen, in denen Stoffwechselarbeit und Syntheseleistungen durchgeführt werden, sowie aus extrazellulärer Flüssigkeit und Matrixsubstanz, mit deren Hilfe der Substrattransport und Stoffaustausch stattfindet.

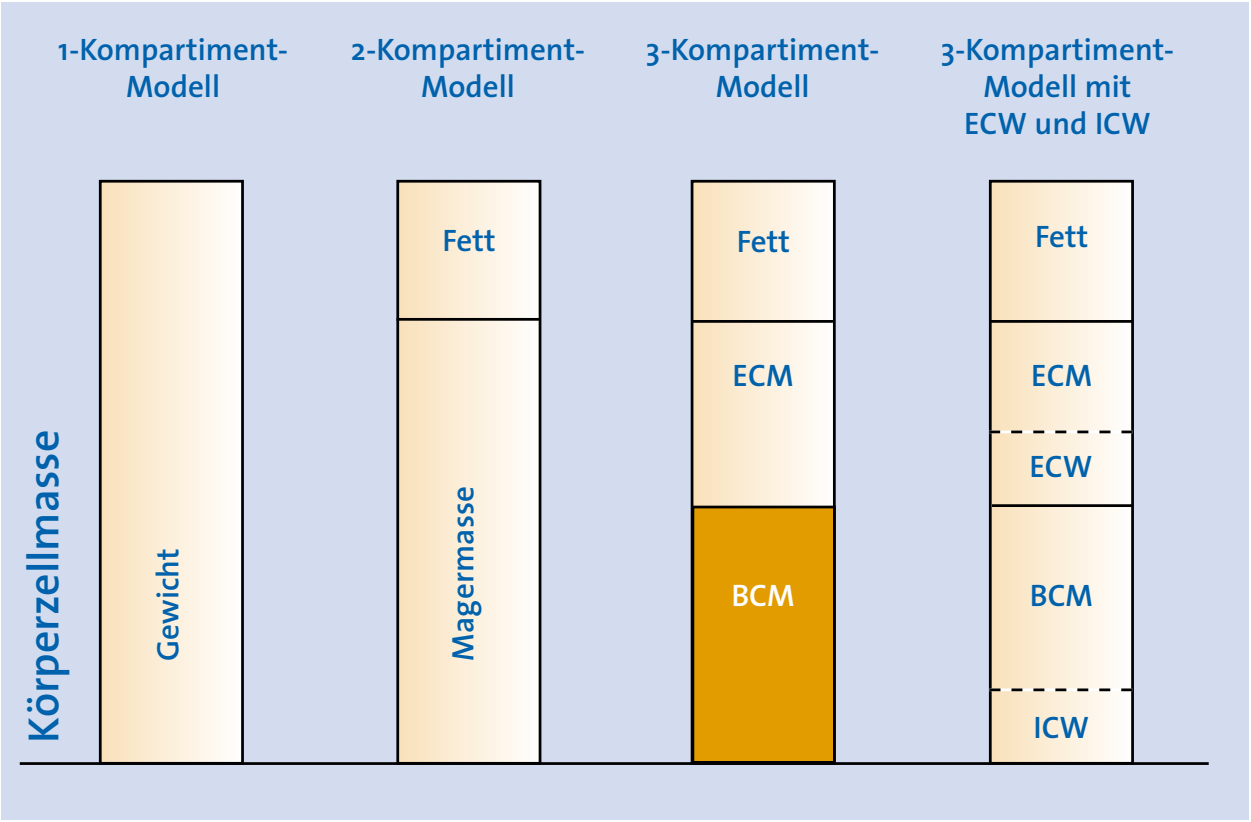
Nach Pace und Rathburn (1945) hat die Magermasse einen Wassergehalt von 73%. Die Magermasse wird daher aus dem berechneten Körperwasser abgeleitet auf der Grundlage:

$$LBM = \frac{TBW}{0{,}73}$$

Bei dieser Kalkulation geht man von einem konstanten Hydrierungswert der Magermasse aus, was bei einer gesunden, homogenen Population auch zutrifft. Der Wassergehalt kann aber variieren; so wurden zum Beispiel Werte zwischen 85% bei Anasarka und 67% bei Exsikkose gemessen (Shizgal 1981). Kinder haben ebenfalls einen höheren prozentualen Wassergehalt.

Bei pathologischem Hydratationsgrad der Magermasse kann es zu abweichenden Berechnungen für die Folgeparameter Magermasse, Körperzellmasse und Extrazelluläre Masse kommen. Das kompliziert die Beurteilung der BIA-Messung zum Beispiel bei Ödem- und Intensivpatienten. In diesen Fällen sollte man sich stets auch die Original-Messwerte für Resistance, Reactance und Phasenwinkel ansehen.

Die beiden Komponenten der Magermasse heißen Zellmasse BCM (Motor des Organismus) und extrazelluläre Masse ECM (Stützgewebe und Transport).



3. Body Cell Mass BCM (Körperzellmasse)

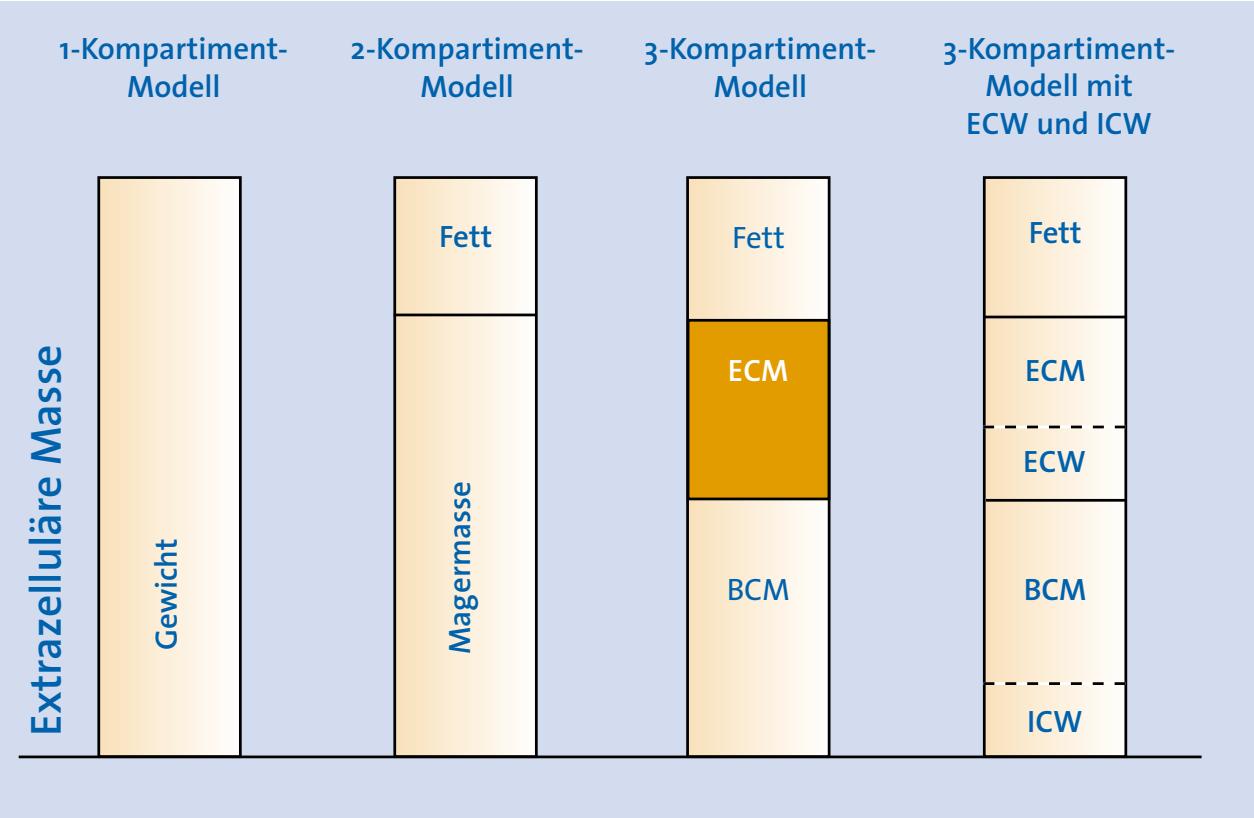
Die Körperzellmasse ist die Summe aller aktiv am Stoffwechsel beteiligten Zellen. Sie ist kein anatomisches, sondern ein funktionell definiertes Kompartiment und besteht vor allem aus den Zellen der Muskulatur und der inneren Organe. Jedes Gewebe des menschlichen Organismus enthält einen Teil der BCM. Bindegewebe mit wenig Fibrozyten hat nur einen geringen Anteil an der Gesamt-BCM, während die zellreiche Muskulatur die Hauptmasse der BCM stellt.

Die Adipozyten werden wegen ihres geringen Energiestoffwechsels nicht zur BCM gerechnet, sondern bilden als Summe ein eigenes Kompartiment.

Die BCM umfaßt folgende Gewebetypen: die Zellen der Skelettmuskulatur, des Herzmuskels, der glatten Muskulatur, der inneren Organe, des Gastrointestinaltraktes, des Blutes, der Drüsen und des Nervensystems. Die BCM ist die zentrale Größe bei der Beurteilung des Ernährungszustandes eines Patienten, da sämtliche Stoffwechselarbeiten des Organismus innerhalb der Zellen der BCM geleistet werden.

Die BCM ist auch die Regelgröße des Energieverbrauches und bestimmt den Kalorienbedarf des Organismus. Neben dem Betriebsstoffwechsel umfaßt die Arbeitsleistung der BCM den Baustoffwechsel zum Erhalt der Zellstrukturen und die Syntheseaufgaben für die ECM, wie z.B. die Bildung von Bindegewebsfasern, Knochen- und Knorpelsubstanzen, Transportproteinen und Enzymen.

Die Körperzellmasse des Organismus ist eine Teilkomponente der Magermasse. Für die individuell vorhandene BCM spielen genetische Faktoren (Konstitutionstyp), Lebensalter und Trainingszustand eine Rolle. Jugendliche mit starker körperlicher Aktivität (z.B. Leistungssportler) trainieren Ihre Muskulatur in der Reifungsphase des Organismus. Häufig findet man bei diesen Personen zeitlebens einen höheren Anteil von Körperzellmasse in der Magermasse (persistierende Hypertrophie der Muskelzellen). Bei Leistungssportlern kann die BCM bis zu 60% der Magermasse betragen. Die Körperzellmasse ist auch abhängig vom Lebensalter. Bei Kindern



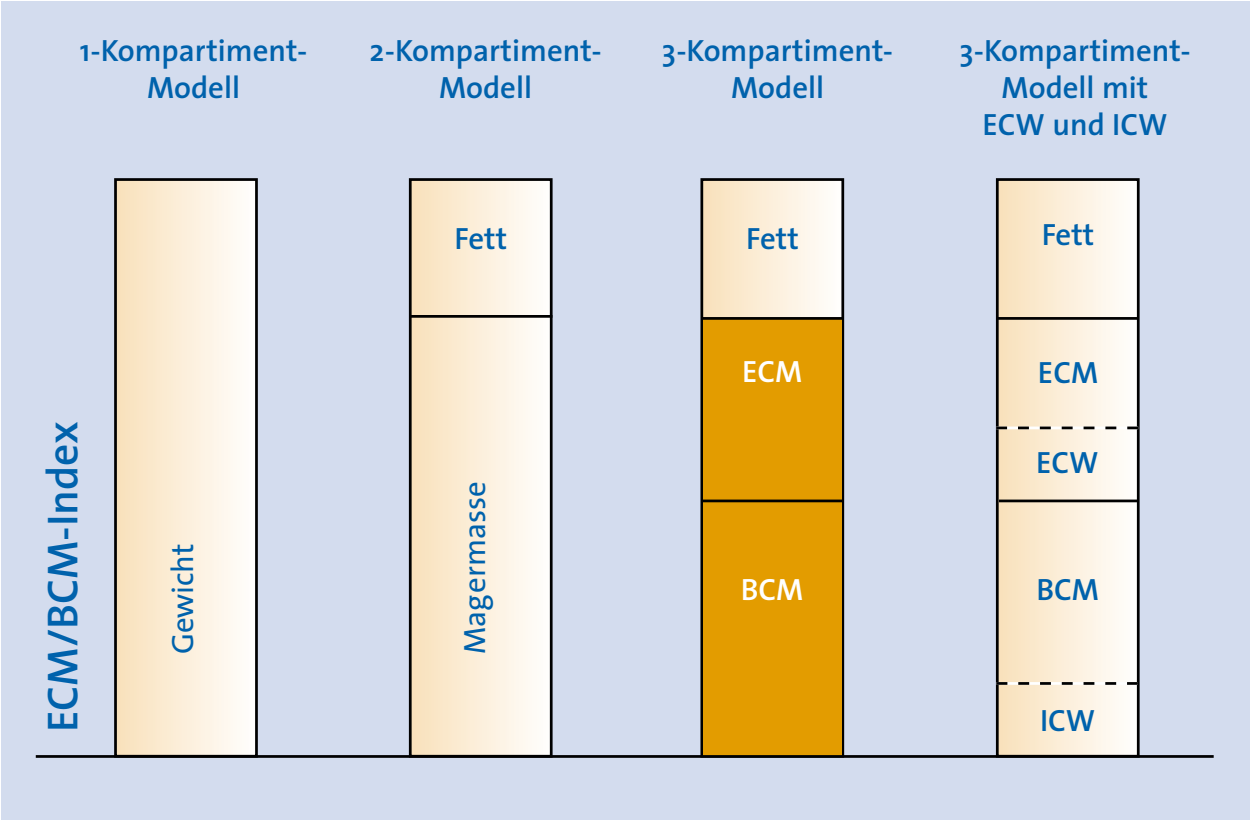
und Jugendlichen ist die Zellmasse des Organismus noch nicht ausgereift. Der Anteil der Zellmasse in der Magermasse ist meistens kleiner als 50%. Erst nach Abschluss des Längenwachstums differenzieren sich die Muskelzellen endgültig. Erwachsene mit normalem Ernährungszustand haben mehr als 50% BCM in der Magermasse. Im hohen Lebensalter verringert sich die BCM meist durch körperliche Inaktivität, oft bis auf 45-40%. Bei körperlich aktiven älteren Menschen bleibt die BCM jedoch weitgehend erhalten. Normalwerte für die Körperzellmasse lassen sich über den Anteil der Zellmasse in der Magermasse definieren. Im Altersbereich von 18 - 75 Jahren sollten Männer ca. 53 - 59%, Frauen ca. 50 - 56% BCM in der Magermasse haben (Idealwerte). Betrachtet man die einfachen Messmethoden zur Bestimmung der Körperzusammensetzung, so kommt zur validen Bestimmung der BCM nur die phasensensitive B.I.A. in Betracht.

Die Erhaltung der BCM ist die zentrale Aufgabe bei allen Formen der Ernährungstherapie. Auch bei Reduktionsdiäten sollte der BCM-Verlust keinesfalls mehr als 20% der BCM betragen, da eine BCM-Reduktion – wenn überhaupt – wesentlich langsamer vom Körper kompensiert wird als z.B. eine Reduktion des Körperfettes. Eine Reduktion der Körperzellmasse in der B.I.A.-Analyse kann durch echten Substanzverlust der Körperzellmasse, aber auch durch temporären intrazellulären Wasserverlust entstehen. Um einen echten BCM-Verlust handelt es sich dann, wenn gleichzeitig

- der Phasenwinkel sinkt
- die Reaktanz sinkt und/oder
- die Zelldichte in % sinkt

4. Extra Cellular Mass ECM (Extrazelluläre Masse)

Der Teil der Magermasse außerhalb der Zellen der BCM wird als Extrazelluläre Masse bezeichnet. Feste Bestandteile der ECM sind die bindegewebigen Strukturen: Collagen, Elastin, Haut, Sehnen, Faszien



und Knochen. Der flüssige Anteil besteht aus Plasma, interstitiellem und transzellulärem Wasser. Als transzelluläres Wasser bezeichnet man Flüssigkeiten in Körperhöhlen. Dazu zählt zum Beispiel der Liquor spinalis oder der Inhalt des gastrointestinalen Lumen. Unphysiologische transzelluläre Flüssigkeit kommt als Pleura- oder Perikarderguss oder als Aszites vor.

Transzelluläres Wasser kann von der BIA-Messung aus methodischen Gründen nicht erfaßt werden. Das liegt daran, daß ca. 95% des gemessenen elektrischen Widerstandes in den Extremitäten entstehen. Der Torso geht mit nur ca. 5% Widerstandsanteil in die Berechnung des Körperwassers ein. Da zum Beispiel ein Aszites von ca 5 Litern den Widerstand des Torso um nur wenige Ohm ändert, wird der Gesamtwiderstand praktisch gar nicht beinflußt. Anzumerken ist hier noch, daß Gewichtsänderungen, die ohne Widerstandsänderung einhergehen, normalerweise durch Änderungen der Fettmasse bedingt sind. Gewichtszunahmen durch Aszites oder Schwangerschaft werden daher bei BIA-Messungen als Änderungen der Fettmasse berechnet.

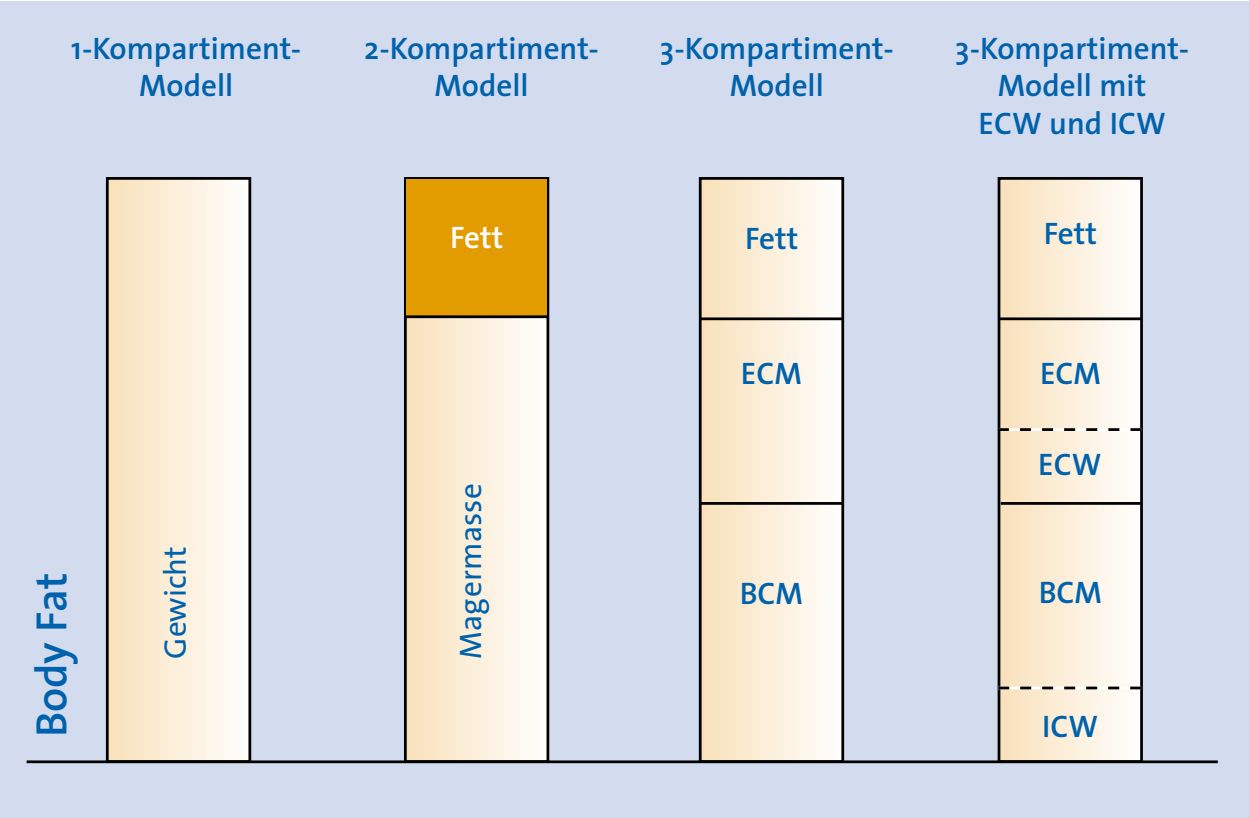
5. ECM / BCM-Index

Der ECM/BCM-Index ist der zweitwichtigste Parameter zur Beurteilung des Ernährungszustandes. Beim Gesunden ist die Body Cell Mass BCM stets deutlich größer als die Extrazelluläre Masse ECM, so daß der Index kleiner 1 beträgt.

Im Frühstadium der Malnutrition ist eine BCM-Abnahme bei gleichzeitiger Vergrößerung des Extrazellulärraumes charakteristisch; Magermasse und Gewicht können dabei konstant bleiben. Der steigende ECM/BCM-Index macht dann frühzeitig auf eine Verschlechterung des Ernährungszustandes aufmerksam.

Ein ansteigender ECM/BCM Index kann 3 Ursachen haben:

a. Katabolie der BCM:
bei katabolen Veränderungen jedweder Genese kommt es zur Reduktion der Body Cell Mass. Der Körper lagert dann kompensatorisch Wasser im Extrazellulärraum ein, um das Ganzkörperwasser konstant zu halten.



b. Wassereinlagerung in der ECM durch Hyperinsulinismus:
bei chronischem Hyperinsulinismus und beim metabolischen Syndrom kommt es zur Natrium- und Wasserretention vorwiegend im Extrazellulärraum.

c. Wassereinlagerungen in der ECM anderer Genese:
Wassereinlagerungen in der ECM können auch ohne Gewichtsveränderungen einhergehen, z.B. bei gleichzeitigen Wasserverlusten oder bei katabolen Prozessen in der BCM. Der ECM/BCM-Index ist dann der empfindlichste Parameter.

6. Body Fat BF (Körperfett)

Körperfett hat eine Dichte von 0,9 g/cm³. Das Fett wirkt als Isolator für Wechselstrom. Fettzellen besitzen nicht die typischen Eigenschaften der Zellen der BCM (Körperzellmasse) und haben daher auch kaum kapazitiven Widerstand (Reactance). Die Fettmasse wird aus der Gewichtsdifferenz von Magermasse und Körpergewicht berechnet.

7. (%) Zellanteil

BCM und ECM stehen morphologisch, funktionell und quantitativ in einem engen Verhältnis zueinander und bilden als Summe die Magermasse.

Der Zellanteil ist der prozentuale Anteil von Zellen der BCM innerhalb der Magermasse und damit ein Maß für den individuellen Ernährungszustand und Trainingszustand. Er ist ein guter Parameter zur Beurteilung der Qualität der Magermasse.

Normalbereich Zellanteil Männer: 53% - 59%
Normalbereich Zellanteil Frauen: 50% - 56%
Malnutrition oder extrazelluläre Überwässerung reduzieren den Zellanteil.

Liegt der individuelle Wert für den Zellanteil unterhalb des Grenzwertes und liegen keine sichtbaren Ödeme vor, ist dies ein Hinweis auf Malnutrition. Auch Patienten mit genetisch determinierten Erkrankungen, die mit Muskeldystrophie einhergehen, zeigen einen niedrigen Zellanteil.

Ein reduzierter Zellanteil ist für die Beurteilung einer Malnutrition von Bedeutung.

Bei Nahrungs- oder Nährstoffmangel mobilisiert der menschliche Organismus zur Glukosehomöostase intrazelluläres Protein und bildet daraus Zucker. Der intrazelluläre Proteinverlust führt zu einer Verkleinerung der Zellmasse. Gleichzeitig kommt es durch Abgabe des proteingebundenen intrazellulären Wassers zu einer Vergrößerung des Extrazellulärraumes. Die Masse von BCM und ECM verändert sich in dieser Situation gegenläufig. Der Zellanteil fällt dabei überproportional ab.

Hohe körperliche Aktivität oder Leistungssport erhöht den Zellanteil. Menschen mit jahrelang andauernder hoher körperlicher Aktivität (besonders Leistungssport) haben einen hohen Zellanteil.

Wurde der Sport in sehr jungen Jahren begonnen, läßt sich der hohe Zellanteil selbst bei relativer Inaktivität zeitlebens nachweisen. Freizeitsport, der erst im Erwachsenenalter begonnen wurde, hat kaum eine Erhöhung des Zellanteiles zur Folge, bei Ausdauersport kommt es nur allmählich zu einem Anstieg.

G. Fallbeispiele

Die folgenden Tipps sollen bei der methodischen und effizienten Analyse eines BIA-Befundes helfen:

Körperwasser TBW

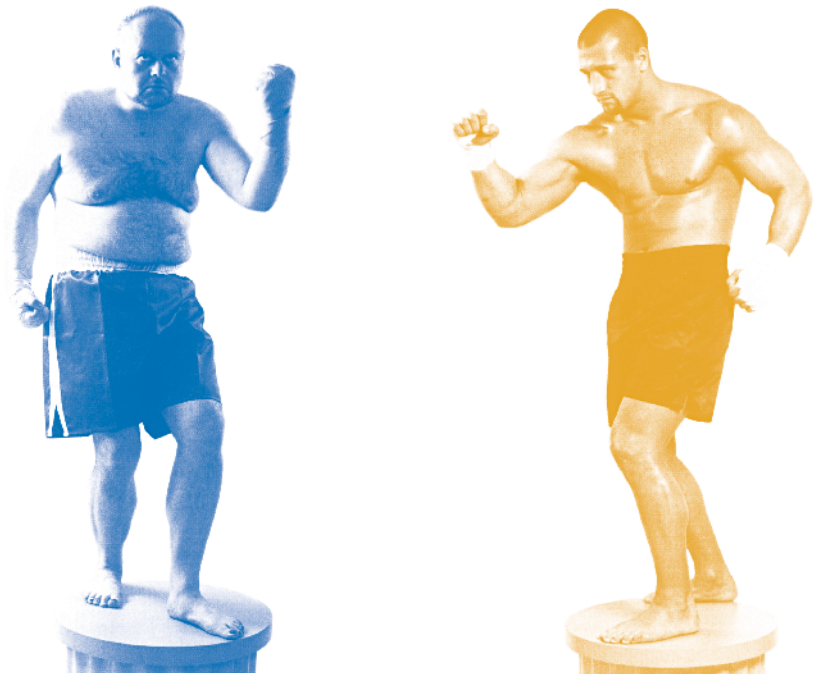
Als erstes sollte man sich den Wert des Körperwassers TBW ansehen. Die Menge des Körperwassers hängt wenig mit der Trinkmenge zusammen, wie die Patienten dies oft annehmen. Vielmehr hängt das TBW primär mit der Menge der Zellmasse BCM zusammen: eine hohe Muskelmasse bedingt eine hohe Wassermenge, während Menschen mit asthenischem Körperbau wenig Körperwasser haben. Beim metabolischen Syndrom sind meist etliche Liter TBW im Körper eingelagert. Bei peripheren Ödemen wird die in den Extremitäten eingelagerte Wassermenge auf den ganzen Körper hochgerechnet und dadurch das Körperwasser tendenziell zu hoch bestimmt.
Das Ganzkörperwasser wird aus dem bei 50 oder 100 kHz gemessenen Resistance-Wert R berechnet. 95 Prozent der Resistance entstehen in den Extremitäten, und nur 5 % der Resistance entstehen im Torso. Änderungen des Wassergehaltes des Torso ändern daher kaum den Resistance-Wert bzw. den berechneten Wasserwert des Körpers. Deshalb kann der Wassergehalt eines Aszites oder einer Schwangerschaft mit Hilfe der BIA nicht erfasst werden.

