Die Bioelektrische Impedanzanalyse (BIA)

Methoden zur Messung der Körperkompartimente in der Ernährungsmedizin

Claudia Reimers, Simone Mersch, Sven-David Müller-Nothmann

Gesellschaft für Ernährungsmedizin und Diätetik e.V., DE-Aachen

nhand der Körperzusammensetzung lässt sich der Ernährungszustand eines Menschen bestimmen. Die Bestimmung der Körperzusammensetzung wird genutzt im Bereich der Ernährungsmedizin und -wissenschaft, Sportmedizin, Humanbiologie und zunehmend auch im Fitness- und Lifestylebereich (Wellness, Beauty, Bodyforming). Die körperliche und geistige Leistungsfähigkeit, die Stoffwechseltätigkeiten und Immunabwehr des Menschen sind abhängig von der aufgenommenen Nahrung und den darin enthaltenen Nährstoffen. Zusätzlich wird der Ernährungszustand auch durch emährungsunabhängige Faktoren beeinflusst, wie beispielsweise Krankheiten oder Medikamente [1]. Mangel- und Fehlernährung beeinträchtigen die Körperfunktionen und stellen besonders bei operativen Eingriffen oder Krankheiten eine ernsthafte Gefährdung des Patienten dar. Als Risikofaktor ist auch Übergewicht oder Adipositas zu sehen, denn damit sind oft metabolische, kardiovaskuläre sowie endokrinologische Erkrankungen assoziiert. Eine Verbesserung des Ernährungszustandes geht meist mit weniger Komplikationen und daher mit einer schnelleren Genesung einher [2]. Die Grundlage zur Erfassung des Ernährungszustandes eines Menschen bildet die klinische Diagnostik mit Anamnese und körperlicher Untersuchung [1]. Da diese subjektiven Parameter jedoch ungenau sind, werden verschiedene objektive Parameter zur Beschreibung des Ernährungszustandes genutzt. Die objektiven Methoden können unterschieden werden nach direkten, indirekten und doppelt indi-

Die BIA ist ein Standardverfahren zur Bestimmung der Körperzusammensetzung. Diese setzt sich aus Körperfett, Gesamtkörperwasser und fettfreier Masse, die extrazelluläre Körpermasse und Körperzellmasse beinhaltet, zusammen. Bei der BIA-Messung wird ein risikoloser Wechselstrom durch den Organismus geleitet. Gemessen wird der Gesamtwiderstand, die sogenannte Impedanz, und die Phasenverschiebung. Bei optimalen Messbedingungen und unter Berücksichtigung der Fehlerquellen sind die BIA-Messungen valide. Ideal sind die BIA-Messungen auch als Verlaufskontrolle.

Schlüsselwörter: Bioelektrische Impedanzanalyse, Körperzusammensetzung, Körperfett, Gesamtkörperwasser, fettfreie Masse, extrazelluläre Körpermasse, Körperzellmasse, Impedanz, Reaktanz, Resistanz, Phasenwinkel

Nutritional Medicine: Bioelectrical Impedance Analysis

Methods to measure the body compartments

Bioelectrical impedance analysis (BIA) is a standard procedure for determining body composition, consisting of: Body Fat (BF), Total Body Water (TBW) and Lean Body Mass (LBM), which comprises Extra Cellular Mass (ECM) and Body Cell Mass (BCM). To determine BIA, a harmless alternating current passes through the organism. The impedance (total resistance) and the phase shifting are measured with this standard procedure. Under optimum conditions valid results may be received provided possible errors are are factored in. The BIA is an ideal standard for monitoring patient development

Keywords: bioelectrical impedance analysis, body composition, body fat, total body water, lean body mass, extra cellular mass, body cell mass, impedance, reactance, resistance, phase angle

rekten Methoden [3] (Tab. 1, 2).