Die 2 Übersichtsparameter

Es empfiehlt sich als nächstes die 2 wichtigsten Übersichtsparameter anzusehen: den Phasenwinkel und den ECM/BCM-Index.

Phasenwinkel

Die Höhe des Phasenwinkels ermöglicht eine grundsätzliche Einteilung des Ernährungszustandes z. B. nach den Noten 1-6 gemäß Tabelle G1. Dabei kann auch die sportliche Aktivität und der Trainingszustand beurteilt werden.
Der Phasenwinkel entsteht durch die Kugelkondensator-Eigenschaften der Zellen der BCM. Gut ernährte Zellen oder trainierte Muskelzellen haben eine hohe Membranintegrität bzw. -dichte. Nährstoffe und Zellwasser werden im Zellinneren gespeichert und gehen nicht verloren. Solche „saftigen“ Zellen haben einen hohen Phasenwinkel. Schlecht



Zwei Körper mit ähnlicher Größe und ähnlichem Gewicht. Die Waage bietet hier keinen Aufschluß über den Ernährungszustand. (© PreCon Österreich GmbH)

ernährte Zellen oder nicht trainierte Muskelzellen haben eine weniger dichte Membran und verlieren Nährstoffe und Zellwasser. Solche „welken" Zellen haben einen niedrigen Phasenwinkel. Gibt der Patient trotz eines schlechten Phasenwinkels an, regelmäßig und intensiv Sport zu treiben, handelt es sich oft um eine Unterversorgung mit Kohlenhydraten; ein häufiger Befund vor allem bei Menschen, die ein zuviel an Nahrungsfett durch Kohlenhydratrestriktion kompensieren.
Der Phasenwinkel ändert sich durch sportliches Training nur langsam, höchstens um ca. 0,2 Grad pro Monat. Ein deutlich schnellerer Anstieg kann bei Gabe von Anabolika beobachtet werden.
Unphysiologische Werte des Phasenwinkels sind fast immer auf methodische Fehler, meist auf die Verwendung ungeeigneter Elektroden zurückzuführen. Beispiele sind Werte unter 3 bei nicht schwerstkranken Patienten oder Werte größer 8, wenn es sich nicht um Extremsportler handelt. Man sollte stets BIA-getestete Markenelektroden verwenden.

Der Phasenwinkel steigt grundsätzlich bei Verbesserung des Ernährungs- oder Trainingszustandes des Patienten, also:

- bei Beseitigung einer Malnutrition
- bei optimaler Versorgung des Organismus mit Mikro- und Makronährstoffen
- bei sportlichem Training
- durch Anabolika
- Kurzfristig steigt der Phasenwinkel auch bei Exsikkose, da es zu einer „Konzentrationserhöhung" der Zellmasse im Körper kommt.

Der Phasenwinkel sinkt grundsätzlich bei einer Verschlechterung des Ernährungs- oder Trainingszustandes oder bei anderweitigen Störungen bzw. Schädigungen der Zellmembran des Patienten, also:

- bei Katabolie
- bei allen Formen der Malnutrition
- bei Inaktivitätsatrophie
- durch Übertraining der Muskulatur
- durch Wasserretention
- durch alle anderen membranschädigenden Noxen wie Infektionen, Intoxikationen, posttraumatischen Stress usw.

Die tägliche, physiologische Schwankung des Phasenwinkels beträgt, abhängig vom Wassergehalt des Körpers, ca. +/- 0,2 Grad.

ECM/BCM-Index

Der ECM/BCM-Index ist der zweite Übersichtsparameter. Beim gesunden, gut ernährten Menschen ist die Zellmasse BCM stets größer als die Extrazelluläre Masse ECM, somit sollte der Index stets kleiner 1 sein.

Die häufigsten Ursachen für einen Anstieg (= Verschlechterung) des ECM/BCM-Index sind:

- **Katabolie der BCM:** bei katabolen Veränderungen jedweder Genese kommt es zur Reduktion der Body Cell Mass. Der Körper lagert dann kompensatorisch Wasser im Extrazellulärraum ein, um das Ganzkörperwasser konstant zu halten.

- **Wassereinlagerung durch Hyperinsulinismus:** bei chronischem Hyperinsulinismus und beim metabolischen Syndrom kommt es zur Natrium- und Wasserretention vorwiegend im Extrazellulärraum.

- **Wassereinlagerungen anderer Genese:** z.B. Ödeme bei Herz- oder Niereninsuffizienz. Bei solchen schweren, pathologischen Verschiebungen des Wasserhaushaltes sollte der ECM/BCM-Index nicht mehr zur Beurteilung des Ernährungszustands herangezogen werden.

Frauen	*Männer*	*Beurteilung von Ernährungs- und Trainingszustand*
> 7,5	*> 7,9*	*Meist nur im Leistungssport und bei Bodybuilding.*
6,5 - 7,5	*7,0 - 7,9*	*„Sehr gut“.*
6,0 - 6,4	*6,5 - 6,9*	*„Gut“.*
5,5 - 5,9	*6,0 - 6,4*	*„Befriedigend“.*
5,0 - 5,4	*5,5 - 5,9*	*„Ausreichend“.*
4,0 - 4,9	*4,5 - 5,4*	*„Mangelhaft“.*
< 4,0	*< 4,5*	*„Ungenügend“.*
< 2,0	*< 2,5*	*Nur bei Inaktivitätsatrophie mit Muskelschwund*

Tabelle G1 Vorschlag zur Beurteilung und Einteilung der Phasenwinkel-Werte (gilt nur für Messungen mit BIANOSTIC-Spezialelektroden für Impedanzmessungen)

Frauen und Männer	*Beurteilung*
0,6	*Meist nur im Leistungssport und bei Bodybuilding.*
0,8 und 0,7	*„Sehr gut“.*
0,9	*„Gut“.*
1,0	*„Befriedigend“.*
1,1	*„Ausreichend“.*
1,2	*„Mangelhaft“.*
1,3	*„Ungenügend“.*
> 1,3	*Werte > 1,3 sind meist ein Hinweis auf Wassereinlagerungen im Extrazellulärraum oder auf schwere katabole Prozesse in der Body Cell Mass.*

Tabelle G2 Vorschlag zur Beurteilung der ECM/BCM Werte (gilt nur für Messungen mit BIANOSTIC-Spezialelektroden für Impedanzmessungen)

B.I.A. - Diagnosehelfer – die wichtigsten Ursachen für auffällige Werte

	Häufige Ursachen für hohe Werte:	Häufige Ursachen für niedrige Werte:
Körperwasser TBW (Total Body Water)	■ **Hoher Muskelanteil (athletischer Konstitutionstyp)** ■ **Wassereinlagerungen (z.B. metabolisches Syndrom)** ■ **Ödeme, Anasarka** Die Menge des Körperwassers wird primär durch die genetische, konstitutionsbedingte Menge der Magermasse und der darin enthaltenen Muskelmasse bestimmt, da Magermasse und Muskel zu ca. 73% aus Wasser bestehen. Ein hoher Körperwasseranteil ist daher nicht automatisch ein Zeichen der Überwässerung. Sekundär können Wassereinlagerungen verschiedenster Genese zu einem Anstieg des Körperwassers führen.	■ **Geringer Muskelanteil (asthenischer Konstitutionstyp)** ■ **Dehydration** ■ **Exsikkose** Niedrige Werte für das Körperwasser können entsprechend durch einen niedrigen Muskelanteil des Körpers bedingt sein, aber auch durch alle Arten von Flüssigkeitsverlusten hervorgerufen werden.
Phasenwinkel	■ **Hohe Body Cell Mass, besonders durch hohe Muskelmasse (athletischer Konstitutionstyp)** ■ **Guter Trainingszustand** ■ **Hohes Membranpotential** ■ **Hohe Membrandichte** ■ **Hohe Zellhydration** ■ **Guter Ernährungszustand der Zellen der BCM** Der Phasenwinkel wird durch das Membranpotential der Zellen der BCM hervorgerufen. Er ist direkt proportional zu Menge (Oberfläche), Zelldichte und Ladezustand der BCM. Ein guter Ernährungs- und Trainingszustand geht mit hohem Phasenwinkel einher.	■ **Niedrige Body Cell Mass, besonders durch kleine Muskelmasse (asthenischer Konstitutionstyp)** ■ **Schlechter Trainingszustand** ■ **Niedriges Membranpotential** ■ **Niedrige Membrandichte** ■ **Niedrige Zellhydration** ■ **Schlechter Ernährungszustand der Zellen der BCM** ■ **Inaktivitätsatrophie** Einen niedrigen Phasenwinkel findet man bei kleinem BCM-Anteil des Körpers (konstitutionsbedingt), bei schlechtem Zustand der BCM (Malnutrition) oder bei BCM-Schwund verschiedener Genese; vorübergehend auch bei diversen Noxen wie grippalem Infekt o.ä.
Muskel- und Organmasse BCM (Body Cell Mass)	■ **Athletischer Konstitutionstyp** ■ **Guter Trainingszustand** ■ **Intrazelluläre Wassereinlagerungen versch. Genese** Die BCM besteht aus den stoffwechselaktiven Zellen von Muskeln und Organen. Hohe Werte können konstitutionsbedingt, aber auch durch intrazelluläre Wassereinlagerungen (wie z.B. beim metabolischen Sydrom) bedingt sein.	■ **Asthenischer Konstitutionstyp** ■ **Malnutrition** ■ **Kachexie** ■ **Inaktivitätsatrophie** ■ **Dehydration** Eine niedrige BCM ist am häufigsten durch eine kleine Muskelmasse bedingt. Das kann konstitutionsbedingt, aber auch durch Malnutrition oder durch Inaktivität bedingt sein.
Extrazelluläre Masse ECM	■ **Extrazelluläre Wassereinlagerungen (diskret bis hin zu Anasarka und Ödemen; aber auch beim metabolischen Sydrom)** Die Extrazelluläre Masse besteht aus der Gesamtmenge des Bindegewebes (Knochen, Knor-pel und Sehnen) und der extrazellulären (interstitiellen) Flüssigkeit. Ein Anstieg der ECM ist meist durch einen Anstieg der extrazellulären Flüssigkeit bedingt.	■ **Extrazellulärer Wasserverlust, z.B. durch Diuretika oder durch Verbesserung eines metabolischen Syndroms** Ein Verlust in der Extrazellulären Masse ist meist durch einen extrazellulären (interstitiellen) Flüssigkeitsverlust bedingt. Häufigste Ursachen sind allgemeine Flüssigkeitsverluste unterschiedlichster Genese, die sich zuerst in der ECM bemerkbar machen.
ECM/BCM-Index	■ **Ausweitung des Extrazellulärraums** ■ **Extrazelluläre Wassereinlagerungen** ■ **BCM-Verluste** ■ **Schlechter Trainingszustand** ■ **Malnutrition** Beim Gesunden ist die Körperzellmasse BCM stets größer als die Extrazelluläre Masse ECM; der Index also < 1. Zur Erhöhung (= Verschlechterung) des ECM/BCM-Index kommt es durch extrazelluläre Wassereinlagerungen oder durch BCM-Verluste	■ **Wasserverluste im Extrazellulärraum** ■ **Guter Trainingszustand** ■ **Guter Ernährungszustand der BCM** Eine Senkung des ECM/BCM-Index bedeutet meist eine Verbesserung der Körperzusammensetzung. Die häufigsten Ursachen sind zum einen Wasserverluste im Extrazellulärraum, z.B. im Rahmen von Diuretikagabe oder Diäten, oder zum anderen ein Anstieg der Körperzellmasse BCM.

Tabelle G3 Der Diagnosehelfer enthält die häufigsten Ursachen für auffällige B.I.A.-Ergebnisse.

© Data-Input GmbH 2004

Beispiel 1: Patientin, 35 J. , Diätverlauf

Die Probandin möchte nach einer Schwangerschaft Gewicht abnehmen. Sie treibt fast täglich Sport (Aerobic).

Beurteilung der Erstmessung:
Bis auf die erhöhte Fettmasse sind alle Werte im Idealbereich.

Die relativ hohen Werte für Ganzkörperwasser, Magermasse und Körperzellmasse geben den athletischen Konstitutionstyp der Patientin wieder. Der hohe Phasenwinkel und der niedrige ECM/BCM Index sind ein Zeichen für einen guten Trainingszustand.

PROTOKOLL DER ERSTMESSUNG

Nutri 3 WIN Lizenzversion Data Input GmbH

*****

Name:	K. L.	Messung bei	50 KHz
Alter:	35	R:	452
Geschlecht:	weiblich	Xc:	59 / S 215
Größe:	1,70 m	R Hand:	122
Gewicht:	81,0 kg	R Fuß:	169

	berechnete Werte	relatives Optimum	
Messdatum	01.08.2004		
Körperwasser(l)	41,9	27,8 - 43,3	
Fettmasse(kg)	23,7	10,2 - 17,0	
Magermasse(kg)	57,3	37,9 - 59,2	
ECM(kg)	24,0	17,8 - 27,8	
BCM (Zellm.)(kg)	33,3	20,1 - 31,4	
ECM/BCM-Index	0,72	< 0,9	
Phasenwinkel	7,4	5,0 - 9,0	
% Zellanteil	58,1	50,0 - 56,0	
Grundumsatz(kcal)	1.670		

Beurteilung der Verlaufsmessung:
Die Gewichtsabnahme beträgt ca. 10 Kg in einem Jahr. Die Gewichtsreduktion setzt sich aus 6 kg Fettmasse und 4 kg Magermasse zusammen. Die Reduktion der Magermasse beschränkt sich auf eine Wasserreduktion im Extrazellulärraum; Körperzellmasse geht kaum verloren. Insgesamt hat die Patientin ihre Körperzusammensetzung optimiert und ihren Ernährungszustand verbessert, erkennbar an folgenden Parametern:

- ECM/BCM-Index bleibt <1
- Reactance-Wert steigt und beträgt mehr als 10% des Resistance-Wertes (Sollbereich Xc= 10-12% von R)
- Phasenwinkel bleibt >7,0
- Der % Zellanteil bleibt konstant.

VERLAUFSMESSUNG				
Datum	01.08.2004	06.09.2004	18.10.2004	04.07.2005
Messwerte:				
R/Xc/Phase	452/59/7,4	463/63/7,7	459/60/7,4	503/67/7,6
Gewicht	81	76,7	74,9	70,7
Differenz	0	-4,3	-1,8	-4,2
Berechnete Werte:				
Wasser (Liter)	41,9	40,9	40,9	38,4
Differenz	0	-1	0	-2,5
Fett (kg)	23,7	20,9	19,1	18,3
Magermasse (kg)	57,3	55,8	55,8	52,4
ECM (kg)	24,0	22,8	23,4	21,6
BCM (kg)	33,3	33,0	32,4	30,8
ECM / BCM	0,72	0,69	0,72	0,70
% Zellanteil	58,1	59,1	58,1	58,8
BMI	28,0	26,5	25,9	24,5
Grundumsatz (kcal)	1.670	1.660	1.640	1.590

Beispiel 2: Patientin, 64 J. , Diätverlauf

Beurteilung der Erstmessung:
Die Patientin ist bei einem BMI von 39 und einer Fettmasse von ca. 55 kg deutlich adipös. Auffällig ist die Vergrößerung des Extrazellulärraumes (ECM/BCM-Index > 1,0), welche in diesem Fall auf zahlreiche Diätversuche zurückzuführen ist.

Beurteilung der Verlaufsmessung:
Die Gewichtsreduktion von fast 17 kg nach ca. 5 Monaten setzt sich zu zwei Dritteln aus Fettmasse, aber auch zu einem Drittel aus einer Reduktion der BCM zusammen. Das Absinken der Reactance und vor allem des Phasenwinkels auf signifikant niedrige Werte sind Zeichen einer Malnutrition. Im weiteren Verlauf bleibt trotz sinkender BCM die Magermasse weitgehend konstant, da der Körper kompensatorisch den Wassergehalt in der Extrazellulären Masse ECM vergrößert. Diese Verschiebung kann mit der Waage nicht gemessen werden, fällt in der Impedanzanalyse aber durch die Absolutwerte von BCM und ECM und durch den steigenden ECM/BCM-Index auf.

PROTOKOLL DER ERSTMESSUNG

Nutri 3 WIN Lizenzversion Data Input GmbH

*****

Name:	A.K.	Messung bei	50 KHz
Alter:	64	R:	514
Geschlecht:	weiblich	Xc:	48 / S 950
Größe:	1,66 m	R Hand:	133
Gewicht:	111,2 kg	R Fuß:	156

	berechnete Werte	relatives Optimum	
Messdatum	07.10.2002		
Körperwasser(l)	40,6	26,2 -41,1	
Fettmasse(kg)	55,7(50,1%)	10,0 - 16,6	
Magermasse(kg)	55,5	35,8 - 56,2	
ECM(kg)	28,6	16,8 - 26,4	
BCM (Zellm.)(kg)	27,0	19,0 - 29,8	
ECM/BCM-Index	1,06	< 0,9	
Phasenwinkel	5,3	5,0 - 9,0°	
% Zellanteil	49,0	50,0 - 56,0	
Grundumsatz(kcal)	1.500		

VERLAUFSMESSUNG

Datum	07.10.2002	16.12.2002	16.3.2003
Messwerte:			
R/Xc/Phase	514/48/5,3	540/49/5,2	542/39/4,1
Gewicht	111,2	101,5	94,5
Differenz	0,0	-9,7	-7,0
Berechnete Werte:			
Wasser (Liter)	40,6	38,8	38,1
Differenz	0,0	-1,8	-0,7
Fett (kg)	55,7	48,5	42,5
Magermasse (kg)	55,5	53,0	52,0
ECM (kg)	28,6	27,7	30,7
BCM (kg)	27,0	25,3	21,3
ECM/BCM-Index	1,06	1,09	1,44
% Zellanteil	49,0	47,7	41,0
BMI	40,4	36,8	34,3
Grundumsatz (kcal)	1.500	1.420	1.290

Beispiel 3: Analyse der Gewichtszunahme von 2 Patienten mit HIV-Infektion

Beide Patienten zeigten bei unterschiedlicher Therapie eine Gewichtszunahme. Die Analyse der Körperzusammensetzung zeigt unterschiedliche Ursachen:

Patient Nr. 1 (CDC-Stadium C3) nahm unter einer Cortison-Therapie bei CMV-Retinitis 7 kg Körpergewicht zu. Die Analyse der Körperzusammensetzung zeigt, daß es sich bei dieser Gewichtszunahme um eine reine Zunahme der Fettmasse handelt. Die Körperzellmasse BCM und der Phasenwinkel haben dagegen abgenommen; der Ernährungszustand des Patienten hat sich nicht verbessert.

Patient Nr. 2 (CDC-Stadium B3) erhielt Medikamente zur Appetitsteigerung. Bei einer Gewichtszunahme von ebenfalls 7 kg zeigt die Analyse eine Zunahme von Körperzellmasse BCM und Phasenwinkel und damit eine Verbesserung des Ernährungszustandes.

(Beispiele mit freundlicher Genehmigung der Klinik I für Innere Medizin Köln, Arbeitsgruppe HIV-Infektion und Ernährung, Herr Dr. A. Schwenk und Frau G. Kremer.)

Verlaufsmessung:	**Patient 1**		**Patient 2**	
Datum	01.3.1994	15.2.1995	10.8.1994	2.11.1994
Messwerte:				
R / Xc / Phase	533/49/5,3	699/56/4,6	557/56/5,7	554/57/5,9
Gewicht	58,0	65,0	56,0	63,0
Differenz	0,0	7,0	0,0	7,0
Berechnete Werte:				
Wasser (Liter)	40,2	35,5	35,2	36,7
Differenz	0,0	-4,7	0,0	1,5
Fett (kg)	3,1	16,5	7,9	12,8
Magermasse (kg)	54,9	48,5	48,1	50,2
ECM (kg)	28,3	27,0	23,8	24,4
BCM (kg)	26,6	21,5	24,3	25,8
ECM / BCM	1,06	1,26	0,98	0,95
% Zellanteil	48,5	44,3	50,5	51,4
BMI	17,5	19,6	19,8	22,3
Grundumsatz (kcal)	1.460	1.290	1.380	1.430

Beispiel 4: Anorexie-Patientin, 24 J.

Die Patientin nimmt jeden Monat ca. 2 kg an Gewicht zu.

Von 05.05. auf 02.06.:
Die Gewichtszunahme ist allein durch Zunahme der Fettmasse bedingt. Der Ernährungszustand hat sich dadurch kaum gebessert, da keine anabolen Zeichen wie z.B. Erhöhung von Körperzellmasse BCM und Phasenwinkel oder Besserung des ECM/BCM-Index zu beobachten sind.

Von 02.06. auf 06.07.:
Die Gewichtszunahme ist durch Zunahme des Körperwassers bedingt. Die Körperzellmasse BCM und der Phasenwinkel nehmen weiter ab. Trotz insgesamt 4 kg Gewichtszunahme hat sich der Ernährungszustand weiter verschlechtert.

Von 06.07. auf 01.08.:
Die Gewichtszunahme ist durch eine Zunahme von BCM bedingt. Damit nimmt auch die Magermasse und das Körperwasser zu. Der Anstieg von Phasenwinkel, ECM/BCM Index und %-Zellanteil sind als positive anabole Zeichen zu werten.

Verlaufsmessung:				
Datum	05.05.2002	02.06.2002	06.07.2002	01.08.2002
Messwerte:				
R / Xc / Phase	560/37/3,8	568/37/3,7	530/29/3,1	505/35/4,0
Gewicht	54,0	56,2	58,1	60,2
Differenz	0,0	2,2	1,9	2,1
Berechnete Werte:				
Wasser (Liter)	36,0	36,0	37,7	39,0
Differenz	0,0	0,0	1,7	1,3
Fett (kg)	4,8	6,8	6,4	6,7
Magermasse (kg)	49,2	49,2	51,6	53,3
ECM (kg)	30,2	30,5	34,7	31,9
BCM (kg)	19,0	18,7	16,9	21,4
ECM / BCM	1,59	1,63	2,05	1,49
% Zellanteil	38,6	38,0	32,8	40,2
BMI	17,0	17,7	18,3	18,9
Grundumsatz (kcal)	1.220	1.210	1.150	1.290

Beispiel 5: Dialyse-Patientin, 64 J., Multifrequenzanalyse

Vom 05.01.03 auf 05.02.03:
Trotz gleichbleibendem Gewicht hat eine Veränderung der Körperzusammensetzung stattgefunden. Das Gesamtkörperwasser hat zugenommen, haupsächlich durch die Ausweitung des Extrazellulärraumes, der ca. 5l mehr Flüssigkeit enthält. Solche Verschiebungen sind bei katabolen Prozessen innerhalb weniger Monate möglich. Die Körperzellmasse BCM sinkt als Ausdruck einer katabolen Stoffwechsellage. Durch den Fettschwund (bedingt durch Malnutrition) wurde die Wasserzunahme kaschiert.

Verlaufsmessung:		
Datum:	05.1.2003	05.2.2003
Messwerte:		
R (5kHz)	590	380
Xc (5kHz)	41	24
Phasenwinkel (5kHz)	4,0	3,6
R (50kHz)	560	460
Xc (50kHz)	47	28
Phasenw. (50kHz)	4,8	3,5
R (100kHz)	500	510
Xc (100kHz)	53	26
Phasenwinkel (100kHz)	6,1	2,9
Gewicht	72,0	72,3
Differenz	0,0	0,3
Berechnete Werte:		
Wasser (Liter)	34,5	38,5
Differenz	0,0	4,0
ECW (Liter)	15,2	20,9
ICW (Liter)	19,3	17,6
Fett (kg)	24,9	19,7
Magermasse (kg)	47,1	52,6
ECM	25,7	33,5
BCM	21,4	19,1
ECM / BCM	1,20	1,75
% Zellanteil	45,4	36,3
BMI	27,1	27,2
Grundumsatz (kcal)	1.290	1.220

H. Der BIA-Vektorgraph

Der *BIA-Vektorgraph* nach Professor Antonio Piccoli, Universität Padua, ist eine graphische Darstellung der elektrischen Widerstände des menschlichen Körpers in einem Koordinatensystem. Auf der Ordinate wird hierfür der kapazitive Widerstand der Körperzellen (Xc, Reactance bzw. Kondensatorwiderstand) und auf der Abszisse der Widerstand des elektrolythaltigen Körperwassers (R, Resistance) abgebildet. Beide Widerstände werden bezogen auf die Körpergröße (Xc/Größe und R/Größe), d.h. normalisiert für die Länge des Leiters. Die Verbindung eines Messwertes aus Xc/Größe und R/Größe mit dem Ursprung des Koordinatensystems ergibt einen individuellen Vektor, der als Pfeil abgebildet wird.

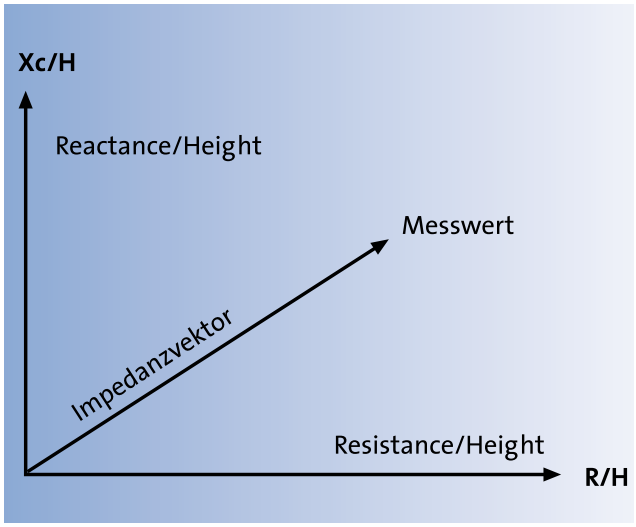


Abb. H1 Entstehung des Vektors im Koordinatensystem

Die vektorielle Darstellung bietet also die Möglichkeit, einen Probanden in Bezug auf 2 Variable (R und Xc, respektive Körperwasser und Body Cell Mass) gleichzeitig zu untersuchen. Da nur die elektrischen Leiteigenschaften des Körpers in die Bewertung eingehen, ist diese Analyse unabhängig vom Körpergewicht des Probanden. Das Körperfett als elektrischer Isolator geht ebenfalls nicht in die Analyse ein.

Ein weiterer Vorteil des BIA-Vektorgraph ist der Vergleich der Meßergebnisse eines Patienten mit Referenzwerten. Diese Referenzwerte werden als so genannte Toleranzellipsen in das Koordinatensystem eingezeichnet. Toleranzellipsen sind Referenzperzentilen, die die Wahrscheinlichkeit angeben, dass ein individuelles Messergebnis in einem bestimmten Abstand vom mittleren Vektor der Referenzpopulation liegt.

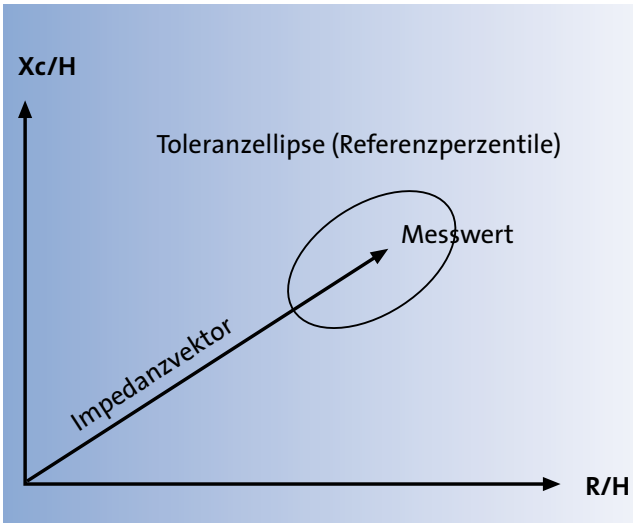


Abb. H2 Die Toleranzellipse der Referenzpopulation

Üblicherweise werden drei Toleranzintervalle dargestellt, entsprechend der 50. (grün), 75. (blau) und 95. Vektorperzentile (rot) der Referenzpopulation. Je nach Abweichung des Meßergebnisses vom Normalbereich der Referenzpopulation lässt sich eine Aussage treffen über:

- den Wasserhaushalt (Überwässerung, Exsiccose)
- die Körperzellmasse (Body Cell Mass BCM hoch, niedrig)

Da die Lage des BIA-Vektors auch von physiologischen Einflussfaktoren wie Geschlecht, Alter und BMI abhängt, ist die getrennte Beurteilung einer patholo-

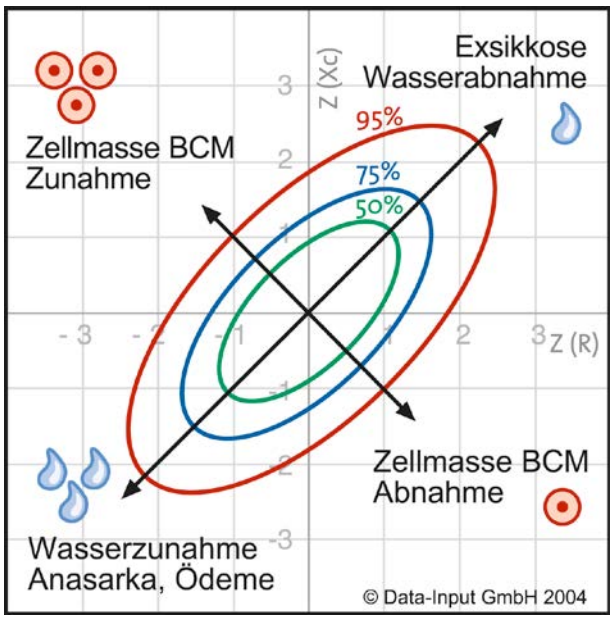


Abb. H3 Interpretationsgraphik mit Vektorperzentilen

gischen Veränderung der Körperzusammensetzung (Überwässerung, Dehydratation, niedrige BCM, Kachexie) nur durch den Vergleich eines Messergebnisses mit Toleranzellipsen für dasselbe Geschlecht und eine vergleichbare Alters- und BMI-Gruppe zu beurteilen. Die Vektorkomponenten werden daher Z-transformiert [1] . Für die Berechnung eines Z-Scores aus den individuellen Meßdaten des Anwenders greift die entsprechende Software von Data-Input auf entsprechende Geschlechts-, Alters- und BMI-spezifische Referenzwerte einer großen Datenbank zurück.

Wie ist die Lage eines Messergebnisses im BIA Vektorgraphen zu interpretieren?

Flüssigkeitsverschiebungen bilden sich entlang der Längsachse der Toleranzellipse ab, wobei der obere und der untere Ellipsenpol des 75% Toleranzintervalls jeweils den biologischen Grenzwert für klinisch relevante Dehydration und Überwässerung angeben.

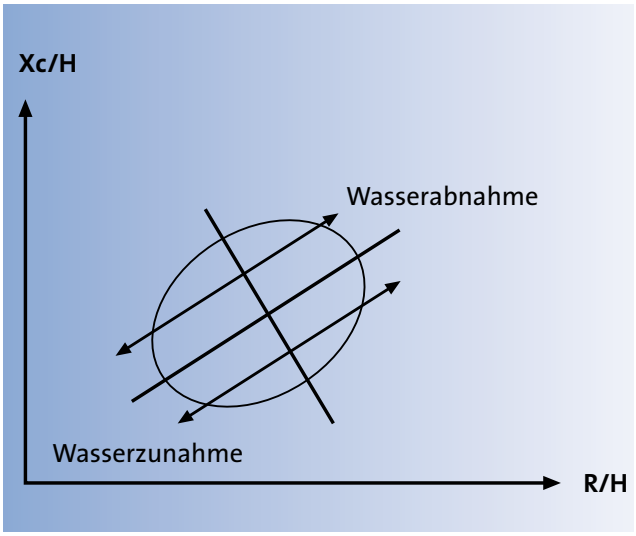


Abb. H4 Änderungen entlang der Längsachse entsprechen Änderungen des R-Wertes und damit einer Zu- oder Abnahme des Körperwassers

Die Richtung des Vektors (Winkel des Vektors zur Abszisse, bzw. Phasenwinkel) wird durch die Körperzellmasse (BCM) bestimmt. Bei einem pathologischen Verlust an BCM (Kachexie) sinkt die BCM und damit auch die Xc/H Vektorkomponente ab.

[1]) Der Z-Score drückt die Abweichung eines Meßwertes in Standardabweichungen (SD) vom Median einer Referenzpopulation aus (Z-Score = (Meßwert-Median)/SD). Der Z-Score ist damit ein normalisiertes Maß für die Abweichung eines Messwertes vom Geschlechts-, Alters- und BMI-spezifischen Referenzwert, und der Z-Score BIA-Vektorgraph ermöglicht damit eine Beurteilung des Flüssigkeitsstatus und der BCM unabhängig von Geschlecht, Alter und BMI.

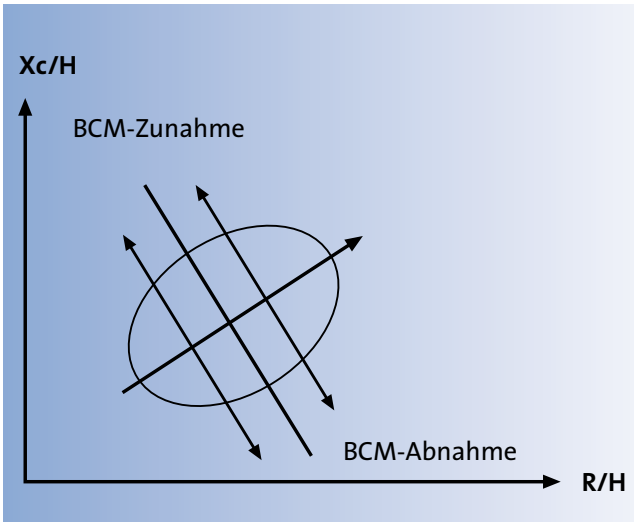


Abb. H5 Änderungen entlang der Querachse entsprechen Änderungen des Xc-Wertes und damit einer Zu- oder Abnahme der Body Cell Mass BCM

Die diagnostischen Vorteile des BIA-Vektorgraph im Überblick:

1) Die BIA-Vektorgraphen von Data-Input erlauben die Beurteilung des Flüssigkeitsstatus bzw. der Körperzellmasse eines Patienten durch den Vergleich mit populationsspezifischen Referenzwerten einer deutschen Datenbank, deren Besonderheit darin besteht, dass sie speziell für Data-Input aus dem eigenen weltweit größten BIA-Kollektiv erstellt wurde (213.294 BIA-Messwerte von Erwachsenen (Alter 18-102 Jahre und BMI 18,5-50 kg/m^2) und 15.605 BIA-Messwerten von Kindern (Alter: 6-17 Jahre und BMI 9-40 kg/m^2)).
2) Der BIA-Vektorgraph ermöglicht die Bewertung von Messergebnissen allein auf Basis der Impedanz-Rohdaten, d.h. unabhängig von den Annahmen, die den Algorithmen zur Berechnung der Körperzusammensetzung zugrunde liegen (z.B. die Genauigkeit der Referenzmethode oder die Auswahl der Referenzpopulation betreffend).
3) Die Bewertung der Impedanzmessung mittels BIA-Vektorgraphen führt zu einer Qualitätskontrolle welche sowohl eine fehlerhafte Messung als auch eine Fehlinterpretation der Ergebnisse im Sinne einer fehlerhaften Vorhersage der Körperzusammensetzung verhindert. Durch den Vergleich eines individuellen Messwertes mit den Toleranzellipsen der Referenzpopulation lassen sich Vektoren identifizieren, die außerhalb des Normalbereichs liegen. Vektoren, welche das blaue 75% Toleranzintervall überschreiten, können nur mit einer erhöhten Fehlerwahrscheinlichkeit zur Berechnung der Körperzusammensetzung

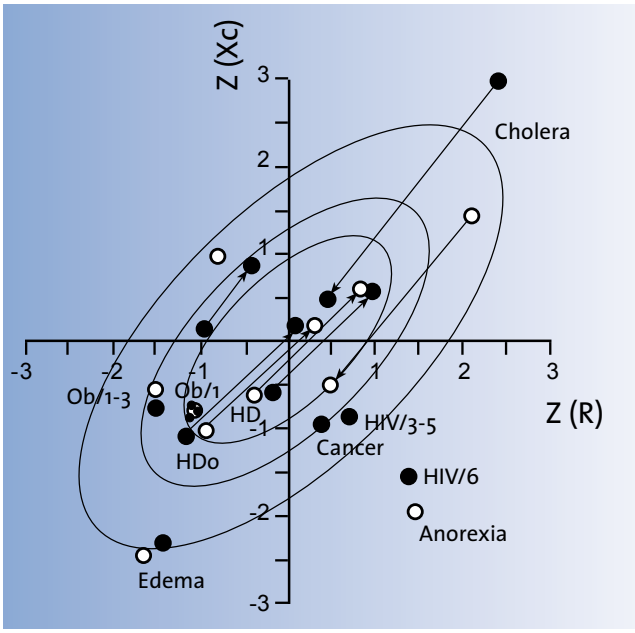


Abb. H6 BIA-Vektoren bei verschiedenen Krankheiten. Quelle: Piccoli A, Pastori G: BIVA software. Department of Medical and Surgical Sciences, University of Padova, Padova, Italy, 2002

verwendet werden. Vektoren, welche außerhalb des roten 95% Toleranzintervalls liegen, sollten mit Vorsicht für die Berechnung von TBW, FFM und FM verwendet werden, da eventuell eine fehlerhafte Elektrodenplazierung oder eine pathologische Hydratation der FFM (Ödeme oder Dehydration) vorliegen.

4) Der BIA-Vektorgraph erleichtert das Monitoring des Flüssigkeitsstatus eines Patienten im Verlauf der Therapie. Die Beurteilung des Wasserhaushaltes ist eine besondere Herausforderung bei kritisch kranken Patienten. Hier können die üblichen BIA-Formeln zur Berechnung der Kompartimente nur eingeschränkt angewendet werden. Der BIA-Vektorgraph greift hingegen nur auf die originären elektrischen Messwerte zurück und führt auch bei abweichender Hydratation des Körpers zu zuverlässigen Ergebnissen. Der Einsatz des BIA-Vektorgraphen ist deshalb besonders wertvoll bei Patienten mit Herz- oder Niereninsuffizienz. Eine vermehrte Flüssigkeitseinlagerung führt bei diesen Patienten nicht nur zu einer Vektorverkürzung (Abnahme der R/Größe Vektorkomponente), sondern gleichzeitig auch zu einer Abnahme des Vektorwinkels zur Abszisse (Abnahme der Xc/Größe Vektorkomponente) welche beide durch effektive therapeutische Maßnahmen (z.B. Diuretika bzw. Hämodialyse) reversibel sind.

Typische Vektoren bei verschiedenen Erkrankungen

In der folgenden Abbildung sind Z-Score-Vektoren von Patientengruppen mit verschiedenen Erkrankungen aufgetragen (schwarze Punkte = Männer, weiße Kreise = Frauen).

Einzelpunkte:

- Ob/1-3 = Patienten mit Adipositas Grad 1 bis 3.
- Cancer = Lungenkrebs.
- HIV/3-5 und HIV/6 = AIDS Stadium WR 1-3 bzw. 6.
- Anorexia = Anorexia nervosa.

Verlaufsvektoren:

- Climbers = Kletterer vor und nach Dehydration in größer Höhe.
- HD und HDo = Hämodialysepatienten schlank oder adipös vor und nach Flüssigkeitsentzug durch Hämodialyse.
- Cholera = Cholerapatienten vor und nach Flüssigkeitsinfusion.

Weitere Informationen und Software können bei Prof. Piccoli unter E-Mail apiccoli@unipd.it angefordert werden. Literatur zu den von Data-Input GmbH verwendeten Vektorgraphen: Bosy-Westphal A, Danielzik S, Dörhöfer R-P, Piccoli A, Müller MJ: Patterns of bioelectrical impedance vector distribution by body mass index and age: implications for body-composition analysis. Am J Clin Nutr 2005; 82:60-8.

Diagnosetafeln

Zwei Diagnosetafeln helfen bei der Interpretation von Vektorgraphen-Befunden:

Abb. H7 Beurteilung der Zellmasse BCM entlang der talwärts gerichteten, kurzen Achse (\). Beurteilung des Wasserhaushalts entlang der bergwärts gerichteten, langen Achse (/).

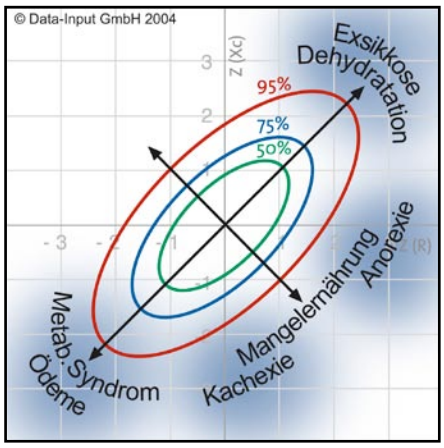


Abb. H8 Typische Lokalisationen der häufigsten Diagnosen und Befunde.

1. Beispiele

Der Schnittpunkt der beiden Pfeilachsen entspricht dem Mittelwert des ausgewählten Kollektivs. In den folgenden Beispielen werden stets die Referenzellipsen des Normalkollektivs zum Vergleich herangezogen.

Liegen die individuellen Messwerte innerhalb des *grünen Kreises*, so hat der Proband normale Werte für Körperwasser und BCM, d.h. die statistische Wahrscheinlichkeit einer normalen Körperzusammensetzung ist sehr hoch.

Zur Erinnerung: das Körperfett wird in dieser Auswertung nicht dargestellt.

Mit größer werdender Entfernung des individuellen Messpunktes vom Mittelpunkt weichen Körperwasser und BCM mehr und mehr von der statistischen Norm ab. Damit wird die Wahrscheinlichkeit geringer, dass die untersuchte Person eine normale Körperzusammensetzung hat. *Die 75%-Ellipse (blau) kann als Grenzbereich für normale Hydrierung angesehen werden.*

Liegt der individuelle Messpunkt außerhalb des roten Kreises, also außerhalb der 95%-Perzentile, so spricht das für beträchtliche Abweichungen vom Mittelwert des Referenzkollektives. In diesem Fall ist es besonders wichtig, für den Patienten auch klinische Untersuchungsdaten zu eruieren, z.B. Angaben zu ödematösen Veränderungen oder zu Muskel- und Gelenkerkrankungen der untersuchten Extremitäten. Häufig hilft hier der klinische Blick.

Von großer Bedeutung ist der Quadrant, in dem der individuelle Messpunkt liegt. Liegt der Messpunkt in den beiden oberen Quadranten der Ellipse bzw. oberhalb der kurzen Ellipsenachse, hat der Proband weniger Körperwasser als dem statistischen Mittelwert entspricht. Liegt der Messpunkt unterhalb der *kurzen* Ellipsenachse, hat der Proband ein höheres Körperwasser.

Liegt der Messpunkt links der *langen* Ellipsenachse, hat der Proband mehr BCM als dem Mittelwert entspricht. Liegt der individuelle Messpunkt rechts der langen Ellipsenachse, so hat der Proband weniger BCM als der Mittelwert des Referenzkollektivs.

Beispiel 1: Unauffälliger Befund

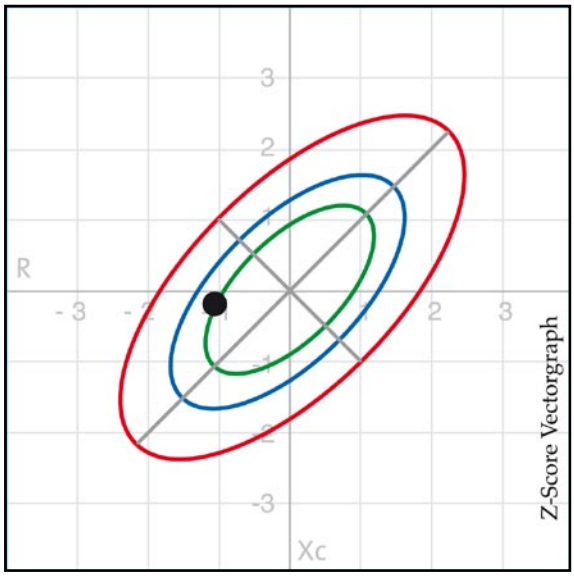


Abb. H9 Unauffälliger Befund

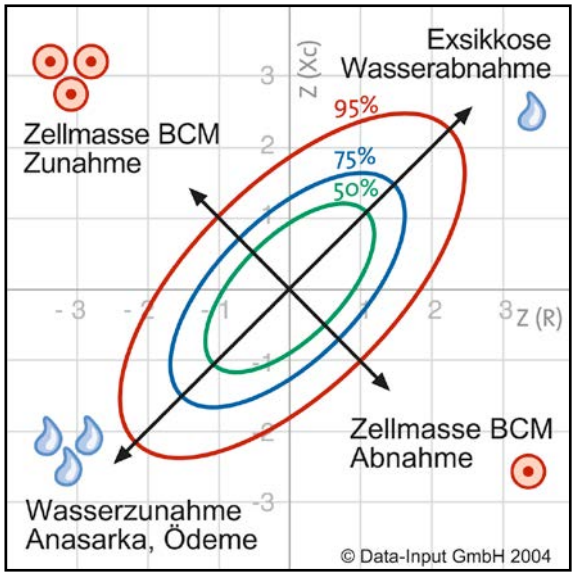


Abb. H10 Basis: Die Interpretationsgrafik

Normalbefunde liegen innerhalb der grünen (50%) oder blauen (75%) Ellipse. Bei gesunden Probanden liegen die Messpunkte meist etwas links von der Längsachse (hohe BCM) und unterhalb der Querachse (entsprechend einem leicht höheren Körperwasser).

Sportler, athletischer Konstitutionstyp

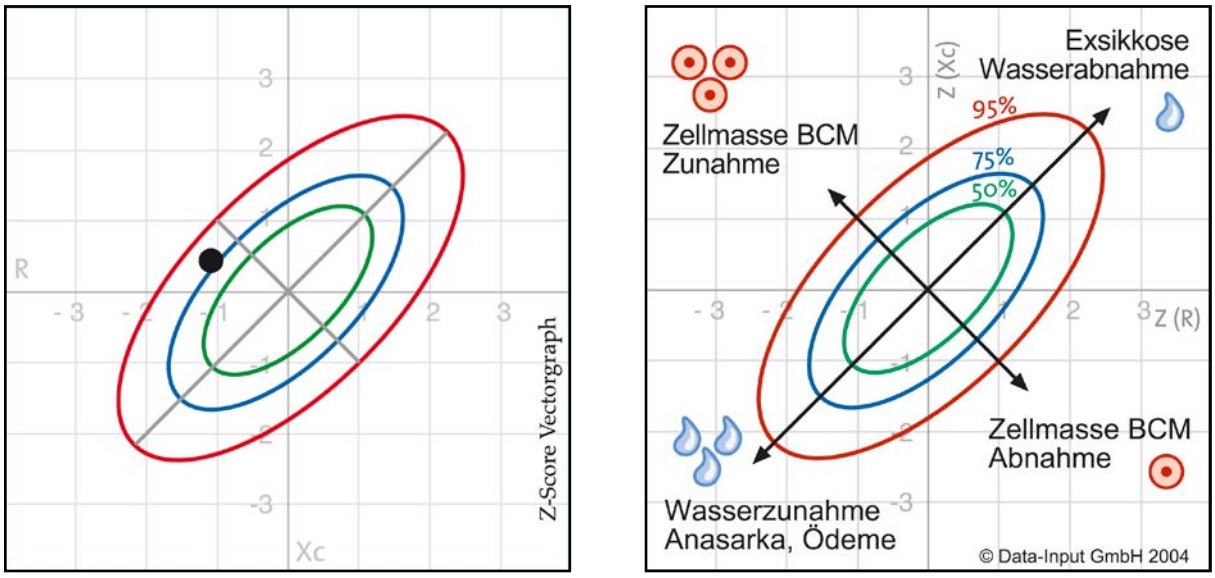


Abb. H11 Sportler

Bei Sportlern bzw. bei athletischem Konstitutionstyp liegt der Messpunkt meist links von der Längsachse, als Zeichen einer hohen Body Cell Mass. Der hohe Muskelanteil bedingt meist auch einen hohen Wasseranteil, daher liegt der Messpunkt typischerweise unterhalb der Querachse. Im Gegensatz zum nächsten Beispiel ist der Proband hier aber nicht überwässert (relativ kleiner Abstand zur Querachse).

Metabolisches Syndrom

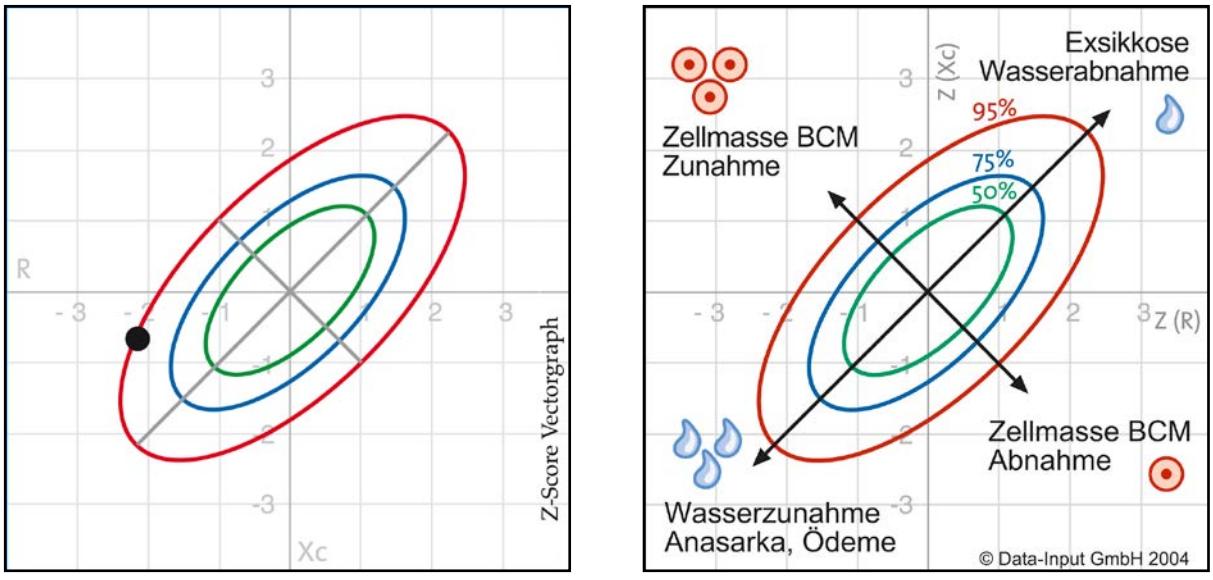


Abb. H12 Metabolisches Syndrom

Beim metabolischen Syndrom befindet sich der Messpunkt deutlich unterhalb der Querachse (links unten), als Zeichen einer pathologischen Überwässerung. Weitere BIA-Werte, wie z.B. die ECM (Extrazelluläre Masse) oder der ECM/BCM-Index bestätigen, dass beim metabolischen Syndrom Wasser vorwiegend im extrazellulären Raum eingelagert wird. Die Body Cell Mass BCM ist beim metabolischen Syndrom oft ähnlich groß wie beim athletischen Konstitutionstyp; dies könnte durch eine Hyperhydration der Zellen der BCM bedingt sein.

Anorexie

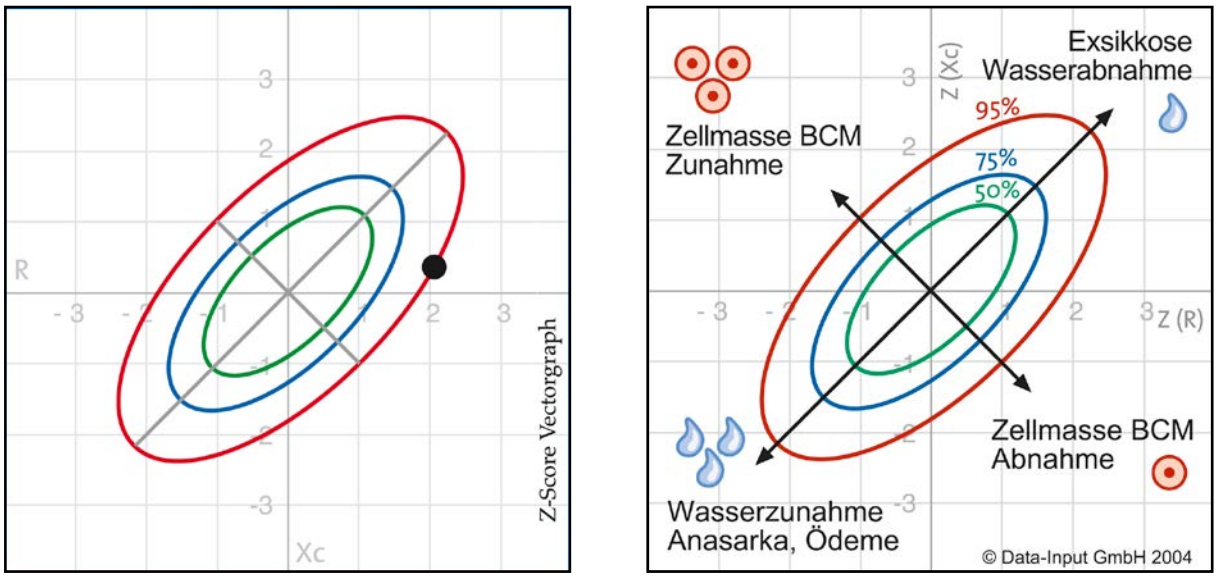


Abb. H13 Anorexie

Der Messpunkt liegt typischerweise oberhalb der Querachse und weit rechts von der Längsachse. Sowohl die Hydratation der Magermasse als auch die Menge der BCM sind bei Patienten mit manifester Anorexie zu niedrig. Im Gegensatz zur Kachexie liegt eher eine Exsikkose als eine Überwässerung vor.

Kachexie

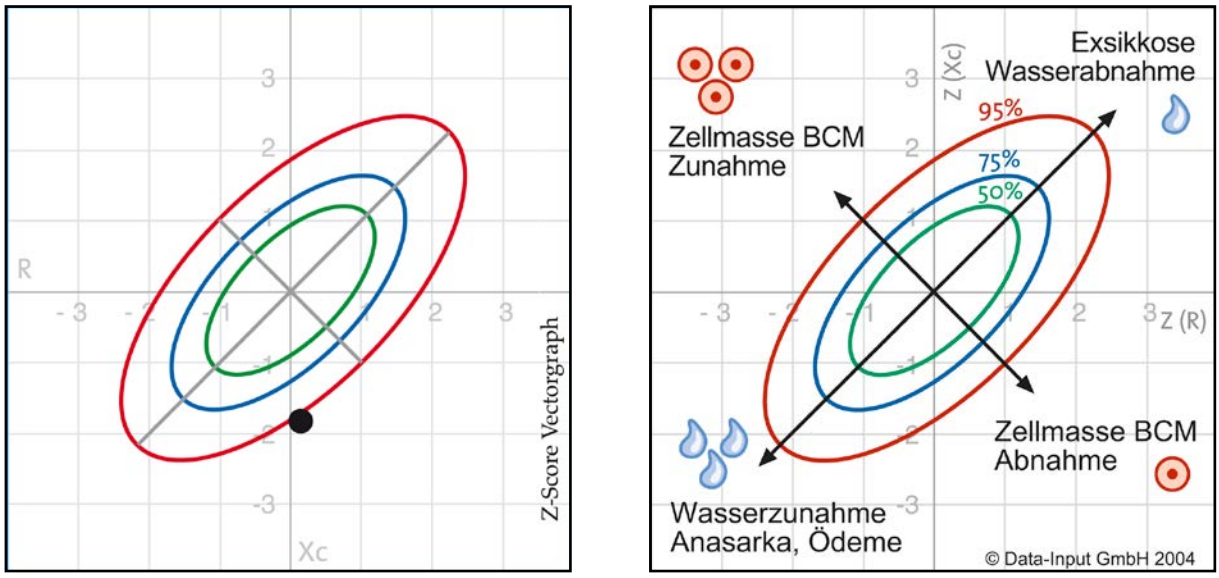


Abb. H14 Kachexie

Charakteristisch bei Kachexie sind Messpunkte weit rechts der Längsachse als Hinweis auf massiven BCM-Verlust. Im Gegensatz zur Anorexie wird meist eine Überwässerung bis hin zur Ödembildung beobachtet (Messpunkte unterhalb der Querachse).

I. NutriPlus – Software zur Analyse von Körperzusammensetzung und Ernährungszustand

Leistungsmerkmale

1. Individuelle Vergleichswerte: Ideal-, Normal- und BMI-gestaffelte Werte

Meist stehen zur Beurteilung von BIA-Ergebnissen nur Ideal (Optimal)-werte zur Verfügung. In der neuen NutriPlus-Software wurden zur Gewinnung weiterer Vergleichsdaten die Meßwerte von über 200.000 Probanden statistisch aufgearbeitet. Aus dieser Analyse stehen nun 3 Gruppen von Vergleichswerten zur Auswahl:

- a. Idealwerte – für Analysen an weitgehend gesunden Probanden)
- b. Normalwerte – für Analysen bei Patienten, mit schlechtem Ernährungszustand für Senioren und adipöse Patienten
- c. Spezielle Vergleichswerte von Probandengruppen mit Untergewicht (BMI < 19) und mit Übergewicht (BMI 25-55) – zur Beurteilung des Ernährungszustandes speziell bei Anorexie, sowie bei Adipositas Grad I-III.

a. Idealwerte

Idealwerte stützen sich auf die statistischen Daten von gesunden, schlanken und sportlich trainierten Probanden. Sie sollten daher vor allem bei der Beurteilung von weitgehend gesunden Probanden angewandt werden.

b. Normalkollektiv: Normalwerte bei BMI 19-25

Vor allem bei manifest oder chronisch kranken Patienten mit schlechtem Ernährungszustand kann der Vergleich mit Normalwerten passender sein. Dazu hat die Data-Input GmbH ein Normalkollektiv aus 31.633 Probanden ausgewertet (s. Tabellen S.32 und S.33). Selektionskriterium war das „Normalgewicht“, also ein Body Mass Index im Normalbereich zwischen 19,0 und 24,9. Der Gesundheits- oder Trainingszustand war kein Selektionskriterium. Da sich die Körperzusammensetzung mit dem Alter signifikant ändert, wurden die Probanden in 3 Altersgruppen ausgewertet:
18-29 Jahre, 30-59 Jahre und 60-69 Jahre. Der „Normalbereich“, also der Wertebereich „von...bis“ wurde abschließend über die Perzentilen 10 und 90 definiert.
Bitte beachten: die hier definierten „Normalwerte“ sind keine Soll- oder Optimalwerte.

Normalkollektiv: Normalwerte bei BMI 19-25

M = *Mittelwert* ***s*** = *Standardabweichung* ***von*** = *Perzentile 10* ***bis*** = *Perzentile 90*

Frauen n= 29.409	18 – 29 Jahre: n=8.958				30 – 59 Jahre: n=19.393				60-69 Jahre: n=1.058			
			Normalbereich				Normalbereich				Normalbereich	
	M	s	von	bis	M	s	von	bis	M	s	von	bis
Gemessene Werte:												
Körperhöhe m	1,68	0,06	1,60	1,76	1,66	0,06	1,59	1,74	1,64	0,06	1,57	1,72
Gewicht kg	64,8	6,2	56,6	72,8	64,5	5,8	57,1	71,9	63,2	5,9	55,9	70,6
Resistance R 50 kHz	617	61	542	796	604	61	529	684	602	63	522	683
Reactance Xc 50 kHz	64	8,9	54	75	63	9	53	74	58	10	47	70
Phasenwinkel Grad	6,0	0,7	5,2	6,8	6,0	0,7	5,2	6,8	5,5	0,8	4,7	6,4
Berechnete Werte*:												
Körperwasser l	33,3	2,8	29,8	36,9	33,3	2,8	29,9	36,9	32,7	2,9	29,1	36,1
Fettmasse kg	19,3	4,3	13,8	24,7	19,0	4,0	13,9	24,2	18,6	4,0	13,3	23,7
Fettmasse %	29,6	4,7	23,4	35,4	29,3	4,7	23,3	35,0	29,2	4,8	22,7	35,0
Magermasse kg	45,4	3,8	40,7	50,4	45,5	3,8	40,8	50,4	44,6	3,9	39,8	49,4
Extrazelluläre Masse ECM kg	22,0	2,3	19,1	25,0	22,0	2,3	19,1	25,0	22,7	2,6	19,5	25,7
Body Cell Mass BCM kg	23,5	2,5	20,4	26,7	23,5	2,6	20,4	26,6	22,0	2,8	18,8	25,3
ECM/BCM-Index	0,94	0,12	0,80	1,09	0,95	0,13	0,80	1,10	1,05	0,17	0,86	1,23
% Zellanteil	50,7	3,3	47,8	55,6	51,6	3,4	47,7	55,4	49,2	4,1	44,7	53,9
Grundumsatz kcal	1360	80	1260	1460	1360	80	1260	1455	1310	90	1210	1415

Männer n= 2.224	18 – 29 Jahre: n=691				30 – 59 Jahre: n=1.331				60-69 Jahre: n=202			
			Normalbereich				Normalbereich				Normalbereich	
	M	s	von	bis	M	s	von	bis	M	s	von	bis
Gemessene Werte:												
Körperhöhe m	1,82	0,07	1,72	1,92	1,79	0,07	1,70	1,89	1,76	0,07	1,67	1,86
Gewicht kg	75,2	7,9	64,7	85,0	75,1	7,6	66,0	84,6	72,7	6,8	64,0	81,9
Resistance R 50 kHz	510	54	441	581	512	54	445	579	510	51	448	572
Reactance Xc 50 kHz	61	8	52	71	58	9	49	68	52	11	40	61
Phasenwinkel Grad	6,9	0,7	6,0	7,7	6,5	0,8	5,6	7,4	5,8	1,1	4,7	6,6
Berechnete Werte*:												
Körperwasser l	45,1	4,7	39,1	51,1	44,3	4,6	38,5	50,2	42,9	4,0	37,6	48,4
Fettmasse kg	13,6	4,6	7,3	19,4	14,6	4,5	8,7	20,4	14,1	4,5	7,9	20,1
Fettmasse %	17,9	5,3	10,6	24,5	19,3	5,1	12,5	25,7	19,2	5,3	12,1	25,6
Magermasse kg	61,6	6,5	53,5	69,8	60,5	6,3	52,6	68,6	58,6	5,4	51,4	66,1
Extrazelluläre Masse ECM kg	27,3	3,4	23,2	31,8	27,7	3,5	23,7	32,2	29,0	3,8	24,6	33,7
Body Cell Mass BCM kg	34,3	4,3	29,3	39,6	32,7	4,1	27,8	37,8	29,6	4,0	25,1	34,0
ECM/BCM-Index	0,80	0,15	0,68	0,93	0,86	0,17	0,72	0,99	1,00	0,2	0,82	1,24
% Zellanteil	55,7	3,4	51,9	59,4	54,1	3,6	50,2	58,0	50,5	4,9	44,7	55,0
Grundumsatz kcal	1700	135	1450	1870	1650	130	1495	1810	1550	125	1410	1690

© Data-Input GmbH 2004

Abb. I 1 Tabellen 1 und 2: BIA-Daten und berechnete Körperzusammensetzung von gesunden Frauen (n= 29.409) und Männern (n=2.224) mit BMI 19,0 – 24,9 kg/m². Definition des Normalbereichs über die Perzentilen 10 und 90.

*Berechnete Werte gemäß den Berechnungsgrundlagen der Data-Input GmbH (s.a. „Berechnungsgrundlagen“ im BIA-Kompendium).

c. Statistische Vergleichswerte gestaffelt nach BMI und Alter

Es fehlte bisher eine Beurteilungsmöglichkeit für Patienten außerhalb des Normalgewichts. Was ist noch „normal“ bei einem BMI unter 19 oder bei Adipositas Grad I bis III? NutriPlus schließt diese Lücke mit einer gruppenspezifischen Auswertung von Probanden mit Unter- und Übergewicht. Es wurden insgesamt 187.274 Probanden im Alter von 18 bis 80 Jahren ausgewertet, davon 160.696 Frauen und 26.678 Männer (siehe Tabelle 2). Selektionskriterium war der Body Mass Index. Gesundheits- oder Trainingszustand waren keine Selektionskriterien.
Der statistische Normbereich einer Gruppe (von ... bis) wurde jeweils über die Perzentilen 10 und 90 gebildet.

Bitte beachten: die hier definierten „Vergleichswerte“ sind keine Soll- oder Optimalwerte.

Es wurden folgende Gruppen gebildet:

Untergewicht	BMI < 19,0
Übergewicht Grad 1	BMI 25,0 bis 29,9
Übergewicht Grad 2	BMI 30,0 bis 34,9
	BMI 35,0 bis 39,0
Übergewicht Grad 3	BMI 40,0 bis 44,9
	BMI 45,0 bis 49,9
	BMI 50,0 bis 54,9

Die Tabellen hierzu folgen auf den nächsten beiden Seiten.

Statistische Vergleichswerte gestaffelt

Frauen n=160.596	Untergewicht		
	BMI < 19,0 (M=17,9) n=771		
	M	s	von
Gemessene Werte:			
Körperhöhe (m)	1,67	0,06	1,59
Körpergewicht (kg)	49,9	4,9	43,5
Alter	32,1	13,1	19,0
Resistance R (Ohm)	676	74	587
Reactance Xc (Ohm)	66	10	54
Phasenwinkel (Grad)	5,6	0,7	4,8
Berechnete Werte*:			
Ganzkörperwasser TBW (l)	29,8	2,7	26,3
Körperfett BF (kg)	9,3	3,2	5,0
Körperfett BF (%)	18,3	5,4	10,9
Magermasse LBM (kg)	40,6	3,7	36,0
Body Cell Mass BCM (kg)	20,3	2,6	17,0
Extrazelluläre Masse ECM (kg) ECM/	20,4	2,2	17,7
BCM Index	1,02	0,18	0,86
% Zellanteil	49,8	3,9	45,5
Grundumsatz kcal	1260	80	1150

Männer n=26.678	Untergewicht		
	BMI < 19,0 (M=17,9) n=89		
	M	s	von
Gemessene Werte:			
Körperhöhe (m)	1,79	0,08	1,69
Körpergewicht (kg)	57,3	6,0	50,7
Alter	33,5	15,2	19,0
Resistance R (Ohm)	602	58	529
Reactance Xc (Ohm)	63	10	49
Phasenwinkel (Grad)	6,0	0,1	4,9
Berechnete Werte*:			
Ganzkörperwasser TBW (l)	36,7	3,9	31,7
Körperfett BF (kg)	7,2	2,8	3,5
Körperfett BF (%)	12,4	4,4	6,7
Magermasse LBM (kg)	50,2	5,3	43,3
Body Cell Mass BCM (kg)	25,9	4,3	20,1
Extrazelluläre Masse ECM (kg) ECM/	24,3	3,0	20,6
BCM Index	0,97	0,26	0,76
% Zellanteil	51,4	5,2	46,1
Grundumsatz kcal	1430	130	1250

Abb. I 2 Tabellen 3 und 4: Körperzusammensetzung der deutscher
Männern im Alter von 18-80 Jahren. Definition des statistischen M

*Alle Körperkompartimente berechnet nach den Formeln von Data-Input GmbH

nach BMI und Alter

	Normalgewicht				Übergewicht Grad I				Übergewicht Grad II ⇒						
	BMI 19-24,9 (M=23,2) n=29.573				BMI 25-29,9 n=46.105				BMI 30-34,9 n=50.555				BMI 35-39,9 n=22.573		
bis	M	s	von	bis	M	s	von	bis	M	s	von	bis	M	s	
1,75	1,67	0,06	1,60	1,75	1,65	0,06	1,58	1,73	1,65	0,06	1,57	1,73	1,64	0,07	
56,0	64,5	6,0	57,0	72,0	75,4	6,7	67,0	84,2	87,4	7,7	77,8	97,5	100,1	8,9	
49,0	36,2	12,1	23,0	53,0	41,9	12,7	26,0	59,0	44,9	13,2	27,0	62,0	45,3	13,4	
776	608	62	532	688	567	56	498	639	526	54	460	595	489	51	
79	63	9	53	74	60	8	50	70	55	8	46	66	51	8	
6,4	5,9	0,7	5,1	6,8	6,0	0,7	5,2	6,9	6,0	0,7	5,2	6,9	6,0	0,7	
33,2	33,2	2,8	29,8	36,8	35,4	2,9	31,7	39,1	37,9	3,2	33,9	42,1	40,5	3,6	
13,3	19,1	4,1	13,8	24,3	27,0	4,6	21,3	33,0	35,7	5,3	29,1	42,6	44,7	6,1	
25,0	29,4	4,7	23,3	35,1	35,6	4,0	30,5	40,6	40,7	3,6	36,0	45,2	44,6	3,4	
45,4	45,4	3,8	40,7	50,3	48,4	4,0	43,4	53,5	51,8	4,4	46,3	57,5	55,3	4,9	
23,5	23,4	2,5	20,3	26,6	25,1	2,7	21,8	28,5	26,9	3,0	23,2	30,7	28,7	3,3	
23,1	22,0	2,3	19,2	25,0	23,3	2,5	20,2	26,4	24,9	2,7	21,5	28,4	26,7	3,0	
1,20	0,95	0,13	0,80	1,12	0,94	0,13	0,78	1,09	0,93	0,13	0,78	1,09	0,94	0,14	
53,8	51,5	3,3	47,2	55,6	51,9	3,4	47,8	56,0	51,9	3,5	47,8	56,0	51,8	3,6	
1360	1350	80	1260	1460	1410	80	1300	1520	1470	90	1350	1590	1520	100	

	Normalgewicht				Übergewicht Grad I				Übergewicht Grad II ⇒						
	BMI 19-24,9 (M=23,1) n=2.226				BMI 25-29,9 n=6.741				BMI 30-34,9 n=11.071				BMI 35-39,9 n=4.642		
bis	M	s	von	bis	M	s	von	bis	M	s	von	bis	M	s	
1,90	1,80	0,07	1,70	1,89	1,79	0,07	1,70	1,88	1,78	0,07	1,69	1,87	1,78	0,07	
64,7	74,9	7,8	65,1	84,6	89,1	8,1	79,0	99,6	102,3	9,3	90,7	114,5	117,1	10,6	
57,0	38,3	14,1	21,0	59,0	43,3	12,7	27,0	61,0	45,1	12,6	28,0	62,0	45,2	12,9	
678	511	54	445	579	471	48	413	534	437	45	383	496	408	45	
76	58	8	48	69	55	8	46	65	51	7	42	60	47	7	
7,1	6,5	0,8	5,6	7,5	6,6	0,8	5,7	7,6	6,6	0,8	5,7	7,6	6,5	0,8	
41,7	44,4	4,7	38,7	50,2	48,9	4,8	43,0	55,0	53,3	5,2	46,9	60,0	57,9	5,9	
10,8	14,2	4,6	8,1	20,0	22,2	5,0	15,9	28,7	29,5	5,8	22,4	37,0	38,0	6,6	
18,4	18,9	5,3	11,8	25,4	24,9	4,7	18,8	30,7	28,7	4,4	23,2	34,3	32,4	4,4	
57,0	60,6	6,4	52,8	68,6	66,8	6,5	58,7	75,1	72,8	7,1	64,1	82,0	79,1	8,0	
31,0	32,9	4,3	27,8	38,2	36,6	4,3	31,2	42,0	39,8	4,7	34,0	45,8	42,9	5,4	
28,5	27,7	3,5	23,7	32,3	30,2	3,6	25,7	34,9	33,0	4,0	28,2	38,2	36,2	4,6	
1,17	0,85	0,13	0,71	1,00	0,83	0,12	0,70	0,98	0,84	0,13	0,70	0,98	0,85	0,14	
56,8	54,2	3,6	50,0	58,4	54,7	3,4	50,5	58,8	54,7	3,5	50,5	58,8	54,2	3,7	
1600	1660	135	1500	1820	1770	140	1600	1940	1870	150	1690	2060	1970	170	

n Bevölkerung aus 187.274 Probanden, gestaffelt nach Body Mass Index. Statistische Auswertung aus B.I.A.-Messungen von 160.596 Frauen und 26.678 Normbereichs (von - bis) über die Perzentilen 10 und 90.

(s.a. Kapitel „Berechnungsgrundlagen“ im BIA-Kompendium)

M = *Mittelwert* ***s*** = *Standardabweichung* ***von*** = *Perzentile 10* ***bis*** = *Perzentile 90*

		Übergewicht Grad III ⇒											
		BMI 40-44,9 n=7.959				**BMI 45-49,9** n=2.389				**BMI 50,0-54,9** n=671			
von	**bis**	**M**	**s**	**von**	**bis**	**M**	**s**	**von**	**bis**	**M**	**s**	**von**	**bis**
1,56	1,73	1,64	0,07	1,56	1,73	1,64	0,07	1,55	1,72	1,63	0,07	1,54	1,72
89,0	111,7	113,4	10,1	101,0	126,6	126,0	11,1	112,3	140,3	138,8	12,2	123,4	155,0
27,0	63,0	44,7	13,1	28,0	62,0	44,2	12,5	28,0	61,0	44,4	12,0	29,0	61,0
425	556	456	50	395	521	430	48	371	493	403	48	345	465
42	61	48	8	38	57	44	7	35	54	41	7	32	50
5,1	6,9	6,0	0,8	5,1	6,9	5,9	0,7	5,0	6,9	5,8	0,8	4,9	6,8
36,1	45,1	43,2	3,9	38,3	48,3	45,6	4,2	40,4	50,9	48,1	4,7	42,2	53,9
37,2	52,8	54,2	7,0	45,6	63,4	63,7	7,8	54,1	74,0	73,0	8,5	62,2	84,5
40,1	48,9	47,8	3,3	43,5	51,9	50,5	3,2	46,4	54,6	52,6	3,1	48,4	56,5
49,3	61,6	59,1	5,4	52,3	66,0	62,3	5,7	55,2	69,5	65,7	6,4	57,6	73,6
24,6	32,8	30,5	3,6	26,0	35,0	32,0	3,7	27,3	36,5	33,4	4,1	28,2	38,6
23,0	30,6	28,6	3,4	24,6	32,9	30,3	3,6	25,9	35,0	32,3	4,1	27,2	37,8
0,78	1,11	0,95	0,15	0,78	1,12	0,96	0,15	0,78	1,14	0,98	0,16	0,80	1,17
47,2	56,0	51,6	3,7	47,2	56,0	51,3	3,7	46,7	56,0	50,8	3,9	46,1	55,6
1390	1650	1580	110	1440	1720	1630	120	1480	1770	1670	130	1510	1840

		Übergewicht Grad III ⇒											
		BMI 40-44,9 n=1.400				**BMI 45-49,9** n=395				**BMI 50,0-54,9** n=114			
von	**bis**	**M**	**s**	**von**	**bis**	**M**	**s**	**von**	**bis**	**M**	**s**	**von**	**bis**
1,68	1,87	1,78	0,07	1,69	1,88	1,77	0,07	1,68	1,86	1,77	0,08	1,68	1,88
104,0	131,0	133,3	12,1	118,1	149,6	148,0	12,6	133,3	164,6	163,5	15,2	145,2	185,5
28,0	62,0	44,8	12,8	27,0	61,0	43,4	12,2	27,0	60,0	43,4	10,6	28,0	58,0
354	466	381	45	328	439	361	42	303	416	345	50	284	421
38	56	43	7	34	52	39	7	31	49	37	7	27	45
5,5	7,6	6,4	0,8	5,4	7,4	6,2	0,8	5,2	7,3	6,1	0,8	5,0	7,0
50,7	65,4	63,1	6,6	54,7	71,4	67,1	6,8	59,3	75,9	71,4	8,5	62,2	82,4
29,7	46,8	47,1	7,8	37,4	57,0	56,4	8,9	44,3	67,7	66,0	11,3	53,0	82,7
26,7	38,0	35,3	4,4	29,6	40,9	38,0	4,5	31,5	43,4	40,3	5,2	33,6	48,1
69,2	89,4	86,2	9,1	74,8	97,6	91,7	9,3	81,1	103,7	97,5	11,7	85,0	112,6
36,2	49,8	46,2	5,9	39,0	53,7	48,4	6,2	40,9	55,9	50,8	7,1	43,2	60,1
30,6	42,1	40,0	5,4	33,3	47,2	43,2	5,8	36,2	50,6	46,7	6,9	38,5	55,2
0,70	1,02	0,88	0,15	0,72	1,04	0,90	0,16	0,73	1,09	0,93	0,15	0,76	1,14
49,4	58,8	53,6	3,9	48,9	58,0	52,8	4,0	47,8	57,6	52,1	4,0	46,7	56,6
1760	2190	2070	190	1850	2310	2150	200	1910	2380	2220	230	1980	2520

©Data-Input GmbH 2005

2. Auswertung von Kindern und Jugendlichen

NutriPlus ermöglicht eine Auswertung der BIA-Messungen von Kindern und Jugendlichen, schon ab einem Alter von 3 Jahren. Von besonderer Bedeutung für die Interpretation der Ergebnisse sind altersentsprechende Sollbereiche (Perzentilen). Zur Auswertung gelangten Daten von insgesamt 12.019 Probanden, davon 6.392 Mädchen und 5.627 Jungen im Alter von 3,0 bis 17,9 Jahren aus Deutschland (siehe Tabellen 5 und 6).

Die Analyse beruht primär auf einer speziellen Kinder-Formel zur Berechnung der Magermasse:
Magermasse = $Ht^2/R + F \times wt$

(Ht = Körpergröße in cm, R = Resistance, F = Faktor, wt = Körpergewicht in kg)

Im Altersbereich von 3,0 bis 14,9 Jahren werden folgende Parameter berechnet:
- Körperfett in kg
- Körperfett in Prozent
- Körperwasser
- Magermasse
- Phasenwinkel

Ab einem Alter von 15,0 Jahren werden zusätzlich folgende 3 Parameter berechnet:
- Body Cell Mass BCM
- Extracellular Mass ECM
- ECM/BCM-Index

Ab einem Alter von 6 Jahren erfolgt außerdem eine Analyse mit dem BIA-Vektorgraph.
Einen diagnostischen Untersuchungsplan bei Verdacht auf Adipositas im Kindes- und Jugendalter bietet eine Extra-Tabelle (hier nicht abgebildet).

Einen Überblick über die Formeln zur Berechnung der Körperzusammensetzung bei Kindern und Jugendlichen sowie eine Zusammenfassung der entsprechenden Publikationen bieten die Tabellen 7 und 8 auf den Seiten 39 und 40.

Abb. I 3 Tabellen 5 und 6 (S.37 und S.38): Daten aus dem Data-Input Kinder-Kollektiv mit n= 6.392 Mädchen und n= 5.627 Jungen im Alter von 3,0 - 17,9 Jahren. Geordnet nach Alter.

Auswertung von Kindern und Jugendlichen
Normwerte zur Body Composition: Mädchen n=6.392

s = Standardabweichung *P = Perzentilen*

Alter	n	Kompartiment	Mittelwert	s	P3	P10	P50	P90	P97
3	113	Körperfett BF (kg)	2,7	1,5	1,4	1,5	2,5	4,1	5,0
		Körperfett BF (%)	16,1	4,8	8,9	11,0	15,4	22,3	25,0
		Magermasse LBM (kg)	13,3	1,7	10,9	11,4	13,1	15,6	16,3
		Ganzkörperwasser TBW (l)	10,3	1,4	8,5	8,9	10,0	11,9	12,6
		Phasenwinkel (Grad)	5,3	0,6	4,4	4,6	5,2	6,1	6,4
4	141	Körperfett BF (kg)	2,9	1,2	1,1	1,5	2,7	4,7	5,4
		Körperfett BF (%)	15,4	4,7	6,7	9,4	15,2	21,4	25,1
		Magermasse LBM (kg)	15,5	1,8	12,6	13,3	15,4	17,9	19,2
		Ganzkörperwasser TBW (l)	11,6	1,2	9,8	10,1	11,4	13,6	14,5
		Phasenwinkel (Grad)	5,4	0,6	4,3	4,7	5,3	6,1	6,4
5	173	Körperfett BF (kg)	3,3	1,6	1,0	1,7	3,1	5,4	7,5
		Körperfett BF (%)	15,5	5,3	6,0	9,4	15,8	22,6	26,4
		Magermasse LBM (kg)	17,5	2,4	13,3	14,5	17,5	20,5	22,4
		Ganzkörperwasser TBW (l)	12,9	1,7	10,0	10,9	12,8	15,1	16,4
		Phasenwinkel (Grad)	5,7	0,6	4,7	5,0	5,6	6,3	6,6
6	1860	Körperfett BF (kg)	4,7	2,1	1,9	2,7	4,2	7,2	9,7
		Körperfett BF (%)	20,0	5,7	9,9	13,2	19,7	27,4	31,6
		Magermasse LBM (kg)	18,0	2,4	14,0	15,1	17,8	21,1	23,0
		Ganzkörperwasser TBW (l)	13,6	1,8	10,8	11,6	13,4	16,0	17,8
		Phasenwinkel (Grad)	5,2	0,6	4,2	4,5	5,1	5,8	6,3
7	662	Körperfett BF (kg)	4,8	2,0	2,0	2,8	4,4	7,3	10,0
		Körperfett BF (%)	19,6	5,3	10,1	12,9	19,6	26,3	30,4
		Magermasse LBM (kg)	19,0	2,7	14,8	15,8	18,7	22,4	25,1
		Ganzkörperwasser TBW (l)	14,3	2,0	11,3	12,1	14,0	17,0	18,8
		Phasenwinkel (Grad)	5,2	0,6	4,2	4,6	5,2	5,9	6,4
8	98	Körperfett BF (kg)	5,2	3,0	0,9	2,0	4,5	9,4	13,8
		Körperfett BF (%)	17,2	7,0	2,8	7,7	16,6	26,7	32,1
		Magermasse LBM (kg)	23,8	3,6	16,9	19,0	23,5	28,8	31,1
		Ganzkörperwasser TBW (l)	17,2	2,7	12,8	14,0	16,7	20,7	24,1
		Phasenwinkel (Grad)	5,9	0,9	4,5	4,9	5,7	6,9	8,6
9	347	Körperfett BF (kg)	7,6	3,6	2,6	3,9	6,8	12,1	16,7
		Körperfett BF (%)	21,8	6,5	8,8	13,6	22,0	30,3	34,3
		Magermasse LBM (kg)	25,8	4,1	19,7	21,2	25,2	31,5	34,0
		Ganzkörperwasser TBW (l)	19,2	3,2	14,8	15,7	18,4	23,4	26,7
		Phasenwinkel (Grad)	5,5	0,6	4,6	4,9	5,4	6,1	7,1
10	1143	Körperfett BF (kg)	9,2	4,3	3,5	4,9	8,3	14,6	19,0
		Körperfett BF (%)	24,1	6,7	11,6	15,8	24,2	32,9	37,0
		Magermasse LBM (kg)	27,5	4,5	20,5	22,4	27,0	33,6	37,6
		Ganzkörperwasser TBW (l)	20,7	3,7	15,3	16,5	20,2	25,5	28,9
		Phasenwinkel (Grad)	5,4	0,6	4,5	4,8	5,4	6,0	6,5
11	429	Körperfett BF (kg)	9,9	4,8	3,1	4,5	8,9	17,0	21,2
		Körperfett BF (%)	24,0	7,5	9,3	14,2	23,7	34,2	37,0
		Magermasse LBM (kg)	29,8	5,5	21,1	23,6	28,9	37,1	41,4
		Ganzkörperwasser TBW (l)	22,3	4,3	15,6	17,6	21,4	28,0	31,2
		Phasenwinkel (Grad)	5,4	0,6	4,4	4,7	5,3	6,0	6,6
12	80	Körperfett BF (kg)	8,9	4,4	3,5	4,4	7,7	14,3	21,5
		Körperfett BF (%)	19,8	6,6	9,1	12,1	18,4	28,9	37,3
		Magermasse LBM (kg)	34,8	5,7	23,6	26,7	34,7	42,6	44,6
		Ganzkörperwasser TBW (l)	24,8	4,0	17,4	18,9	24,5	29,9	33,5
		Phasenwinkel (Grad)	5,6	0,7	4,4	4,8	5,6	6,6	7,5
13	53	Körperfett BF (kg)	10,0	4,3	3,6	5,1	9,3	16,5	19,7
		Körperfett BF (%)	19,7	5,9	9,9	11,9	20,5	28,0	30,6
		Magermasse LBM (kg)	39,3	5,6	26,6	33,4	38,5	46,3	52,5
		Ganzkörperwasser TBW (l)	27,8	4,3	18,8	23,7	27,5	33,7	38,2
		Phasenwinkel (Grad)	5,8	0,5	5,0	5,1	5,8	6,7	7,0
14	192	Körperfett BF (kg)	14,6	5,6	6,3	8,8	13,5	15,9	28,0
		Körperfett BF (%)	25,2	5,7	14,7	18,1	25,1	34,2	36,2
		Magermasse LBM (kg)	41,9	5,7	33,5	36,0	41,1	37,1	55,3
		Ganzkörperwasser TBW (l)	30,9	4,7	24,5	26,4	29,9	28,0	41,8
		Phasenwinkel (Grad)	5,5	0,6	4,4	4,8	5,5	6,1	6,5
15	334	Körperfett BF (kg)	17,9	4,5	9,4	12,3	17,9	23,5	26,7
		Körperfett BF (%)	28,6	5,0	17,6	22,5	29,1	34,6	37,4
		Magermasse LBM (kg)	44,2	4,9	34,4	38,0	44,0	50,7	53,3
		Ganzkörperwasser TBW (l)	33,3	3,6	26,2	28,6	33,3	37,9	40,2
		Phasenwinkel (Grad)	5,8	0,6	4,6	5,0	5,7	6,6	7,0
16	354	Körperfett BF (kg)	18,8	3,8	11,6	13,8	18,9	23,9	25,7
		Körperfett BF (%)	29,6	4,5	21,2	23,9	29,4	35,0	37,9
		Magermasse LBM (kg)	44,6	4,8	35,6	39,2	44,1	50,9	53,9
		Ganzkörperwasser TBW (l)	33,8	3,3	27,4	29,6	33,8	38,0	39,9
		Phasenwinkel (Grad)	5,9	0,7	4,6	5,1	5,8	6,7	7,2
17	397	Körperfett BF (kg)	18,3	4,1	11,4	13,0	18,5	23,6	26,2
		Körperfett BF (%)	28,8	4,8	19,4	22,5	28,9	34,5	37,6
		Magermasse LBM (kg)	45,0	4,9	35,8	38,6	44,7	51,4	54,4
		Ganzkörperwasser TBW (l)	33,9	3,3	27,7	29,5	34,0	38,2	40,1
		Phasenwinkel (Grad)	6,0	0,6	4,9	5,2	5,9	6,7	7,4

© Data-Input GmbH 2005

*Die Erstellung dieser Auswertung wurde ermöglicht durch Überlassung von Daten des Instituts für Humanernährung u. Lebensmittelkunde der Christian-Albrechts-Universität Kiel, Herr Professor M.-J. Müller und Frau Dr. A. Bosy-Westphal; und des Instituts für Humangenetik u. Anthropologie der Friedrich-Schiller-Universität Jena, Frau Dr. Kromeyer-Hauschild.

Auswertung von Kindern und Jugendlichen
Normwerte zur Body Composition: Jungen n= 5.627

s = Standardabweichung *P = Perzentilen*

Alter	n	Kompartiment	Mittelwert	s	P3	P10	P50	P90	P97
3	98	Körperfett BF (kg)	2,0	0,8	0,8	1,1	2,0	3,1	3,5
		Körperfett BF (%)	12,8	4,2	5,2	7,2	12,9	18,9	20,8
		Magermasse LBM (kg)	13,8	1,4	11,0	12,1	13,8	15,7	16,6
		Ganzkörperwasser TBW (l)	10,3	0,9	8,8	9,3	10,2	11,5	12,2
		Phasenwinkel (Grad)	5,2	0,6	4,1	4,4	5,2	6,0	6,3
4	161	Körperfett BF (kg)	2,3	1,1	0,8	1,2	2,2	3,6	4,6
		Körperfett BF (%)	12,8	4,5	4,2	7,5	12,5	18,3	22,1
		Magermasse LBM (kg)	15,7	1,9	12,4	13,0	15,8	18,2	19,2
		Ganzkörperwasser TBW (l)	11,6	1,3	9,4	9,9	11,5	13,0	13,8
		Phasenwinkel (Grad)	5,4	0,5	4,4	4,7	5,4	6,0	6,5
5	169	Körperfett BF (kg)	2,6	1,2	0,7	1,3	2,4	4,1	5,2
		Körperfett BF (%)	1[illegible]	4,5	4,0	6,5	11,8	18,4	21,8
		Magermasse LBM (kg)	[illegible]	2,5	13,6	14,7	17,8	21,2	22,9
		Ganzkörperwasser TBW (l)	[illegible]	1,7	10,2	10,9	12,7	15,0	16,9
		Phasenwinkel (Grad)	5,5	0,6	4,5	4,8	5,4	6,3	6,7
6	1790	Körperfett BF (kg)	4,1	[illegible]	1,5	2,1	3,7	6,3	9,1
		Körperfett BF (%)	17,2	[illegible]	7,1	10,5	16,8	23,9	29,5
		Magermasse LBM [illegible]	18,9	2,6	14,6	15,8	18,6	22,4	24,6
		Ganzkörperwass[illegible]BW (l)	14,0	1,9	11,1	11,8	13,7	16,6	18,6
		Phasenwinkel ([illegible])	5,2	0,6	4,2	4,5	5,1	5,8	6,4
7	773	Körperfett BF [illegible]	4,3	2,2	1,5	2,3	3,8	6,8	9,8
		Körperfett BF [illegible]	17,0	5,7	6,8	10,6	16,6	20,7	30,1
		Magermasse LB[illegible](kg)	20,2	2,9	15,8	16,9	19,8	23,8	26,8
		Ganzkörperwas[illegible]TBW (l)	14,8	2,1	11,8	12,6	14,4	17,5	19,9
		Phasenwinkel (G[illegible])	5,2	0,6	4,2	4,5	5,2	5,9	6,4
8	108	Körperfett BF (kg)	4,1	2,2	0,8	1,9	3,9	6,9	10,1
		Körperfett BF (%)	[illegible]	[illegible]	3,2	6,6	13,3	22,8	26,3
		Magermasse LBM (kg)	24,5	[illegible]	19,2	21,1	23,9	28,7	30,3
		Ganzkörperwasser TBW [illegible]	17,2	[illegible],9	13,7	15,1	17,0	19,7	21,3
		Phasenwinkel (Grad)	[illegible]	0,9	4,5	5,0	5,9	7,0	8,6
9	247	Körperfett BF (kg)	[illegible]	3,7	2,4	3,0	5,9	12,8	16,5
		Körperfett BF (%)	18,9	7,0	8,2	10,7	18,5	29,5	35,0
		Magermasse LBM (kg)	27,5	3,5	20,9	23,3	27,3	32,4	34,4
		Ganzkörperwasser TBW (l)	17,9	2,9	15,3	16,7	19,4	24,3	26,5
		Phasenwinkel (Grad)	5,6	0,6	4,6	4,9	5,6	6,3	6,8
10	1167	Körperfett BF (kg)	8,0	4,2	2,8	3,9	6,9	13,7	18,3
		Körperfett BF (%)	21,0	6,8	9,3	12,8	20,3	30,6	35,2
		Magermasse LBM (kg)	28,4	4,2	21,6	23,5	28,1	34,1	37,1
		Ganzkörperwasser TBW (l)	20,8	3,5	15,9	17,0	20,3	25,5	28,3
		Phasenwinkel (Grad)	5,5	0,5	4,6	4,8	5,4	6,1	6,5
11	462	Körperfett BF (kg)	9,1	4,8	3,2	4,3	7,7	15,6	20,3
		Körperfett BF (%)	21,9	7,0	9,8	13,3	21,8	31,5	35,7
		Magermasse LBM (kg)	30,5	5,1	22,0	24,6	29,9	37,6	42,3
		Ganzkörperwasser TBW (l)	22,4	4,1	16,3	17,9	21,7	27,6	31,5
		Phasenwinkel (Grad)	5,5	0,5	4,6	4,9	5,5	6,2	6,5
12	120	Körperfett BF (kg)	8,8	6,1	1,5	3,0	6,9	17,6	26,3
		Körperfett BF (%)	18,9	9,1	4,1	7,6	18,6	31,3	39,4
		Magermasse LBM (kg)	34,9	6,9	23,4	27,5	33,8	44,8	49,5
		Ganzkörperwasser TBW (l)	24,8	5,0	17,0	19,5	23,6	31,8	34,2
		Phasenwinkel (Grad)	5,7	0,6	4,5	4,9	5,6	6,4	7,0
13	53	Körperfett BF (kg)	6,8	4,1	0,4	2,8	6,3	11,7	19,6
		Körperfett BF (%)	13,2	6,7	0,8	5,3	12,6	22,1	29,8
		Magermasse LBM (kg)	44,4	9,0	25,6	35,1	44,2	55,3	66,3
		Ganzkörperwasser TBW (l)	29,7	5,8	19,1	23,2	29,5	35,5	44,6
		Phasenwinkel (Grad)	6,0	0,6	4,7	5,3	5,9	7,0	7,2
14	186	Körperfett BF (kg)	10,3	5,8	2,5	4,5	9,4	17,6	26,4
		Körperfett BF (%)	16,6	6,6	5,2	8,5	16,3	25,4	31,0
		Magermasse LBM (kg)	49,8	8,9	30,5	37,2	50,1	62,1	65,8
		Ganzkörperwasser TBW (l)	33,9	6,1	21,8	25,9	33,7	41,8	47,7
		Phasenwinkel (Grad)	5,8	0,5	4,7	5,1	5,8	6,4	6,9
15	149	Körperfett BF (kg)	12,5	6,9	3,9	5,6	10,7	21,5	30,4
		Körperfett BF (%)	18,5	7,4	6,4	10,0	18,0	29,6	34,6
		Magermasse LBM (kg)	52,4	7,2	39,3	42,5	52,8	61,7	65,2
		Ganzkörperwasser TBW (l)	36,2	5,4	26,9	28,9	35,7	43,3	50,1
		Phasenwinkel (Grad)	6,0	0,7	4,6	5,0	5,9	7,0	7,6
16	69	Körperfett BF (kg)	13,6	7,1	4,1	6,6	12,4	21,8	38,2
		Körperfett BF (%)	19,0	6,9	7,2	11,5	18,4	27,9	38,1
		Magermasse LBM (kg)	56,0	7,6	40,1	46,4	55,2	66,9	74,9
		Ganzkörperwasser TBW (l)	38,6	5,5	27,1	32,7	38,2	47,4	51,6
		Phasenwinkel (Grad)	6,4	0,7	5,2	5,5	6,5	6,8	7,7
17	52	Körperfett BF (kg)	13,7	4,1	5,8	9,0	13,3	19,7	23,0
		Körperfett BF (%)	19,0	5,0	10,1	11,8	18,8	26,1	30,9
		Magermasse LBM (kg)	58,2	7,6	47,0	49,7	55,8	69,4	76,6
		Ganzkörperwasser TBW (l)	39,9	4,5	31,8	35,2	38,9	45,9	49,7
		Phasenwinkel (Grad)	6,6	0,7	4,8	5,5	6,7	7,5	7,9

©Data-Input GmbH 2005

*Die Erstellung dieser Auswertung wurde ermöglicht durch Überlassung von Daten des Instituts für Humanernährung u. Lebensmittelkunde der Christian-Albrechts-Universität Kiel, Herr Professor M.-J. Müller und Frau Dr. A. Bosy-Westphal; und des Instituts für Humangenetik u. Anthropologie der Friedrich-Schiller-Universität Jena, Frau Dr. Kromeyer-Hauschild.

Formelübersicht für die Bestimmung von Körperwasser TBW, Fettmasse FM oder Fettfreier Masse FFM bei Kindern und Jugendlichen:

Anthropometrie:	
Lohmann (1986):	FM (kg) = wt x (5.28/D) – 4.86
Deurenberg et al. (1990):	FM (%) = ((562 – 4.2 (age (years) – 2))/D – (525 – 4.7 (age (years) – 2)), where D is body density: Boys, D (g/ml) = 1.690 - 0.0788 x (log (sum of four skinfolds)) Girls, D (g/ml) = 1.2063 - 0.0999 x (log (sum of four skinfolds))
Slaughter et al. (1988):	Summe von HFD Subscapula + Triceps > 35mm: Jungen: BF (%) = 0.783 x (HFD Subscapula + Triceps) + 1.6 Mädchen: BF (%) = 0.546 x (HFD Subscapula + Triceps) + 9.7 Summe von HFD Subscapula + Triceps < 35mm: Jungen: BF (%) = 1.21 x (HFD Subscapula + Triceps) – 0.008 x (HFD Subscapula + Triceps)^2 + k* Mädchen: BF (%) = 1.33 x (HFD Subscapula + Triceps) – 0.013 x (HFD Subscapula + Triceps)^2 – 2.5
Bioelektrische Impedanz Analyse:	
Cordain et al. (1988):	FFM = 6.86 + 0.81 x (Ht^2/R) (Ht in cm)
Davies et al. (1988):	TBW = - 0.5 + 0,60 x (Ht^2/R) (Ht in m)
De Lorenzo et al. (1998):	FFM = 2.33 + 0.588 x (Ht^2/R) + 0.211 x wt (Ht in cm)
Deurenberg et al. (1989):	FFM = 0.430 x 10^4 x Ht^2/R + 0.354 x wt + 0.9 x sex (sex: 1 = männlich, 2 = weiblich; Ht in m)
Deurenberg et al. (1990):	Jungen und Mädchen im Alter von 7-9 Jahren: FFM = 0.640 x 10^4 x (Ht^2/R) + 4.83 Mädchen von 10-12 und Jungen von 10-15 Jahren: FFM = 0.488 x 10^4 x (Ht^2/R) + 0.221 x wt + 12.77 x Ht – 14.7 Mädchen älter als 13 und Jungen älter als 16 Jahre: FFM = 0.258 x 10^4 x (Ht^2/R) + 0.375 x wt + 6,3 x sex + 10.5 x Ht – 0.164 x age – 6.5 (sex: 1 = männlich, 2 = weiblich; Ht in m)
Fjeld et al. (1990):	TBW = 0.76 + 0.18 x /Ht^2/R) + 0.39 x wt (Ht in cm)
Houtkooper et al. (1989):	FM (%) = -1.11 x (Ht^2/R) + 1.04 x wt + 15.16 (Ht in cm)
Houtkooper et al. (1992):	FFM = 0.61 x (Ht^2/R) + 0.25 x wt + 1.31 (Ht in cm)
Kushner et al. (1992):	TBW = 0.593 x (Ht^2/R) + 0.065 x wt + 0.04 (Ht in cm)
Schaefer et al. (1994):	FFM = 0.65 x (Ht^2/R) + 0.68 x age + 0.15 (Ht in cm)
Wabitsch et al. (1996):	TBW = 0.35 x (Ht^2/R) + 0.27 x age + 0.14 x wt – 0.12 (Ht in m)
Wühl et al. (1996):	TBW = 1.99 + 0.144 x (Ht^2/R) + 0.40 x wt (Ht in cm)
Anthropometrie kombiniert mit Bioelektrischer Impedanz Analyse:	
Goran et al. (1996):	FFM (kg) = (0.16 x (Ht^2/R)) + (0.67 x wt) – (0.11 x TSF (mm) – (0.16 x SSF (mm) + (0.43 x sex) + 2.41 (sex: 1 = männlich, 2 = weiblich; Ht in cm)

wt = weight (kg); Ht = height (in m oder cm); TBW = Total Body Water in l; FFM = Fat-Free-Mass in kg; FM = Fat Mass bzw. BF = Body Fat = Weight – FFM; TSF = Triceps Skinfold Thickness (mm); SSF = Subscapular skinfold thickness (mm); Age = years, HFD = Hautfaltendicke. k = Konstante nach Tanner-Reifestadium*

© Data-Input GmbH 2004

Abb. I 4 Tabelle 7: Übersicht Formelgrundlagen Kinder u. Jugendliche

BIA-Formeln für Kinder und Jugendliche: Übersicht der Publikationen

Autor, Jahr	Formel	Studienbeschreibung	Literaturangabe
Cordain et al. 1988	FFM = 6.86 + 0.81 x (Ht^2/R) (Ht in cm)	Insgesamt 30 gesunde Kinder wurden mittels BIA, Densitometrie und K40-Ganzkörperzählung untersucht. Jungen (n=14): 12,5 ± 1,0 Jahre, Größe 157,7 ± 8,4 cm, Gewicht 46,3 ± 8,7 kg. Mädchen (n=16): 11,6 ± Jahre, Größe 153,5 ± 8,3 cm, Gewicht 44,5 ± 7,7 kg.	Cordain Loren, Whicker, R., Johnson J.: Body Composition Determination in Children Using Bioelectrical Impedance. Growth Dev. Aging (1988) 52: 37-40.
Davies et Preece 1988	TBW = - 0.5 + 0,60 x (Ht^2/R) (Ht in m)	Die 26 untersuchten gesunden Kinder waren 12,9 ± 3,3 Jahre alt, wogen 39,8 ± 15,4 kg und waren 1,41 ± 0,18 m groß. Die Formel wurde mit Deuterium-Dilution validiert.	Davies Peter S., Preece, M.: The prediction of total body water using bioelectrical impedance in children and adolescents. Annals of Human Biology, 1988, Vol. 15, No. 3, 237-240.
De Lorenzo et al. 1998	FFM = 2.33 + 0.588 x (Ht^2/R) + 0.211 x wt (Ht in cm)	Diese Formel evaluierte de Lorenzo an 35 Schulkindern im Alter von 7,7 bis 13 Jahren. Vergleichsmethode: DEXA.	De Lorenzo A, SP Sorge, Iacopino L, Andewoli A, de Luca PP, Sasso FF: Fat-Free Mass by bioelectrical impedance vs dual-energy x-ray absorptiometry (DXA). Appl. Radiat. Isot. 1998; 49: 739-741.
Deurenberg et al. 1989	FFM = 0.430 x 10^4 x Ht^2/R + 0.354 x wt + 0.9 x sex (sex: 1 = männlich, 2 = weiblich; Ht in m)	Die Daten wurden an 73 gesunden präpubertären Kindern im Alter von 8-11 Jahren erhoben. Die Kinder wogen 31,8 ± 5,5 (Jungen) bzw. 29,8 ± 3,8 kg. Die Körpergröße betrug 1,37m ± 0,05 (Jungen) bzw. 1,36 m ± 0,06 (Mädchen).	Deurenberg P., Kooy, K., Paling, A., Withagen, P.: Assessment of Body Composition in 8-11 year old Children by Bioelectrical Impedance. European Journal of Clinical Nutrition 1989, 43, 623-629.
Deurenberg et al. 1990	Jungen und Mädchen im Alter von 7-9 Jahren: FFM = 0.640 x 10^4 x (Ht^2/R) + 4.83 Mädchen von 10-12 und Jungen von 10-15 Jahren: FFM = 0.488 x 10^4 x (Ht^2/R) + 0.221 x wt + 12.77 x Ht – 14.7 Mädchen älter als 13 und Jungen älter als 16 Jahre: FFM = 0.258 x 10^4 x (Ht^2/R) + 0.375 x wt + 6,3 x sex + 10.5 x Ht – 0.164 x age – 6.5 (sex: 1 = männlich, 2 = weiblich; Ht in m)	Insgesamt wurden 246 Kinder im Alter von 7-25 Jahren mittels BIA, Densitometrie und Anthropometrie untersucht. Da die Ergebnisse stark altersabhängig waren, wurden je 3 Altersgruppen gebildet.	Deurenberg P., Kusters, C., Smit H.: Assessment of body composition by bioelectrical impedance in children and young adults is strongly age-dependent. European Journal of Clinical Nutrition 1990, 44, 261-268.
Fjeld et al. 1990	TBW = 0.76 + 0.18 x /Ht^2/R) + 0.39 x wt (Ht in cm)	Diese Formel zur Berechnung des Körperwassers TBW wurde an 65 peruanischen Kindern evaluiert. Die Kinder waren zum Teil mangelernährt oder untergewichtig. Das Alter betrug 3-30 Monate alt, das Gewicht lag zwischen 3,4 und 14,4 kg. Die Formel wurde mit Deuterium-Dilution validiert.	Fjeld CR., Freundt-Thurne J., Schoeller, DA.: Total Body water measured by O18 dilution and impedance in well and malnourished children. Pediatric Research 1990; Vol. 27, No. 1, 98-102.
Houtkooper et al. 1989	FM (%) = -1.11 x (Ht^2/R) + 1.04 x wt + 15.16 (Ht in cm)	In dieser Arbeit wurden 41 Mädchen und 53 Knaben im Alter von 10 – 14 Jahren untersucht. Die Kinder waren durchschnittlich 155,9 bzw. 153,1 cm groß und wogen 50,6 bzw. 47,5 kg. Die Formel wurde validiert mit Anthropometrie und Deuterium-Dilution.	Houtkooper LB, Lohmann TG, Going SB, Hall MC. Validity of bioelectrical impedance for body composition assessment in children. J. Appl. Physiol. 1989; 66: 814-821.
Houtkooper et al. 1992	FFM = 0.61 x (Ht^2/R) + 0.25 x wt +1.31 (Ht in cm)	Houtkooper entwickelte diese Formel im Vergleich zu Anthropometrie, Densitometrie und Deuterium-Dilution an 25 Schulkindern im Alter von 10-14 Jahren sowie an 68 Kindern im Alter von 11-19 Jahren. Die Kinder waren 153,6 +/- 10,6 cm groß und wogen 47,0 +/- 11,3 kg.	Houtkooper LB, SB Going, TG Lohman, AF Roche, M Van-Loan: Bioelectrical impedance estimation of fat-free body mass in children and youth: a cross-validation study. J. Appl. Physiol. 1992; 71: 366-373.
Kushner et al. 1992	TBW = 0.593 x (Ht^2/R) + 0.065 x wt + 0.04 (Ht in cm)	Die Messungen von 62 Erwachsenen, 37 präpubertären Kindern, 44 Vorschulkindern und 32 untergewichtigen Frühgeborenen wurden mit BIA und Deuterium-Dilution validiert.	Kushner Robert F., D. Schoeller, C. Fjeld, and L. Danford: 12. Is the impedance index (ht2/R) significant in predicting total body water? Am. J. Clin. Nutr. 1992; 56: 835-9.
Mayfield et al. 1991	TBW (ml) = 215.6 WL^2/ R + 592	Spezialformel für untergewichtige Säuglinge. W = Weight in kg, L = Crown-Heel-Length in cm. Inhalt: 32 untergewichtige Neugeborene <2500g wurden bei Geburt und 4-7 Tage nach Geburt gemessen. Validiert wurde mit Deuterium für TBW und Bromid für ECW.	Mayfield Steven R., Ricardo Uauy, and Dawn Waidelich: Body Composition of low-birth-weight-infants determined by using bioelectrical resistance and reactance. Am. J. Clin. Nutr. 1991; 54:296-303.
Schaefer et al. 1994	FFM = 0.65 x (Ht^2/R) + 0.68 x age + 0.15 (Ht in cm)	Entwickelt an 112 gesunden Kindern im Alter von 11,8 ± 3,7 Jahren. Die Fettfreie Masse FFM wurde mit Kalium 40-Ganzkörperzählung validiert.	Schaefer F., M. Georgi, A. Ziegler und K. Schärber. Pediatric Research, Vol. 35, No. 5, 1994, 617-624. Usefulness of Bioelectric Impedance and Skinfold Measurements in Predicting Fat-Free Mass Derived from Total Body Potassium in Children.
Wabitsch et al. 1996	TBW = 0.35 x (Ht^2/R) + 0.27 x age + 0.14 x wt – 0.12 (Ht in m)	Die Formel wurde an 146 übergewichtigen Kindern im Alter von 12,7 ± 3,0 Jahren entwikkelt. Die Kinder wogen 74,1 ± 22,3 kg bei einer Größe von 158,5 ± 15,7 cm. Referenzmethode: Deuterium-Dilution.	Wabitsch M., Braun, U., Heinze, E., Muche, R., Mayer, H., Tellere, W., Fusch, C.: Body Composition in 5-18-y-old obese children and adolescents before and after weight reduction as assessed by deuterium dilution and bioelectrical impedance analysis. Am. Journal of Clin. Nutrition, 1996; 64: 1-6.
Wühl et al. 1996	TBW = 1.99 + 0.144 x (Ht^2/R) + 0.40 x wt (Ht in cm)	Spezialformel für die Bestimmung des Körperwassers bei dialysepflichtigen Kindern und Jugendlichen. 14 Patienten mit Peritonealdialyse waren durchschnittlich 11,9 Jahre alt; 9 Patienten mit Hämodialyse waren im Durchschnitt 16,6 Jahre alt. Validierung mit Deuterium-Dilution.	Wühl E., Ch. Fusch, K. Schärer, O. Mehls, F. Schaefer. Assessment of total body water in paediatric patients on dialysis. Nephrol. Dial. Transplant (1996) 11: 75-80.

wt = weight (kg); Ht = Height in m oder cm; TBW = Total Body Water in l; FFM = Fat-Free-Mass in kg; FM = Fat Mass bzw. BF = Body Fat = Weight – FFM;

Abb. I 5 Tabelle 8: Übersicht der publizierten Formeln für Kinder u. Jugendliche

© Data-Input GmbH 2004

3. Der Z-Score-Vektorgraph

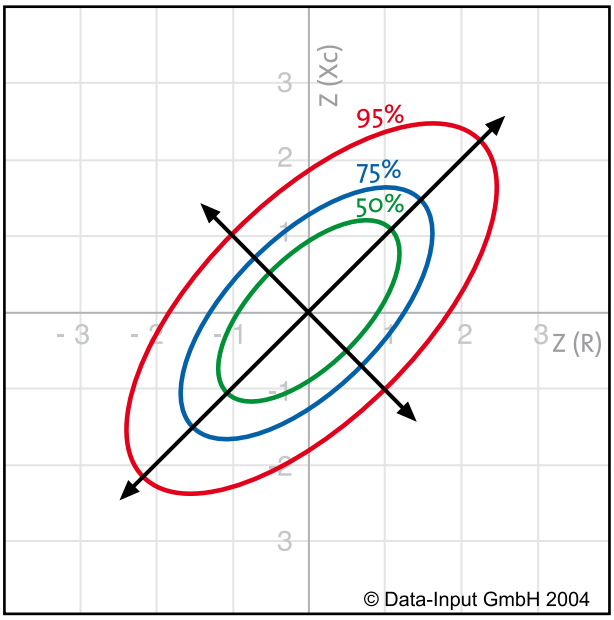


Abb. I 6 Interpretationsgraphik mit Vektorperzentilen

Die Vektorgraphen nach Professor A. Piccoli haben sich weltweit zur einfachen Beurteilung von B.I.A.-Ergebnissen durchgesetzt.

Die hier verwendeten, ganz neu erstellten Vektorgraphen wurden von zwei Arbeitsgruppen an den Universitäten Padua (Prof. A. Piccoli) und Kiel (Prof. M.J. Müller) in einer aufwändigen Forschungsarbeit an Daten von exakt 228.899 Probanden entwickelt – der größte Datenpool, der bislang bei Vektorgraphen zum Einsatz kam.

Eine besonders effektive Darstellungsweise bietet dabei der Z-Score-Vektorgraph. Er gewährleistet überzeugende prima-vista-Diagnostik und basiert auf der Darstellung von Standardabweichungen. So lassen sich sogar Messungen miteinander vergleichen, die mit Geräten verschiedener Hersteller erhoben wurden.

Aufgrund der großen Fallzahlen konnten viele spezifische Vektoren für unterschiedliche Patientengruppen und Fragestellungen konstruiert werden:

- Normalkollektiv-Vektorgraph
- Vektorgraphen für Erwachsene in Altersgruppen von 18 bis hin zu 70 Jahren, und zwar jeweils für ein breites Spektrum von Gewichtsgruppen (BMI 18,5 bis 50)
- Spezielle Kinder-Vektorgraphen, ab einem Alter von 6 Jahren, sowohl für normal-, als auch für übergewichtige Kinder

4. Gewichtsunabhängige BIA-Auswertung

Das Körpergewicht ist ein wichtiger Bestandteil der meisten Formeln zur Bestimmung der Körperzusammensetzung. Bei Patienten, deren Gewicht nicht bekannt ist bzw. die nicht gewogen werden können (z.B. Pflegefälle), kann daher meistens keine BIA-Auswertung erfolgen.

Für diese Patienten wurde in NutriPlus eine Spezialformel integriert, die ohne den Parameter Körpergewicht auskommt. Die Formel ermöglicht die Berechnung der Magermasse:

Magermasse (kg) = $Ht^2/R + F \times s$

(R = Resistance, Ht = Körpergröße Meter, F = Faktor, s = sex , 0 für Frauen und 1 für Männer)

Aus der Magermasse werden über den Phasenwinkel folgende Kompartimente abgeleitet:

- Body Cell Mass BCM
- Extrazelluläre Masse ECM
- ECM/BCM-Index
- Prozentualer Zellanteil (%-Zellanteil)

Diese 4 Parameter dienen vor allem dem Erkennen von katabolen Prozessen in der Body Cell Mass. Die entsprechenden individuellen Normalwerte werden aus einer passenden Spezialtabelle entnommen. Die Bestimmung des Körperfetts (und einiger anderer Parameter) ist in diesem Modus nicht möglich.

Fehlmessungen: bei bettlägerigen Patienten kommt es besonders leicht zu Fehlmessungen. Der Grund liegt meist in der mangelnden Mobilität der Patienten. Die BIA-Messung sollte normalerweise folgendermaßen durchgeführt werden: der Patient liegt flach ausgestreckt auf dem Rücken. Arme und Beine sind in einem Winkel von ca. 45° vom Körper abgespreizt, damit der Messstrom durch die gesamte Länge von Arm, Torso und Bein fließen kann. Jede periphere Berührung von Arm und Torso, oder der Beine, führt zu einem abweichenden Stromfluss und damit zu falschen Messergebnissen. Daher sollte bei Patienten, die nicht ausreichend mobil sind, z.B. ein Handtuch oder Kleidungsstück in die Achsel oder zwischen die Schenkel gelegt werden, um eine isolierende Schicht zu schaffen.

Die gewichtsunabhängige BIA-Messung ist naturgemäß weniger genau als die übliche, gewichtsgestützte Messung, ermöglicht aber dennoch eine aussagefähige Analyse. Vor allem bei Pflegefällen wird eine Beurteilung des Ernährungszustands erleichtert.

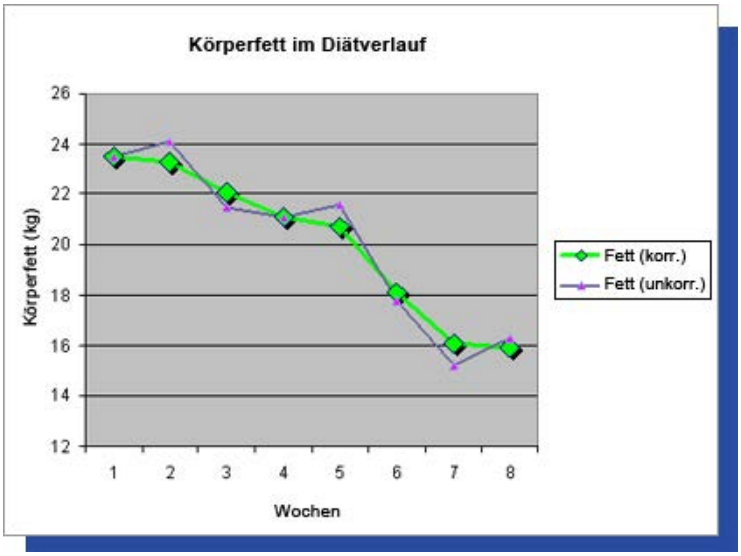


Abb. I 7: Genaue Bestimmung der Körperfettwerte
Graue Linie = Fett unkorrigiert, mit Ausreißern durch Wasserschwankungen
Grüne Linie = Fett korrigiert, physiologischer Verlauf

5. Optimierung der Fettbestimmung (korrigiertes Fett)

Der Messstrom einer BIA-Messung breitet sich innerhalb des Körperwassers und damit der Magermasse des Körpers aus. Körperfett wirkt als Isolator, in dem sich der BIA-Messstrom nicht ausbreiten kann. BIA misst daher das Körperfett nur indirekt, als Differenz zwischen berechneter Magermasse und dem Körpergewicht.

Deshalb führen Schwankungen des Körperwassers, egal ob tageszeitlich oder durch jedwede Beeinflussung des Wasserhaushalts bedingt, zu Änderungen des berechneten Körperfetts. Die Folge können schwer nachvollziehbare Änderungen der Körperfettmenge sein. NutriPlus beinhaltet einen Formelblock, der diese Wasserschwankungen ausblendet.

Es entsteht ein neuer Parameter namens „Fett korrigiert“ (Fett korr.), welcher in der NutriPlus Auswertung zusätzlich ausgedruckt wird. Das originär berechnete Fett wird im Ergebnisausdruck zusätzlich aufgelistet (als „Fett unkorr.“). Das „Korrigierte Fett“ hat sich in der Routine von Klinik- und Praxisalltag bestens bewährt.

J. Messtechnik

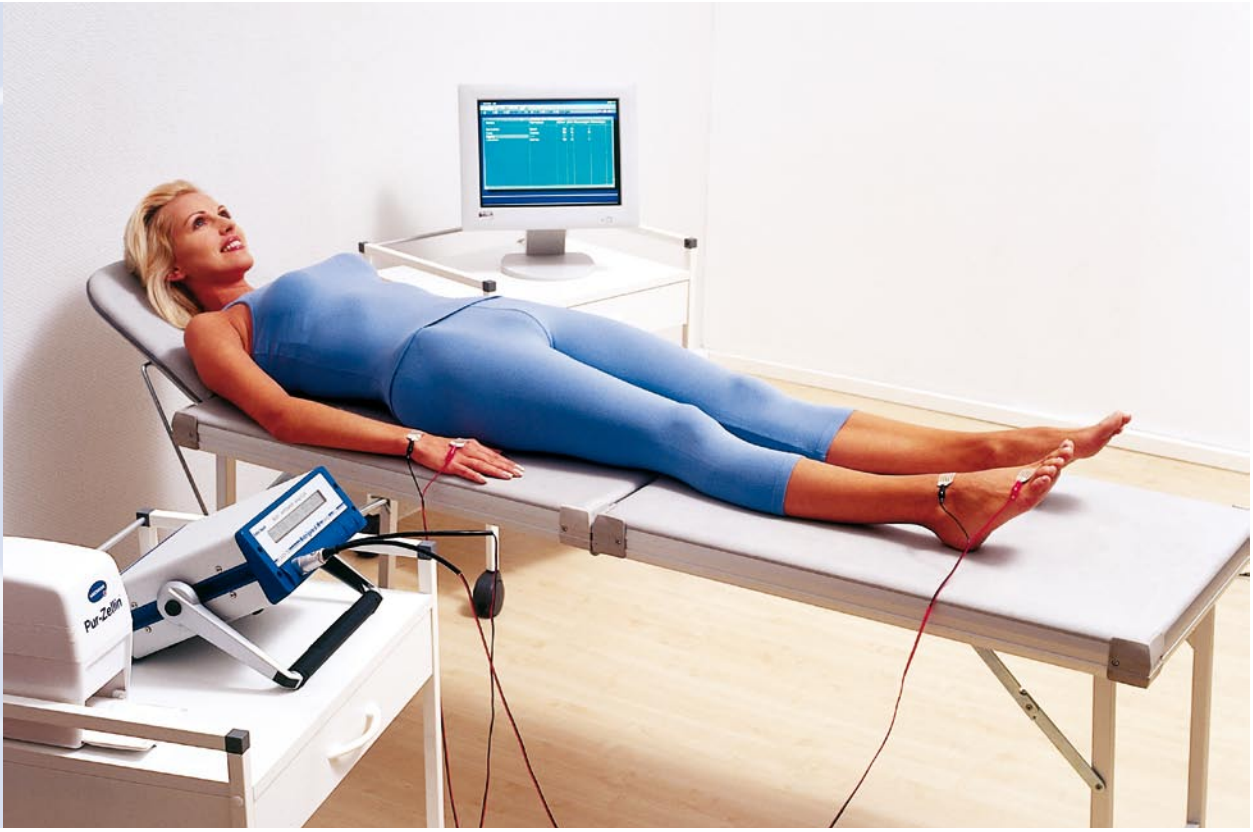


Abb. J1 Bioimpedanz-Meßplatz

Zur Durchführung von BIA-Messungen benötigen Sie:

- eine Liege
- eine geeichte Waage
- ein BIA-Gerät inkl. Messkabel und Spezialelektroden
- Desinfektionsmittel und Tupfer
- PC mit Auswertungssoftware

Genaue und reproduzierbare Messungen erhält man nur bei akkurater Messtechnik. Eine abweichende Platzierung der Messelektroden von nur einem Zentimeter kann beispielsweise zu einer Messabweichung von bis zu 20 Ohm führen; dies entspricht schon einem Liter Körperwasser.

1. Durchführung der Messung:

1. Indikation/Kontraindikation

Die Messung ist bei allen Personen, vom Säuglingsalter bis zum Greisenalter, möglich. Es gibt keine Erkrankung, die eine Kontraindikation für die Impedanzmessung darstellt. Auch Träger eines Herzschrittmachers können im Prinzip problemlos gemessen werden. Kontraindikation: Obwohl bisher weltweit keine Zwischenfälle infolge einer BIA-Messung bekannt sind, sollten bei Patienten mit implantiertem Defibrillator keine Messungen durchgeführt werden, da nicht mit Sicherheit auszuschließen ist, daß das bei der Messung induzierte Stromfeld den Defibrillator aktiviert. Da oft keine genauen Angaben über den Schrittmachertyp gemacht werden können, sollte man bei Schrittmacherträgern grundsätzlich auf die Messung verzichten.

2. Vorbereitung allgemein

- Der Patient sollte möglichst 4 - 5 Stunden nüchtern sein.
- Die letzte sportliche Betätigung sollte möglichst 12 Stunden zurückliegen.
- Der letzte Alkoholkonsum sollte möglichst 24 Stunden zurückliegen.
- Die Extremitäten sollten eine normale Temperatur haben

3. Vorbereitung der Messung

3.1 Zur Messung sollte der Patient entspannt in einer horizontalen Position liegen. Üblicherweise wird in Rückenlage gemessen, die Messung ist jedoch auch in Bauchlage möglich. Abweichungen von der horizontalen Lage oder starke Anspannung der Extremi-

täten können die Messwerte beeinflussen. Der Patient sollte idealerweise ca. 10 Minuten lang ruhig liegen, bis sich das Blutvolumen gleichmäßig im ganzen Körper verteilt hat.

3.2 Die Beine des Patienten sollten in einem Winkel von ca. 45° gespreizt sein, so das sich die Oberschenkel nicht berühren. Die Arme sollten ca. 30° abgespreizt sein und dürfen keinen Körperkontakt haben. Kontakte zwischen beiden Beinen oder der Arme zum Rumpf verkürzen den Stromweg und führen zu stark verfälschten Ergebnissen.

3.3 Die Extremitäten müssen bei einer Messung auf Körperhöhe liegen. Ist während der Messung ein Arm oder Bein tiefer oder höher gelagert, verfälscht das die Messergebnisse.

3.4 Der Patient darf keinen Kontakt zu äußeren Metallgegenständen (z.B. Bettgestell) haben. Schmuck, Ohrringe oder Uhren am Körper, genauso wie Osteosyntheseplatten oder Herzschrittmacher, verfälschen die Ergebnisse hingegen nicht.

3.5 Die Messung sollte aus Standardisierungsgründen immer auf der dominanten, also in den meisten Fällen der rechten Körperseite (rechte Hand, rechter Fuß) durchgeführt werden. Verlaufsmessungen müssen immer auf der gleichen Körperseite durchgeführt werden.

3.6 Die rechte Hand und der rechte Fuß müssen zur Messung unbekleidet sein. Komprimierende Verbände verändern den Flüssigkeitsgehalt der Extremitäten und verfälschen die Messergebnisse.

4. Anbringen der Elektroden

Als Methode zur medizinische Bioimpedanzmessung hat sich weltweit die tetrapolare und ipsilaterale Messung mit Klebeelektroden etabliert, daher werden je 2 Gelelektroden and Hand und Fuß der gleichen Körperseite befestigt. Besonders wichtig ist die genaue Platzierung der Elektroden:

4.1 Handelektroden
Handgelenkselektrode: Ziehen Sie eine Linie durch den höchsten Punkt des Ulnaköpfchens (Processus styloideus ulnae). Kleben Sie den proximalen Rand der Elektrode längs dieser Linie auf.
Fingerelektrode: Ziehen Sie eine Linie durch die Mitte der Grundgelenke von Zeige- und Mittelfinger. Kleben Sie den distalen Rand der Elektrode entlang dieser Linie auf.

4.2 Fußelektroden
Zehenelektrode: Ziehen Sie eine Linie durch die Mitte der Grundgelenke von 2. und 3. Zehe (dazu Zehen beugen, damit die Gelenke sichtbar werden). Kleben Sie den distalen Rand der Elektrode längs dieser Linie auf.

Sprunggelenkselektrode: Ziehen Sie eine Linie durch die höchsten Punkte von Außen- und Innenknöchel. Kleben Sie den proximalen Rand der Elektrode längs dieser Linie auf.

Die Haut im Bereich der Elektroden sollte möglichst fettfrei und trocken sein. Fettige oder feuchte Haut führt zum schlechten Haften der Elektroden. Die Haut sollte stets mit einem Alkohol- oder Desinfektionstupfer gereinigt werden. Bei extrem trockener oder schuppiger Haut kann die Leitfähigkeit durch einen dünnen Film von EKG Paste verbessert werden.

Abb. J2

5. Die Elektroden

Die Verwendung ungeeigneter Elektroden ist die bei weitem häufigste Ursache für Messprobleme und Fehlmessungen. Verwenden Sie BIA-getestete Markenelektroden mit folgenden Anforderungen:

- Geloberfläche > 4 cm²
- Hand und Fußwiderstand < 300 Ohm
- Sandwich-Widerstand < 30 Ohm (s. nächstes Kapitel: Fehlerquellen)

Bei Erwachsenen sollte der Abstand der Elektroden 5 cm betragen. Bei Kindern sollte der Abstand zwischen den Elektroden mindestens 3 cm betragen; bei kleinerem Abstand kann es zu Interaktionen zwischen den Elektroden kommen. Bei sehr kleinen Händen kann man die Elektroden der Länge nach halbieren.

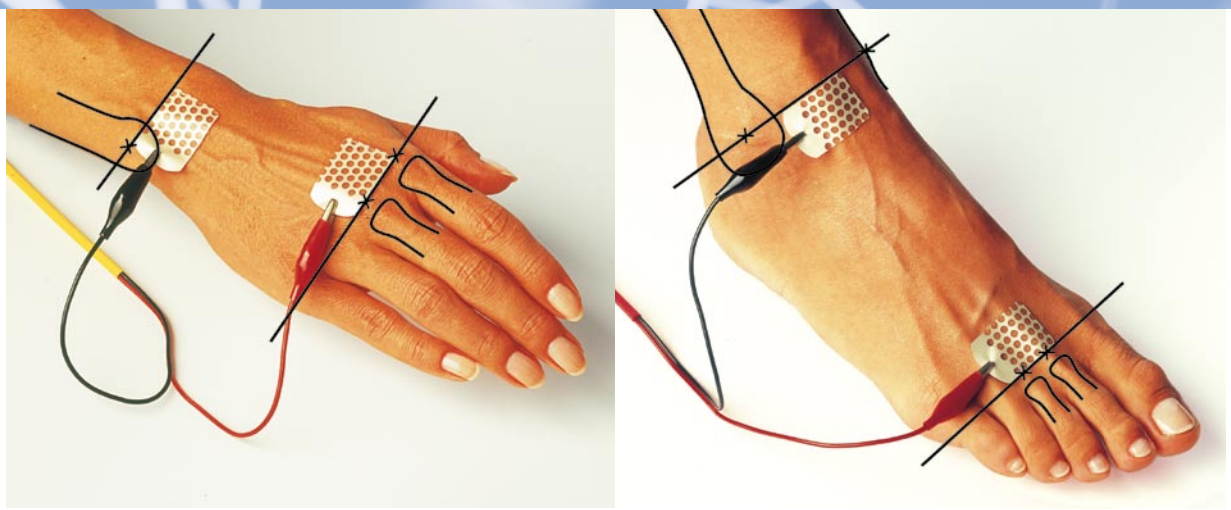


Abb. J3 und J4 Elektrodenplatzierung bei Erwachsenen

Die Elektroden werden bei Kindern parallel zur Methode bei Erwachsenen platziert.
Unterschreiten die Innenkanten der Elektroden einen Abstand von ca. 3 cm, kann es zu Interaktionen zwischen den Elektroden kommen. In diesen Fällen sollte die Elektrode der Länge nach halbiert werden:

6. Anschluss des Messkabels

Das Messkabel besteht aus 2 Doppelkabeln; jedes Kabel endet in einer Krokodilklemme. Die Doppelkabel und die Klemmen sind jeweils markiert:
6.1 Markierung von Hand- und Fußkabel:

- Das Handkabel hat eine gelbe Farbmanschette
- Das Fußkabel hat eine rote Farbmanschette.

6.2 Markierung von distalen und proximalen Elektroden:

- rote Klemmen an die distalen Klebeelektroden (Fingernah und Zehennah) anschließen
- schwarze Klemmen an die proximalen Klebeelektroden (Knöchelbereich und Handgelenkbereich) anschließen.
  (siehe Abb. J3 & J4)

Das Kabel sollte bei der Messung möglichst frei in der Luft hängen und darf nicht verdrillt sein. Sollte das Kabel bei der Messung aufliegen, müssen Sie beachten, daß es keinen Kontakt zu Metallflächen oder Metallgegenständen, wie z.B. dem Rahmen einer Patientenliege hat.

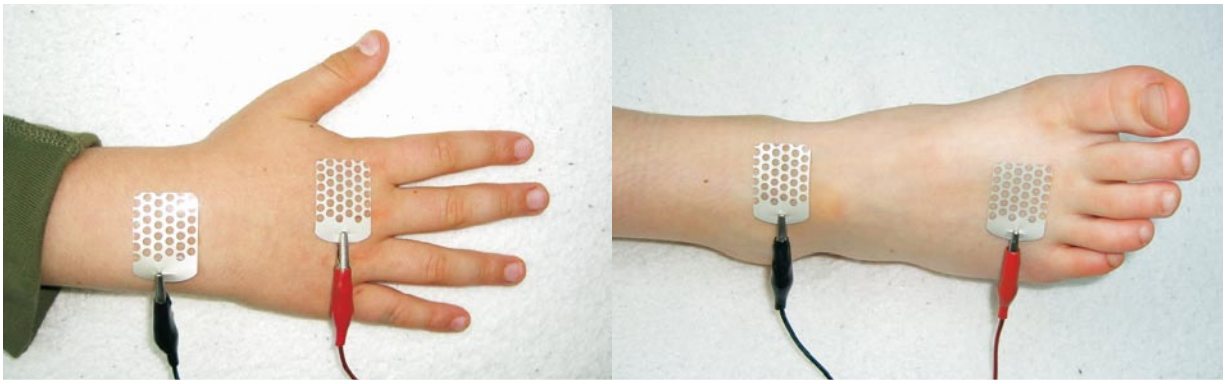


Abb. J5 Elektrodenplatzierung bei Kindern

Abb. J6 Elektrodenplatzierung bei sehr kleinen Händen und Füßen: Der Mindestabstand von 3 cm kann durch Halbierung der Elektroden erreicht werden

2. Fehlerquellen und Trouble Shooting

Als Medizingeräte zugelassene digitale Bioimpedanzanalysatoren messen extrem genau und zuverlässig. Der Grund für Fehlmessungen ist praktisch immer im Bereich Messkabel-Elektroden-Haut zu suchen. Am weitaus häufigsten sind Elektrodenprobleme der Grund für Fehlmessungen.
Sollten Sie stark abweichende oder nicht nachvollziehbare Messergebnisse erhalten, empfiehlt sich folgende Konsistenzprüfung der Rohwerte (gilt für Personen > 15 Jahre und > 45 kg Körpergewicht):

1. Resistance-Werte:
Der physiologische Bereich für die Resistance beträgt:

Frauen	R = ca. 400 bis 750 Ohm
Männer	R = ca. 350 bis 650 Ohm

Liegt der R=Wert außerhalb des physiologischen Bereichs, dann beachten Sie bitte: In seltenen Fällen können solche Werte bei Personen mit extrem großer oder kleiner Body Cell Mass BCM oder bei Ödemen auftreten. Die häufigste Ursache sind aber Probleme an Elektroden oder Messkabel. Probieren Sie frische, BIA-getestete Elektroden.

2. Reactance-Werte:
Der physiologische Bereich für die Reactance beträgt 8 % bis 14% des jeweiligen Resistance-Wertes (Beispiel: bei einer Resistance von 500 Ohm sollte Xc zwischen 40 und 70 Ohm betragen).
Liegt der R=Wert außerhalb des physiologischen Bereichs, dann beachten Sie bitte: Messwerte < 8% oder darunter können bei Personen mit Malnutrition auftreten. Messwerte > 14% können andererseits bei stark trainierten Sportlern bzw. bei Body Buildern auftreten. Die häufigste Ursache sind aber Probleme an Elektroden oder Messkabel. Probieren Sie auch hier frische, BIA-getestete Elektroden.

3. Handwiderstand oder Fußwiderstand > 300 Ohm:
Diese Widerstände repräsentieren im Prinzip den Haut-Elektroden-Übergangswiderstand. Wenn der Hand- oder Fußwiderstand > 300 Ohm beträgt, gibt es 2 häufige Ursachen: a) Hautprobleme (sehr trokkene, isolierende Haut oder fettige Haut, an der die Elektroden schlecht haften) oder b) Verwendung von BIA-ungeeigneten Elektrodensorten. Bei trokkener Haut EKG-Paste vorschmieren. Bei fettiger Haut gründlich entfetten, evt. mit hochprozentigem Alkohol.

Überprüfung von Elektroden:
EKG-Elektroden können sich aus vielerlei Gründen nicht für BIA-Messungen eignen. Die häufigsten Ursachen sind:
a. Mehrfachverwendung
Überall in der Medizin muss gespart werden. Dennoch sind Elektroden Einmalartikel und sollten nicht mehrfach verwendet werden. Zudem übertragen Elektroden bei Mehrfachverwendung bakterielle Infektionen und Pilzinfektionen.
b. Transport- oder Lagerschäden
In Räumen mit hoher Lufttemperatur oder trockener Luft trocknet das Gel schneller aus und führt zu Eigenwiderständen des Gels. Eine geöffnete Packung Elektroden sollte man innerhalb von ca. 2 Monaten aufbrauchen.
c. Molybdänfolie
Elektroden mit einer Trägerfolie aus Molybdän eignen sich grundsätzlich nicht für BIA-Messungen. Die Ursache für dieses Phänomen ist nicht bekannt.
d. Sandwichtest
Sie können die Qualität Ihrer Elektroden jederzeit mit dem „Sandwichtest“ selbst überprüfen: Kleben Sie 2 Elektroden mit der Gelseite aneinander; die Laschen müssen in entgegengesetzte Richtungen zeigen. Befestigen Sie jeweils die rote und schwarze Krokodilklemme eines Messkabels an einer Lasche. Schalten Sie nun das Messgerät ein (50 kHz). Sie messen jetzt den Eigenwiderstand der Elektrode selbst.

Je niedriger die Widerstandswerte, desto niedriger ist der störende Eigenwiderstand der Elektrode und desto besser ist die Elektrode für B.I.A.-Messungen geeignet.
Die gemessene Resistance R soll weniger als 50 Ohm betragen, die Reactance Xc soll weniger als 5 Ohm betragen.

Sollwert:	Resistance R < 50 Ohm, Xc < 5 Ohm
Sehr gute Werte:	Resistance R < 30 Ohm, Xc < 3 Ohm

Abb. J7 Sandwichtest zur Prüfung der Elektroden

K. Klinische Anwendungsgebiete der Bioelektrischen Impedanzanalyse

von PD Dr. med. Matthias Pirlich, Charité Berlin

Einleitung

Die Bioelektrische Impedanzanalyse (BIA) bietet gegenüber den meisten anderen Techniken zur Analyse der Körperzusammensetzung mehrere Vorteile: Die BIA ist einfach und schnell in der Anwendung, preisgünstig, nichtinvasiv und ungefährlich (1;2). Darüber hinaus gewährleistet die Mobilität von BIA-Messinstrumenten die Anwendung am Patientenbett selbst bei kritisch Kranken. Aufgrund einer sehr guten Reproduzierbarkeit (3) eignet sich die Methode grundsätzlich auch für Wiederholungsmessungen, z.B. zur Kontrolle eines Therapieerfolges.

Anwendungsgebiete der BIA sind die Diagnostik und Charakterisierung von Mangelernährung und Hydratationsstörungen, Verlaufskontrollen unter Ernährungstherapie oder Therapie mit Wachstumshormon sowie bei Gewichtsreduktionsprogramm en. Hauptkritikpunkt an der Methode ist die unzureichende Übereinstimmung zwischen der BIA und Referenzmethoden bei einzelnen Patientengruppen. In der klinischen Praxis werden ganz überwiegend abgeleitete Größen verwendet, d.h. aus den Impedanz-Messdaten werden unter Berücksichtigung von zusätzlichen Parametern wie Alter, Geschlecht, Größe oder Gewicht, verschiedene Kompartimente (Ganzkörperwasser, extrazelluläres Wasser, fettfreie Masse oder Körperzellmasse) ermittelt. Diese Formeln wurden meistens an Gesunden anhand von Referenzmethoden validiert. Wenn man die negativ wertenden Arbeiten zur BIA analysiert, betrifft die Kritik meistens nicht das physikalische Prinzip an sich (Messung des Wechselstromwiderstandes) sondern die Übertragbarkeit bestimmter Formeln. Hier muss man einschränken, dass auch Referenzmethoden zur Analyse der Körperzusammensetzung (z.B. Densitometrie, DEXA, Anthropometrie) empirisch entwickelt wurden, auf Modellvorstellungen und Annahmen beruhen und mit eigenen (Formel-) Fehlern behaftet sind. Aus diesem Grund ist die Frage nach der Validität der BIA bei bestimmten Erkrankungen noch nicht abschließend zu beantworten.

Für die klinische Anwendbarkeit ist jedoch nicht allein die Frage nach der Übereinstimmung von Methoden relevant. Wichtiger ist die Frage, ob ein gewonnener Messwert oder eine abgeleitete Größe eine klinisch relevante Aussage zulässt. Die BIA erlaubt prognostisch relevante Aussagen bei einer Reihe von Erkrankungen wie HIVInfektion, Leberzirrhose, Pankreas- und Kolorektale Karzinomen, COPD und bei Hämodialyse (4-11). In den letzten Jahren haben etliche Studien zunehmend auch die Bedeutung der durch die BIA ermittelten Rohwerte (Resistanz, Reaktanz und Phasenwinkel) untersucht. Die Attraktivität der sogenannten BIVA (Bioelektrische Impedanz Vektorenanalyse) liegt genau darin, dass die mit komplexen und z.T. nicht übertragbaren Formeln verbundenen Fehler entfallen.

Die Arbeitsgruppe um Piccoli (12-14) entwickelte eine Darstellung nach dem Vorbild des Elektrokardiogramms, in der die Impedanz als bivariater Vektor durch die Resistanz und Reaktanz – korrigiert für die Körperhöhe – dargestellt wird. Veränderungen im Hydratationsstatus zeigen sich als Veränderung der Vektorenlänge, wogegen Veränderungen in der Zellmasse eine Migration des Vektors bewirken.

Diese klinische Verwendung von ursprünglichen Messwerten ist zwar auf den ersten Blick abstrakt und weniger eingängig als die Angabe konkreter Körperkompartimente in kg, erscheint aber gerade für jene klinische Situationen vielversprechend, bei denen die Interpretation abgeleiteter Größen aufgrund vom veränderten Hydratationsstatus unzuverlässig ist.

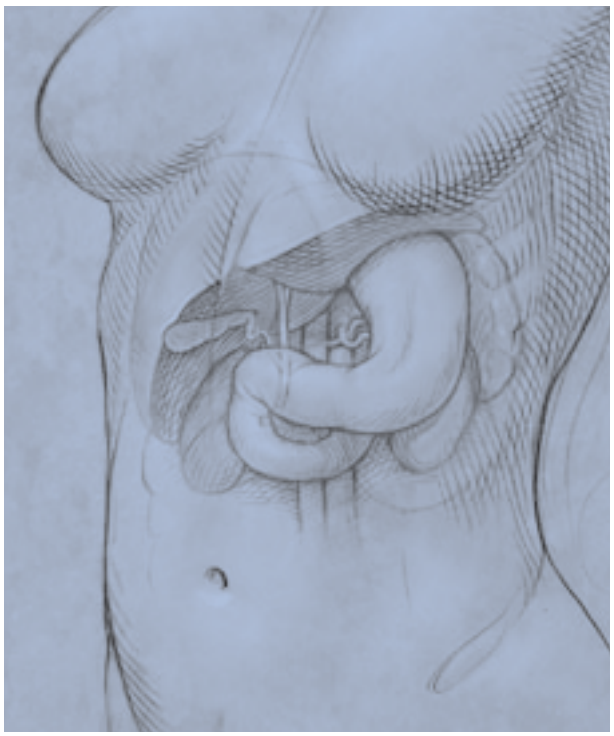
Nach der gegenwärtigen Datenlage ist das Potential der BIA oder der BIVA für klinische Fragestellungen jedoch sicherlich nicht ausgeschöpft.

1. Gastroenterologie

Chronische Lebererkrankungen: Eine Protein-Mangelernährung tritt bei der Mehrzahl der Patienten mit chronischen Lebererkrankungen auf und ist unabhängig von der Ätiologie ein prognostisch ungünstiger Faktor (15). Der Proteinmangel bei Patienten mit Leberzirrhose ist messbar in einem um durchschnittlich 25-30 % reduzierten Ganzkörperkaliumgehalt (15;16), der aus einem Verlust an Körperzellmasse resultiert. Da bei diesen Patienten gleichzeitig eine vermehrte Wassereinlagerung in Form von Aszites und Ödemen zu beobachten ist, können klassische anthropometrische Größen wie ideales Körpergewicht oder Body mass index noch normal sein (16), selbst wenn schon eine schwere Mangelernährung vorliegt. Die BIA ist ein geeignetes Verfahren, die Mangelernährung bei Leberzirrhose zu erfassen. Bei Patienten ohne Aszites ermöglicht die BIA eine genaue Bestimmung der Körperzellmasse im Vergleich zur Ganzkörperkaliummethode. Auch bei Patienten mit ausgeprägtem Aszites findet sich eine sehr gute Korrelation der beiden Methoden, allerdings können hier beim einzelnen Patienten stärkere Abweichungen auftreten, so dass bei massivem Aszites eine vorsichtigere Interpretation der Werte erforderlich ist (16). Darüber hinaus belegten Selberg et al. (17) die prognostische Relevanz von Impedanzmessungen bei Patienten mit Leberzirrhose, die später transplantiert wurden: Patienten mit einer Körperzellmasse < 35 % des Körpergewichtes bestimmt mittels BIA hatten eine deutlich schlechtere Langzeitprognose nach Lebertransplantation als Patienten mit Körperzellmasse > 35 % des Körpergewichtes.

Bezüglich der Bestimmung des TBW oder des Aszites wurde hingegen die Validität der BIA in verschiedenen Studien angezweifelt (18-20). Auch wurde gezeigt, dass bei Patienten mit Leberzirrhose BIA Messungen zur Bestimmung des Körperfettes mit anthropometrischen Messungen schlecht übereinstimmen (21). In einer weiteren Studie wurde eine segmentale Messanordnung (Rumpf getrennt von Extremitäten) zur Bestimmung des TBW bei diesen Patienten als vorteilhaft beschrieben (22). Dieser Ansatz ist jedoch aufwendig und hat sich in der Praxis nicht durchgesetzt.

Hier muss man kritisch einwenden, dass eine genaue Bestimmung des Hydratationsstatus oder der Fettmasse bei Patienten mit Leberzirrhose zwar für wissenschaftliche Fragestellungen wichtig sein kann, jedoch für klinische Belange nicht vordringlich ist. Der Verlust an Fettmasse ist prognostisch weniger bedeutend als der Verlust der Körperzellmasse. Eine relevante Wassereinlagerung ist klinisch erfassbar (Ödeme), diskrete Mengen Aszites werden am einfachsten



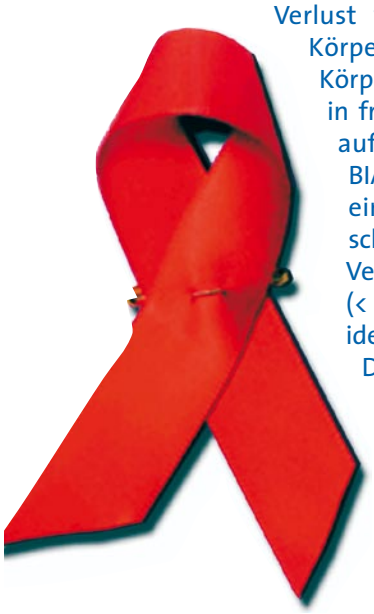
sonographisch ermittelt. Ein Verlust der Körperzellmasse ist weniger offensichtlich, klinisch jedoch relevant. Eine weitere Arbeit von Selberg (9) belegt außerdem die Überlegenheit des Phasenwinkels als prognostischer Faktor bei Patienten mit Leberzirrhose verglichen mit anthropometrischen Messungen, Ganzkörperkalium und mit BIA ermittelter und abgeleiteter Körperkompartimente wie Fettmasse, fettfreie Masse, Körperzellmasse. Der Phasenwinkel ist Ausdruck des Verhältnisses von Reaktanz zu Resistanz, hängt also sowohl von den Flüssigkeitskompartimenten und der Körperzellmasse als auch von der Integrität der Zellmembranen ab. Dieses pathophysiologisch noch nicht ausreichend erklärte, aber klinisch relevante Phänomen kann nur mittels BIA detektiert werden. Gefährdete Patienten können mit der BIA identifiziert werden.

Chronisch entzündliche Darmerkrankungen: Chronisch entzündliche Darmerkrankungen führen häufig zu einer Protein-Energie-Mangelernährung. Der Ernährungszustand ist daher auch ein wesentliches Kriterium für die Krankheitsaktivität oder den Therapieerfolg. Bei Kindern kann es zudem zu ausgeprägten Entwicklungsverzögerungen kommen. Bei diesen Patienten ist die BIA daher sowohl zur Diagnostik einer beginnenden Mangelernährung als auch zur Therapieverlaufskontrolle interessant. Bei Kindern mit chronisch entzündlichen Darmerkrankungen zeigte die BIA eine sehr gute Übereinstimmung mit DEXA als Referenzmethode in der Bestimmung der FFM und wurde erfolgreich zur Überwachung des Ernäh-

rungszustandes unter verschiedenen Behandlungsregimen eingesetzt (23). Unter Verwendung von Standardformeln fand die Gruppe von Jeejeebhoy bei 19 Erwachsenen mit M. Crohn eine Überschätzung des Ganzkörperwassers durch die BIA im Vergleich zu Dilutionsmethoden (24). Die Korrelation des Impedanzindex mit der Referenzmethode war jedoch exzellent. Die Autoren ermittelten daher eine für ihr Patientenkollektiv spezifische Regressionsgleichung für das BIA-TBW, die dann eine sehr gute Übereinstimmung ergab. Diese Studie verdeutlicht, dass eine mangelnde Übereinstimmung zwischen der BIA und Referenzmethoden nicht primär ein methodisches Problem der BIA darstellt oder das Messprinzip anzuzweifeln ist. Vielmehr folgt daraus, dass verbreitete Formeln nicht unkritisch auf einzelne Krankheitsbilder anzuwenden sind und im Einzelfall populationsspezifische Gleichungen validiert werden müssen. Von seriösen Geräteherstellern ist daher zu fordern, dass sie neben einer Standardsoftware unbedingt auch die Mess-Rohwerte der BIA verfügbar machen sollten.

2. HIV-Infektion

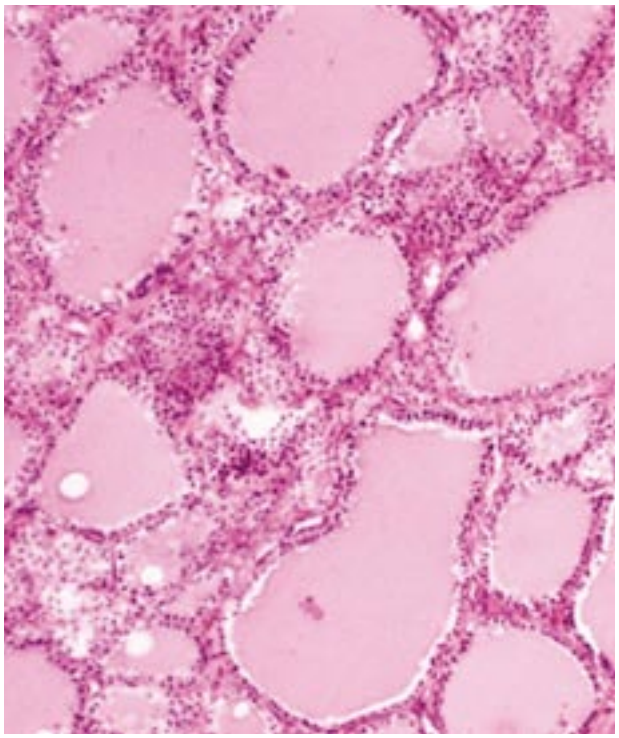
Patienten mit fortgeschrittener HIV-Infektion entwickeln ebenfalls sehr häufig eine Protein-Mangelernährung, das sog. „wasting“, erkennbar an einem Verlust viszeraler Proteine und der Körperzellmasse. Ein Verlust der Körperzellmasse kann auch schon in frühen Stadien der Erkrankung auftreten (25). Mit Hilfe der BIA können HIV-Patienten mit einem hohen Risiko für eine schlechte Prognose durch einen Verlust von Körperzellmasse (< 30 % des Körpergewichtes) identifiziert werden (26). Diese Datenstimmen mit einer früheren Untersuchung überein, die ein erniedrigtes Ganzkörperkalium bei Patienten mit HIV-Infektion als prognostisch relevant identifizierte (27). Das Ausmaß der Mangelernährung ist wahrscheinlich sogar von größerer prognostischer Bedeutung für Morbidität und Mortalität im Krankheitsverlauf als immunologische Kenngrößen der Erkrankung (8;28). Die Mangelernährung lässt sich durch eine gezielte enterale Ernährungstherapie positiv beeinflussen, ihre Diagnostik sollte daher integraler Bestandteil in der Behandlung von AIDS-Patienten sein. Auf der anderen Seite wurde kürzlich anhand von BIA-Messungen gezeigt, dass eine antiretrovirale Therapie einen Anstieg der BCM bewirkt (29). Unter methodischen Gesichtspunkten wurde die BIA an einer großen Gruppe von HIV-Patienten durch die Arbeitsgruppe von Kotler untersucht (27). Die Autoren zeigten, dass die BIA bei mangelernährten Patienten mit AIDS unter Verwendung populationsspezifischer Gleichungen im Vergleich mit Referenzmethoden eine ausreichend präzise Bestimmung von TBW, Fettmasse und BCM erlaubt und bereits geringe Veränderungen der FFM und BCM detektiert.



Nicht nur methodisch, sondern auch klinisch interessant ist eine Untersuchung von Ott et al. zur prognostischen Wertigkeit von insgesamt 12 verschiedene Parametern einschließlich Körperzusammensetzung, CD4+ Zahl und klinisch-chemischen Parametern der Malnutrition bei Patienten mit HIV Infektion (8). In dieser Studie wurde gezeigt, dass schon in frühen Stadien der HIV-Infektion ein niedriger Phasenwinkel der beste einzelne prädiktive Parameter für das Langzeitüberleben ist. Dieses wohl auch für die Autoren überraschende Ergebnis zeigt, dass ein BIA-Messwert (Phasenwinkel) bezüglich der klinischen Aussagekraft abgeleiteten Grössen (fettfreie Masse, Fettmasse) überlegen sein kann. Offenbar kommt es bei Patienten mit HIV-Infektion und schlechter Prognose sowohl zu einem Verlust der Körperzellmasse als auch zu Störungen des Membranpotentials. Ob der Phasenwinkel auch ein geeigneter Verlaufsparameter für eine erfolgreiche antivirale oder Ernährungstherapie ist, wurde bislang nicht systematisch untersucht.

3. Endokrinologie

Cushing-Syndrom: Einige endokrine Erkrankungen wie z.B. die Akromegalie oder das Cushing-Syndrom gehen mit einer eindrucksvollen Veränderung der Körperzusammensetzung einher. Das Cushing-Syndrom ist durch eine ausgeprägte Stammadipositas bei gleichzeitig verschmälerten Extremitäten und Muskelatrophie charakterisiert. Bei unbehandelten Patienten kann der Verlust an Muskelmasse und Muskelfunktion, der neben der Skelettmuskulatur auch den Herzmuskel betrifft, zum klinisch führenden Problem werden. Das Frühstadium der Erkrankung ist insbesondere bei Frauen differentialdiagnostisch nicht immer von einer alimentären Adipositas abzugrenzen. Möglicherweise könnte die BIA in dieser Situation wertvolle Informationen liefern. Bislang liegen jedoch keine systematischen Untersuchungen zur Anwendung der BIA bei diesen Patienten vor.



Akromegalie: Die Akromegalie führt durch Wachstumshormonexzess zu einer unproportionalen Zunahme der fettfreien Masse mit gleichzeitiger Erhöhung des extrazellulären Flüssigkeitskompartiments. Für Patienten mit Akromegalie wurde eine starke Abhängigkeit der Validität der BIA zur Bestimmung der Fettmasse von den verwendeten Formeln beschrieben (30). Die BIA wurde jedoch nach operativer Therapie mit Normalisierung des Wachstumshormons erfolgreich eingesetzt (31). Dabei wurde gezeigt, dass es in den ersten postoperativen Wochen zu einem Abfall des TBW bei gleichzeitigem Verlust der Körperzellmasse kommt, während die Fettmasse etwas verzögert über einen Zeitraum von 3 Monaten zunimmt.

Therapie mit Wachstumshormon: Die Substitutionstherapie bei Patienten mit Mangel an Wachstumshormon zielt darauf ab, die Muskelmasse und Muskelkraft zu verbessern. Dieser nachgewiesene Effekt wird auch missbräuchlich im Hochleistungssport genutzt. Bei Patienten mit Mangel an Wachstumshormon wurde die BIA inzwischen vielfach im Rahmen von Therapiestudien eingesetzt (32-35). Methodenvergleiche ergaben zum Teil widersprüchliche Ergebnisse, was u.a. auch an den gewählten Referenzmethoden liegt. Die Ergebnisse von zwei Studien, in denen die DEXA als Referenzmethode verwendet wurde (33;35), lassen sich aber dahingehend interpretieren, dass die BIA geeignet ist, eine angestrebte Zunahme der fettfreien Masse im Verlauf zu bestimmen.

4. Adipositas

Die Adipositas gilt als typische Zivilisationskrankheit mit erheblichen langfristigen Folgen für die Betroffenen. Aus medizinischer Sicht steht eine erhöhte Morbidität und Mortalität durch Folgekrankheiten im Vordergrund, von den Patienten wird zusätzlich der psychische Druck durch tatsächliche oder vermeintliche Unattraktivität als belastend empfunden. Das Interesse an Gewichtsreduktionsprogrammen durch mehr oder weniger seriöse, häufig auch unsinnige oder gefährliche Diäten ist entsprechend groß. Die BIA wird in diesem Zusammenhang häufig zur Therapieverlaufskontrolle eingesetzt. Inzwischen kann man preisgünstige BIA-Geräte, integriert in Körperwaagen, in nahezu jedem Versandhandel oder Kaufhaus für den Heimgebrauch erstehen. Diese Geräte werden meistens als „Fettanalyzer“ angeboten, obwohl die Fettmasse als elektrischer Isolator die Impedanz gar nicht beeinflusst und nur indirekt ermittelt wird. Darüber hinaus führt die Elektrodenanordnung dieser Geräte zu zweifelhaften Ergebnissen.

Bei ausgeprägter Adipositas ist genau genommen die Bestimmung der Fettmasse überflüssig. Aus medizinischer Sicht ist bei diesen Patienten die Bestimmung der fettfreien Masse wichtiger, denn medizinisch begründete Gewichtsreduktionsprogramme zielen auf eine Verringerung der Fettmasse bei Erhaltung der fettfreien Masse ab. Daher ist die Indikation zur BIA-Anwendung bei der Adipositastherapie primär die Bestimmung der FFM. Diesbezügliche Studien ergaben widersprüchliche Er-

gebnisse: Während Kushner (36) in einer exemplarischen Langzeituntersuchung an 12 übergewichtigen Frauen mit einem durchschnittlichen Gewichtsverlust von 1.2 kg/Woche eine gute Übereinstimmung der BIA-FFM mit der Deuterium-Dilution fanden, kamen Vazquez u. Janosky (37) zu einer kritischen Bewertung der Methode: Zwar belegte die Stickstoffbilanz einen Verlust der FFM, jedoch blieben Resistanz und Reaktanz konstant. In einer Metaanalyse von insgesamt 7 Studien zur Gewichtsreduktion bei Adipositas zeigten Forbes et al. (38), dass gemessene Resistanzänderungen mit der Verminderung der FFM – gemessen mit Referenzmethoden – signifikant korrelierten. Wabitsch et al (39) zeigten an 146 adipösen Kindern, dass die BIA-FFM sehr gut mit Deuterium-Dilution korreliert, im Verlauf einer Gewichtsreduktion Änderungen des TBW < 0.5 l jedoch beim einzelnen Patienten nicht sicher vorhersagte. Insgesamt ist die BIA jedoch wahrscheinlich geeignet, einen klinisch relevanten Verlust der FFM unter Reduktionsdiät aufzuzeigen. Gerade aber für diese wichtige Anwendung sind weitere Validierungsstudien notwendig. Wünschenswert wäre es, auch für diese Patienten populationsspezifische BIA-Gleichungen, z.B. innerhalb von Patientengruppen mit unterschiedlich hohem Body Mass Index, zu erarbeiten.

Insgesamt ist die Validität der BIA bei adipösen Menschen geringer als bei normalgewichtigen oder mangelernährten Patienten (40). Da der Rumpf nur einen geringen Anteil an der Ganzkörper-Impedanz hat(41), kann es bei starker Zunahme des Stammfettes zu einer Unterschätzung des Ganzkörperfettes und zur Überschätzung der FFM kommen. So beobachteten Swan und McConnell, die drei verschiedene BIA Gleichungen in übergewichtige und adipöse Frauen verglichen, dass je nach Fettverteilung die Fettmasse unterschiedlich stark unterschätzt wurde (42). Dies wurde auch für adipöse Erwachsene (43;44) und Kinder (45) gezeigt.

In den ESPEN (European Society of Parenteral and Enteral Nutrition) Richtlinien wird dementsprechend auch festgehalten, dass die BIA die Körperzusammensetzung bei Patienten ab einem BMI von 34 kg/m² aufgrund der massiven Zunahme des Rumpfes nicht mehr valide wiederspiegeln kann (46). Eine segmentale BIA Messung wäre ein möglicher Ansatz, um die abdominale Fettmasse genauer abzuschätzen (47); hierfür sind jedoch Validierungsstudien notwendig, um dies in der klinischen Praxis einzusetzen.

5. Pädiatrie

Die Anwendungsgebiete der BIA in der Pädiatrie sind vielfältig: Bei unreifen Neugeborenen wurde die BIA für die Bestimmung des Hydratationsstatus als praktikable Alternative zu Dilutionsmethoden gewertet (48). Bei mangelernährten Klein- und Vorschulkindern (49) ebenso wie bei mangelernährten Jugendlichen (50) ist die BIA geeignet, den Effekt unterschiedlicher Ernährungstherapien zu untersuchen. Bei minderwüchsigen Kindern wurde die BIA erfolgreich zur Bestimmung der FFM unter Therapie mit Wachstumshormon eingesetzt (51). Bei Kindern ist

aber als Besonderheit zu berücksichtigen, dass der Hydratationsgrad der FFM altersabhängig ist: Bei Neugeborenen liegt der Wasseranteil der FFM bei 80 %, bei 10jährigen bei 75 % und nähert sich erst mit der Pubertät dem Wert gesunder Erwachsener an (ca. 73 %) (52). Die meisten Softwarepakte für BIA-Geräte ermitteln die FFM aus dem TBW unter Annahme einer konstanten Hydratation von 73 %. Es ist offensichtlich, dass diese Formeln nicht unkritisch in der Pädiatrie angewendet werden bzw. dann systematische Fehler auftreten können. Die Bestimmung des TBW als Ausgangsgröße ist nach den Studien von Goran et al. an Vorschulkindern unter Verwendung einer Standardformel zuverlässig möglich (53). Zur Ableitung der FFM schlugen die Autoren jedoch eine altersabhängige Formel vor: FFM = 76.9 - 0.25 x Alter (Jahre) - 1.9 x Geschlecht (männl. = 1; weibl. = 0). Die Zuverlässigkeit dieser Formel wurde an 26 Vorschulkindern belegt. Houtkooper et al. (54) und de Lorenzo et al. (55) entwickelten an 94 bzw. 35 Schulkindern Gleichungen zur Berechnung der FFM aus der Impedanz unabhängig vom Alter

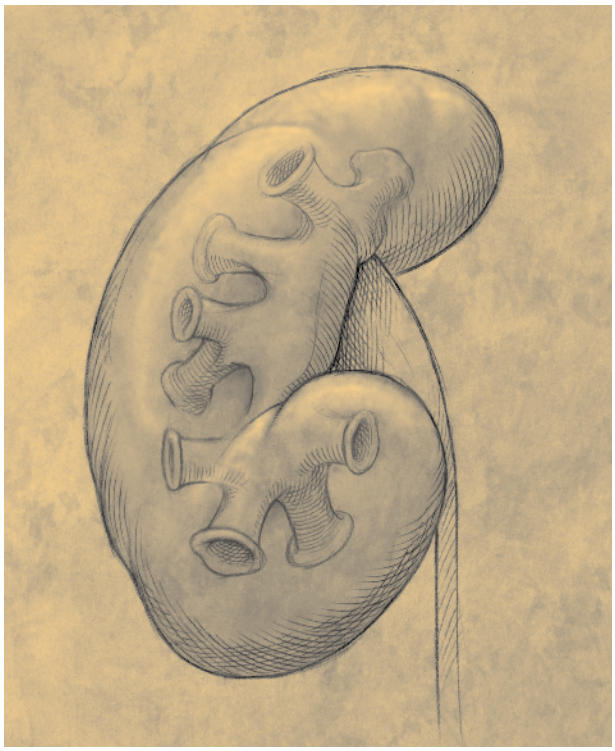
(im Vergleich mit anthropometrischen Messungen bzw. DEXA) (Houtkooper: FFM=0.61 R +0.25 * Gewicht + 1.31, r2=0.95, SEE=2.1 kg; de Lorenzo: FFM=2.33 + 0.588 L2/R +0.211 *Gewicht, r=0.96, SEE=1.0 kg). Inwieweit diese Gleichungen auf Neugeborene oder Kleinkinder übertragbar ist, ist noch unklar. Eine Möglichkeit, welche die Formelproblematik umgeht, ist wiederum die Verwendung der mittels BIA ermittelte Rohwerte. Normwerte für BIVA sind mittlerweile für Neugeborene, Klein- und Vorschulkinder sowie Jugendliche vorhanden (56;57). Eine Studie belegte beispielsweise die prädiktive Aussagekraft von bioelektrischen Impedanzparametern bei pädiatrischen Herztransplantationspatienten (58;58). Veränderungen der perioperativ erfassten Impedanz korrelierten mit einer höheren Mortalität und einer längeren Aufenthaltsdauer in der Intensivstation.

Da die meisten alternativen Methoden aus technischen oder medizinischen Gründen (Strahlenbelastung) insbesondere Neugeborenen oder Kleinkindern unzumutbar sind, sollten die BIA und die BIVA für ernährungsmedizinische Fragestellungen in der Pädiatrie fest etabliert und optimiert werden.

6. Nephrologie

In den letzten Jahren wurden zwei wichtige Anwendungsgebiete für die BIA bei Dialysepatienten herausgearbeitet (59): 1) Bestimmung des Hydratationsstatus, und 2) Diagnose und Charakterisierung einer Protein-Mangelernährung. Hydratationsstatus: Bei dialysepflichtigen Patienten mit terminaler Niereninsuffizienz wird ein euvolämischer Zustand angestrebt. Dafür wird individuell das Trockengewicht festgelegt, das bei jahrelanger Dialysebehandlung immer wieder neu definiert werden muss, um Hyper- und Dehydratationszustände zu vermeiden. Mit der BIA läßt sich nicht nur das Ganzkörperwasser sondern auch – unter Verwendung von niedrigen Wechselstromfrequenzen (1-5 kHz) – das extrazelluläre Wasser bestimmen (37;60). Theoretisch könnte die BIA daher ein ideales Instrument zur Bestimmung des optimalen Trockengewichtes sein. Die Genauigkeit der TBW-Bestimmung mittels BIA ist bei diesen Patienten jedoch noch nicht klar bzw. die Ergebnisse entsprechender klinischer Studien sind widersprüchlich (61). Interessant sind daher neuere Ansätze: So konnte die Arbeitsgruppe von de Vries in mehreren Studien zeigen, dass eine Bestimmung des ECW anhand segmentaler Messungen am Unterschenkel einen zuverlässigen Marker des Trockengewichtes darstellt (62).

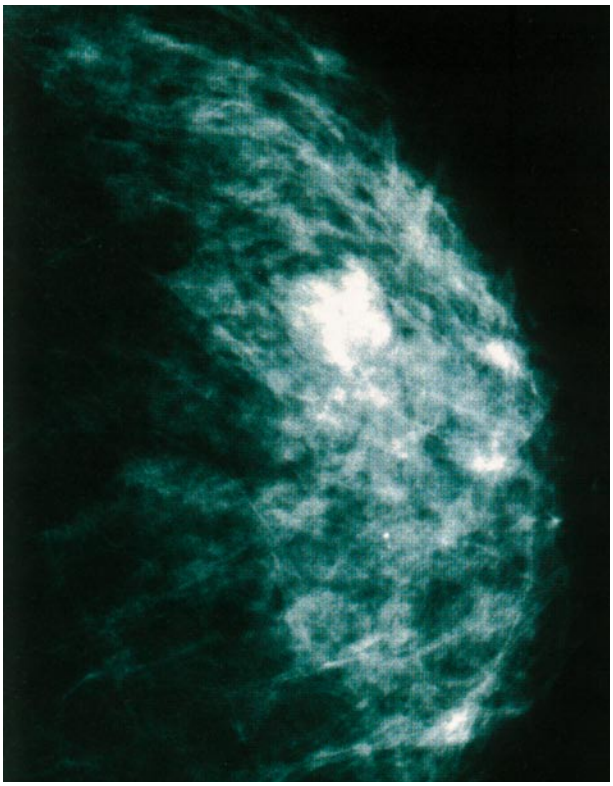
Die Gruppe von Piccoli propagiert bei Hämodialyse- und CAPDpatienten die Vektordarstellung von Resistanz und Reaktanz mit einem Optimumbereich,



der einem anzustrebenden Hydratationszustand entsprechen soll (12;12;14;63). Diese klinische Verwendung von Rohwerten ist deshalb vielversprechend, da die mit komplexen und z.T. nicht übertragbaren Formeln verbundenen Fehler entfallen. Die Vektordarstellung sollte unbedingt vermehrt auch bei Intensivpatienten mit Hydratationsstörungen erprobt werden. Eine Studie konnte beispielsweise zeigen, dass die Impedanz bei kritisch Kranken stärker mit dem zentralvenösen Druck korrelierte als das berechnete Körperwasser. Dieser Zusammenhang war bei einem zentralvenösen Druck > 12 mm Hg enger, 93% der evaluierten Patienten zeigten verkürzte Impedanzvektoren, was auf Hyperhydratation deutet, während jedoch nur 10% der Patienten mit einem zentralvenösen Druck < 3 mm Hg eine Vektorenverlängerung aufwiesen (64) Auch bei Hämodialysepatienten wurde ein enger Zusammenhang zwischen dem Phasenwinkel und der Überlebenszeit gefunden (7).

Protein-Mangelernährung: Eine Protein-Mangelernährung geht mit einem Verlust der fettfreien Masse einher und ist bei nahezu allen chronischen Erkrankungen ein Risikofaktor für eine erhöhte Mortalität (65). Dieser Zusammenhang ist auch für Dialysepatienten nachgewiesen (66). Da die Bestimmung der fettfreien Masse nach den meisten Formeln primär auf der Bestimmung des TBW basiert, kann die Aussagekraft bei Dialysepatienten eingeschränkt sein. Für die Praxis bedeutet dies, dass die BIA bei diesen Patienten zu einem definierten Zeitpunkt, z.B.

unmittelbar nach Dialyse, d.h. nach Erreichen des Trockengewichtes, durchgeführt werden sollte. In einer Langzeitstudie an 39 Dialysepatienten wurde eine gute Übereinstimmung zwischen BIA und Anthropometrie in der Bestimmung der FFM gezeigt (67). Bei suboptimal definiertem Trockengewicht mit klinisch noch inapparenter Erhöhung des extrazellulären Flüssigkeitskompartiments kann aber auch eine korrekte Messung der fettfreien Masse eine Protein-Mangelernährung verkennen. Ideal wäre es daher, auch bei Dialysepatienten eine präzise Messung der Körperzellmasse vornehmen zu können. Dies erscheint nach einer ersten Studie unter Verwendung von DEXA bzw. Bromid-Dilution als Referenzmethoden auch mit der BIA möglich zu sein (68). Unter methodischen Gesichtspunkten ist der operativ angelegte arteriovenöse Shunt zu berücksichtigen: Woodrow et al (69) zeigten, dass bei Elektrodenplatzierung am Shuntarm das TBW über- und das Körperfett unterschätzt werden, was sich durch einen größeren Querschnitt und höheren Flüssigkeitsgehalt am Shuntarm erklärt. Es sollten daher Messungen nur an der kontralateralen Körperseite durchgeführt werden.



7. Onkologie

Ein signifikanter Gewichtsverlust ist ein typisches Merkmal von Tumorerkrankungen und bereits zum Zeitpunkt der Diagnosestellung bei vielen Patienten nachweisbar. Bei einem Teil der Patienten ist die fortschreitende Mangelernährung und nicht der Tumor selbst die unmittelbare Todesursache. Entsprechend ist die Ernährungstherapie vor allem in der palliativen Situation ein wesentlicher Bestandteil der medizinischen Behandlung. Ähnlich wie bei anderen chronischen Erkrankungen, die mit einer Mangelernährung einhergehen, erlaubt die BIA die Bestimmung der fettfreien Masse oder der Körperzellmasse als prognostisch besonders relevante Parameter (70). Die BIA wurde insbesondere zur Charakterisierung der Mangelernährung von pädiatrischen Tumorpatienten empfohlen (71). BIA-Messungen, die nur die Bestimmung der fettfreien Masse umfassen, können allerdings irreführend sein, da die Körperzellmasse auch bei normaler oder nur leicht erniedrigter FFM schon deutlich reduziert sein kann, weil der extrazelluläre Wasseranteil ansteigt (72). Unter methodischen Aspekten liegen nur wenige Daten zur BIA bei Tumorpatienten vor: Nach einer Studie an 38 Tumorpatienten über einen Verlauf von 11 Wochen konnten Simons et al. (73) zeigen, dass eine Änderung des Ganzkörperwassers, bestimmt mittels Deuterium-Dilution, hochsignifikant mit Änderungen des Impedanzindex korreliert.

Bei unterernährten Tumorpatienten kann es aber bei Verwendung von Standardformeln zu einer Überschätzung des Ganzkörperwassers kommen (74). Ob dieser Fehler klinisch relevant ist bzw. durch populationsspezifische Formeln verhindert werden kann, bleibt unklar. Entsprechende Studien an Patientengruppen mit unterschiedlichen Tumorleiden liegen nicht vor. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass die Validität insgesamt ähnlich ist wie bei anderen Erkrankungen mit einem hohen Risiko für eine Mangelernährung. In den letzten Jahren wurde vermehrt die BIVA bei onkologischen Patienten untersucht. Toso et al konnten in ihrer Arbeit an Patienten mit Lungenkarzinom zeigen, dass Veränderungen der Reaktanz vor einer klinisch erfassbaren Kachexie auftraten und diese Veränderungen eine höhere Aussagekraft bezüglich der Mortalität aufwiesen als der Gewichtsverlust (10;11). Ähnliche Ergebnisse erhielt auch Gupta bei Patienten mit Pankreas – oder Kolonkarzinomen, wo sich der Phasenwinkel als besserer Prädiktor für die Überlebenszeit als beispielsweise Alter, Tumorstadium, Albumin oder Ernährungszustand nach dem Subjective Global Assessment erwies (5;6).

L. Literatur

1. Kyle UG, Bosaeus I, De Lorenzo AD et al. Bioelectrical impedance analysis-part I: review of principles and methods. Clin.Nutr. 2004;23:1226-43.

2. Pirlich M, Plauth M, Lochs H. Bioelektrische Impedanzanalyse: Fehlerquellen und methodische Grenzen bei der klinischen Anwendung zur Analyse der Körperzusammensetzung. Akt.Ernähr.-Med. 1999;24:81-90.

3. Kushner RF, Schoeller D, Fjeld C, Dannford L. Is the impedance index (ht^2/R) significant in predicting total body water? Am J Clin Nutr 1992;56:835-9.

4. Faisy C, Rabbat A, Kouchakji B, Laaban JP. Bioelectrical impedance analysis in estimating nutritional status and outcome of patients with chronic obstructive pulmonary disease and acute respiratory failure. Intensive Care Med. 2000;26:518-25.

5. Gupta D, Lis CG, Dahlk SL, Vashi PG, Grutsch JF, Lammersfeld CA. Bioelectrical impedance phase angle as a prognostic indicator in advanced pancreatic cancer. Br.J.Nutr. 2004;92:957-62.

6. Gupta D, Lammersfeld CA, Burrows JL et al. Bioelectrical impedance phase angle in clinical practice: implications for prognosis in advanced colorectal cancer. Am.J.Clin.Nutr. 2004;80:1634-8.

7. Maggiore Q, Nigrelli S, Ciccarelli C, Grimaldi C, Rossi GA, Michelassi C. Nutritional and prognostic correlates of bioimpedance indexes in hemodialysis patients. Kidney Int. 1996;50:2103-8.

8. Ott M, Fischer H, Polat H et al. Bioelectrical impedance analysis as a predictor of survival in patients with human immunodeficiency virus infection. J Acquir Immune Defic Syndr Hum Retrovirol 1995;9:20-5.

9. Selberg O, Selberg D. Norms and correlates of bioimpedance phase angle in healthy human subjects, hospitalized patients, and patients with liver cirrhosis. Eur.J.Appl.Physiol 2002;86:509-16.

10. Toso S, Piccoli A, Gusella M et al. Altered tissue electric properties in lung cancer patients as detected by bioelectric impedance vector analysis. Nutrition 2000;16:120-4.

11. Toso S, Piccoli A, Gusella M et al. Bioimpedance vector pattern in cancer patients without disease versus locally advanced or disseminated disease. Nutrition 2003;19:510-4.

12. Piccoli A, Rossi B, Pillon L, Bucciante G. Body fluid overload and bioelectrical impedance analysis in renal patients. Miner Electrolyte Metabol 1996;22:78.

13. Piccoli A, Rossi B, Pillon L, Bucciante G. A new method for monitoring body fluid variation by bioimpedance analysis: the RXc graph. Kidney Int. 1994;46:534-9.

14. Piccoli A. Bioelectric impedance vector distribution in peritoneal dialysis patients with different hydration status. Kidney Int. 2004;65:1050-63.

15. Selberg O, Bottcher J, Tusch G, Pichlmayr R, Henkel E, Muller MJ. Identification of high- and low-risk patients before liver transplantation: a prospective cohort study of nutritional and metabolic parameters in 150 patients. Hepatology 1997;25:652-7.

16. Pirlich M, Schutz T, Spachos T et al. Bioelectrical impedance analysis is a useful bedside technique to assess malnutrition in cirrhotic patients with and without ascites. Hepatology 2000;32:1208-15.

17. Selberg O, Böttcher J, Henkel E, Manns MP, Müller MJ. Clinical significance and correlates of whole body potassium status in patients with liver cirrhosis. Hepatology Res 1999;16:36-48.

18. Guglielmi FW, Contento F, Laddaga L, Panella C, Francavilla A. Bioelectrical impedance analysis: experience with male patients with cirrhosis. Hepatology 1991;13:895.

19. McCullough AJ, Mullen KD, Kalhan SC. Measurements of total body and extracellular water in cirrhotic patients with and without ascites. Hepatology 1991;14:1101-11.

20. Schloerb PR, Forster J, Delcore R, Kindscher JD. Bioelectrical impedance in the clinical evalutation of liver disease. Am J Clin Nutr 1996;64:510S-4S.

21. Madden AM, Morgan MY. A comparison of skinfold anthropometry and bioelectrical impedance analysis for measuring percentage body fat in patients with cirrhosis. J Hepatology 1994;21:878-83.

22. Zillikens MC, van den Berg JW, Wilson JHP, Swart GR. Whole-body and segmental bioelectrical-impedance analysis in patients with cirrhosis of the liver: changes after treatment of ascites. Am J Clin Nutr 1992;55 :615.

23. Boot AM, Bouquet J, Krenning EP, de-Muinck-Keizer Schrama SM. Bone mineral density and nutritional status in children with chronic inflammatory bowel disease. Gut 1998;42:188-94-194.

24. Royall D, Greenberg GR, Allard JP, Baker JP, Harrison JE, Jeejeebhoy KN. Critical assessment of body-composition measurements in malnourished subjects with Crohn's disease: the role of bioelectric impedance analysis. Am J Clin Nutr 1994;59:325-30.

25. Süttmann U, Müller MJ, Ockenga J et al. Malnutrition and immune dysfunction in patients infected with human-immunodeficiency virus. Klin Wochenschr 1991;26:162.

26. Suttmann U, Ockenga J, Selberg O, Hoogestraat L, Deicher H, Muller MJ. Incidence and prognostic value of malnutrition and wasting in human immunodeficiency virus-infected outpatients. J Acquir. Immune. Defic. Syndr.Hum.Retrovirol. 1995;8:239-46.

27. Kotler DP, Burastero S, Wang J, Pierson RN, Jr. Prediction of body cell mass, fat-free mass, and total body water with bioelectrical impedance analysis: effects of race, sex, and disease. Am J Clin Nutr 1996;64:489S-97S.

28. Ockenga J, Süttmann U, Selberg O et al. Percutaneous endoscopic gastrostomy in AIDS and control patients: risks and outcome. Am J Gastroenterology 1996;91:-1817.

29. Schwenk A, Beisenherz A, Kremer G, Diehl V, Salzberger B, Fatkenheuer G. Bioelectrical impedance analysis in HIV-infected patients treated with triple antiretroviral treatment. Am J Clin Nutr 1999;70:867-73.

30. Brummer RJ, Lonn L, Bengtsson BA, Kvist H, Bosaeus I, Sjostrom L. Comparison of differen body composition models in acromegaly. Sjostrom L 1996;6:191-200.

31. Tominaga A, Arita K, Kurisu K et al. Effects of successful adenomectomy on body composition in acromegaly. Eur J Clin Nutr 1992;117-24.

32. Bengtsson BA, Tölli J, Bodaeus I et al. Treatment of adults with growth hormone (GH) deficiency with recombinant human GH. J Clin Endocr Metabolism 1993;76: 309-17.

33. Beshyah, Thomas E, Freemantle C, Page B, Murphy M, Johnston D. Comparison of measurements of body composition by total body potassium, bioimpedance analysis, and dual-energy X-ray absorptiometry in hypopituitary adults before and during growth hormone treatment. Am J Clin Nutr 1995;61:1186-94.

34. Janssen YJ, Deurenberg P, Roelfsema F. Using dilution techniques and multifrequency bioelectrical impedance to assess both total body water and extracellular water at baseline and during recombinant human growth hormone (GH) treatment in GH-deficient adults. J Clin Endocrinol Metab 1997;82:3349-55.

35. Orme SM, Sebastian JP, Odroyd B et al. Comparison of measures of body composition in a trial of low dose growth hormone replacement therapy. Clin Endocrinology 1992;37:453-9.

36. Kushner RF, Kunigk A, Alspaugh M, Andronis PT, Leitch CA, Schoeller DA. Validation of bioelectrical-impedance analysis as a measurement of change in body composition in obesity. Am J Clin Nutr 1990;52:219-23.

37. Vazquez JA, Janosky JE. Validity of bioelectrical-impedance analysis in measuring changes in lean body mass during weight reduction. Am J Clin Nutr 1991;54:975.

38. Forbes GB, Simon W, Amatruda JM. Is bioimpedance a good predictor of body-composition change? Am J Clin Nutr 1992;56:4-6.

39. Wabitsch M, Braun U, Heinze E et al. Body composition in 5-18-y-old obese children and adolescents before and after weight reduction as assessed by deuterium dilution and bioelectrical impedance analysis. Am J Clin Nutr 1996;64:1-6.

40. Deurenberg P. Limitations of the bioelectrical impedance method for the assessment of body fat in severe obesity. Am J Clin Nutr 1996;64:449S-52S.

41. Organ LW, Bradham GB, Gore DT, Lozier SL. Segmental bioelectrical impedance analysis: theory and application of a new technique. J Appl Physiol 1994;77:112.

42. Swan PD, McConnell KE. Anthropometry and bioelectrical impedance inconsistently predicts fatness in women with regional adiposity. Med.Sci.Sports Exerc. 1999;31:1068-75.

43. Carella MJ, Rodgers CD, Anderson D, Gossain VV. Serial measurements of body composition in obese subjects during a very-low-energy diet (VLED) comparing bioelectrical impedance with hydrodensitometry. ObesRes 1997;5:256.

44. Heath EM, Adams TD, Daines MM, Hunt SC. Bioelectric impedance and hydrostatic weighting with and without head submersion in persons who are morbidly obese. J Am Diet Assoc 1998;98:869-75.

45. Eisenkolbl J, Kartasurya M, Widhalm K. Underestimation of percentage fat mass measured by bioelectrical impedance analysis compared to dual energy X-ray absorptiometry method in obese children. Eur.J.Clin. Nutr. 2001;55:423-9.

46. Kyle UG, Bosaeus I, De Lorenzo AD et al. Bioelectrical impedance analysis-part II: utilization in clinical practice. Clin.Nutr. 2004;23:1430-53.

47. Scharfetter H, Schlager T, Stollberger R, Felsberger R, Hutten H, Hinghofer-Szalkay H. Assessing abdominal fatness with local bioimpedance analysis: basics and experimental findings. Int.J.Obes.Relat Metab Disord. 2001;25:502-11.

48. Mayfield SR, Uauy R, Waidelich D. Body composition of low-birth-weight infants determined by using bioelectrical resistance and reactance. Am J Clin Nutr 2005;54:296-303.

49. Kabir I, Malek MA, Rahaman MM, Khaled MA, Mahalabanis D. Changes in body composition of malnourished children after dietary supplementation as measured by bioelectrical impedance. Am J Clin Nutr 1994;59:5-9.

50. Pencharz PB, Azcue M. Use of bioelectrical impedance analysis measurements in the clinical management of malnutrition. Am J Clin Nutr 1996;64:485S-8S.

51. Gregory JW, Greene SA, Jung RT, Scrimgeour CM, Rennie MJ. Metabolic effects of growth hormone treatment: an early predictor of growth response? Arch Dis Child 1993;205-9.

52. Fomon SJ, Haschke F, Ziegler EE, Nelson SE. Body composition of reference children from birth to age 10 years. Am J Clin Nutr 1982;35:1169-75-6.

53. Goran MI, Kaskoun MC, Carpenter WH, Poehlman ET, Ravussin E, Fontvieille AM. Estimating body composition of young children by using bioelectrical resistance. J Appl Physiol 1993;75:1780.

54. Houtkooper LB, Going SB, Lohman TG, Roche AF, Van-Loan M. Bioelectrical impedance estimation of fat-free body mass in children and youth: a cross-validation study. J Appl Physiol 1992;72:366-73.

55. de Lorenzo A, Candeloro N, Andreoli A, Deurenberg P. Determination of intracellular water by multifrequency bioelectrical impedance. Ann Nutr Metab 1995;39:177-84.

56. Piccoli A, Fanos V, Peruzzi L et al. Reference values of the bioelectrical impedance vector in neonates in the first week after birth. Nutrition 2002;18:383-7.

57. De Palo T, Messina G, Edefonti A et al. Normal values of the bioelectrical impedance vector in childhood and puberty. Nutrition 2000;16:417-24.

58. Shime N, Ashida H, Chihara E et al. Bioelectrical impedance analysis for assessment of severity of illness in pediatric patients after heart surgery. Crit Care Med. 2002;30:518-20.

59. Kushner RF, de Vries PM, Gudivaka R. Use of bioelectrical impedance analysis measurements in the clinical management of patients undergoing dialysis. Am J Clin Nutr 1996;64:503S-9S.

60. Deurenberg P, Schouten FJ. Loss of total body water and extracellular water assessed by multifrequency impedance. Eur J Clin Nutr 1992;46:247-55.

61. Böhm D, Odaischi M, Beyerlein C, Overbeck W. Erfassung von Veränderungen des Körperwassergehaltes bei Dialysepatienten mit der Impedanzanalyse. Infusionstherapie 1990;17:75-8.

62. Kouw PM, Kooman JP, Cheriex EC, Olthof CG, de Vries PMJM, Leunissen KML. Assessment of postdialysis dry weight: a comparison of techniques. J Am Soc Nephrol 1993;4:98-100.

63. Piccoli A. Identification of operational clues to dry weight prescription in hemodialysis using bioimpedance vector analysis. The Italian Hemodialysis-Bioelectrical Impedance Analysis (HD-BIA) Study Group. Kidney Int. 1998;53:1036-43.

64. Piccoli A, Pittoni G, Facco E, Favaro E, Pillon L. Relationship between central venous pressure and bioimpedance vector analysis in critically ill patients. Crit Care Med. 2000;28:132-7.

65. Pirlich M, Luhmann N, Schutz T, Plauth M, Lochs H. Mangelernährung bei Klinikpatienten: Diagnostik und klinische Bedeutung. Akt.Ernähr.-Med. 1999;24:260-6.

66. de Lima JJ, da Fonseca JA, Godoy AD. Baseline variables associated with early death and extended survival on dialysis. Ren Failure 1998;20:581-7.

67. Dumler F, Schmidt R, Kilates C, Faber M, Lubkowski T, Finak S. Use of bioelectrical impedance for the nutritional assessment of chronic hemodialysis patients. Miner Electrolyte Metab 1992;18:287.

68. Chertow GM, Lowrie EG, Wilmore DW et al. Nutritional assessment with bioelectrical impedance analysis in maintenance hemodialysis patients. J Am Soc Nephrol 2005;6:75-81.

69. Woodrow G, Oldroyd B, Smith MA, Turney JH. The effect of arteriovenous fistulae in haemodialysis patients on whole body and segmental bioelectrical impedance. Nephrol Dial Transplant 1997;12:527.

70. Fritz T, Hollwarth I, Romaschow M, Schlag P. The predictive role of bioelectrical impedance analysis (BIA) in postoperative complications of cancer patients. Eur J Surg Oncol 1990;16:331.

71. Brennan BM. Sensitive measures of the nutritional status of children with cancer in hospital and in the field. Int J Cancer Suppl 1998;11:10-3.

72. Giacosa A, Frascio F, Sukkar SG, Roncella S. Food intake and body composition in cancer patients. Nutrition 1996;12:S20-S23.

73. Simons JP, Schols AM, Sesterterp KR, ten Velde GP, Wouters EF. Bioelectrical impedance analysis to assess changes in total body water in patients with cancer. Clin Nutrition 1999;18:35-9.

74. Simons JP, Schols AM, Westerterp KR, ten Velde GP, Wouters EF. The use of bioelectrical impedance analysis to predict total body water in patients with cancer cachexia. Am J Clin Nutr 1995;61 :741-5.

M. Interessante Links

Die beiden aktuellsten und umfassendsten Literaturstellen zu fast allen Aspekten der B.I.A., verfasst von führenden europäischen B.I.A.-Experten, finden Sie unter folgenden Adressen:

http://www.espen.org/education/documents/BIA1.pdf

http://www.espen.org/education/documents/BIA2.pdf

Weiterhin können wir folgende Links empfehlen:

http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/bv.fcgi?rid=hstat4.chapter.25989
Im Dezember 1994 fand im National Institute of Health in Bethesda eine B.I.A.-Consensus-Konferenz statt, an der praktisch alle führenden Wissenschaftler auf diesem Gebiet teilgenommen haben. Die Ergebnisse der Konferenz sind auf diesen Seiten zusammengefaßt.

http://www.ajcn.org
ist die Homepage des American Journal of Clinical Nutrition, welches sich intensiv mit Themen zur Körperzusammensetzung beschäftigt. Mit der „Search"-Funktion lassen sich z.B. unter dem Suchwort „impedance" ca. 130 Abstracts aufrufen.

http://www.nebic.org
NEBIC bedeutet Nordic Electrical Bio-Impedance Club. Ein informeller Club, in dem Forschungsergebnisse ausgetauscht werden.

http://www.fys.uio.no/elg/bioimp
Eine weitere Gruppe von B.I.A.-Spezialisten an der Universität Oslo.

Notizen:

Notizen:

Notizen:

Data Input
Body Composition

Data Input GmbH · Landwehrstraße 54 · 64293 Darmstadt
Telefon: 0 61 51-1 36 13-0 · Telefax: 0 61 51-1 36 13-10
info@data-input.de · www.data-input.de

KP/D/4/07