Die direkten Methoden sind nicht geeignet für eine Anwendung an lebenden Menschen in der klinischen Emährungstherapie. Die indirekten Methoden bieten eine relativ hohe Messgenauigkeit und sind unter den meisten Bedingungen stabil und anwendbar. Als «Goldstandard» gelten DEXA und Hydrodensitometrie. Diese sind jedoch extrem kostenintensiv, setzen eine hohe Kooperationsbereitschaft des Patienten voraus (Hydrodensitometrie) und mangeln daher der Compliance. Zudem kann man sie nur

stationär einsetzten. Doppelt indirekte Methoden basieren auf einem statistischen Zusammenhang zwischen gemessenen Körperparametern und Daten, die durch direkte oder indirekte Methoden erhoben wurden. Diese empirischen Daten werden als Vergleichsdaten mit einbezogen, um beispielsweise anhand der Hautfaltendicke die Gesamtmenge an Körperfett zu bestimmen. Eine doppelt indirekte Messmethode wird allerdings umso ungenauer, je mehr Annahmen in eine Messung mit einfliessen [3]. Für die jeweiligen Anwendungszwecke ist es da-

Originalien | Original Articles

Tab. 1. Einteilung der verschiedenen Methoden zur Bestimmung der Körperzusammensetzung (modifiziert nach Deurenberg, Schutz 1995, in Biesalski et al. 2004)

Direkte Methoden	Indirekte Methoden	Doppelt indirekte Methoden
Post-mortem-Analysen Neutronenaktivierung	Densitometrie	Anthropometrie (Broca-Formel, BMI, Hautfaltendicke, Taille-Hüft-Quotient (WHR))
	Verdünnungstechniken	Infrarot-Absorptionsspektro- metrie
	⁴⁰ K-Zählung	Ultraschallmessungen
	Computertomographie (CT)	Bioelektrische Impedanz- analyse (BIA)
	Kernspintomographie (NMR)	Ganzkörperleitfähigkeits- messung (TOBEC)
	Dual Energy X-ray Absorptiometry (DEXA)	Laborparameter (Serumproteine, Kreatinin)

Tab. 2. Methoden zur Erfassung des Ernährungszustands bei speziellen Fragestellungen [1]

et		

Densitometrie durch Unterwasser-Wiegen Leitfähigkeitsmessung (TOBEC) Total Body Electrical Conductivity Infrarotspektroskopie (IR-Interaktanz)

Isotopenmethoden

Schweres Wasser (2H₂O; H₂¹⁸O)*
²²Natrium**

Kaliumisotope (40K; 42K)*; 43K**

Dual-energy X-ray absorptiometry (DEXA)

Dual-photon absorptiometry (DPA) (153Gd)**

Computertomographie (CT)

Magnetresonanztomographie (MRT) In-vivo-Neutronen-Aktivierungsanalyse (IVNAA)

* stabil, ** radioaktiv

Messparameter

Gesamtkörperfett Gesamtkörperfett

Subkutanfett

TBW, ECW, ICW, BCM, FFM, LBM Gesamtkörperwasser (TBW) Extrazellulärvolumen (ECW) Körperzellmasse (BCM)

Fettmasse; % Körperfett; Abdominalfett Fettmasse; % Körperfett; Abdominalfett Fett, Muskel, Knochen, Viszeralorgane Fett, Muskel, Knochen, Viszeralorgane

Na, C, Ca, K, Cl

her sinnvoll, anhand des Messzieles und der weiteren folgenden Kriterien eine geeignete Methode auszusuchen [3]:

- keine Strahlenbelastung des Patienten.
- Möglichkeit zur Mehrfachmessung am selben Patienten,
- hinreichend genaue Methode auch bei begrenzter Kooperationsbereitschaft seitens des Probanden,
- niedrige Kosten,
- reproduzierbare Untersuchungsergebnisse,
- geringe Messzeiten,
- hohe Zuverlässigkeit der Messdaten,
- durchführbar mit mobilen Geräten,
- einsetzbar für ein breites Spektrum an Probanden wie Kinder, Schwangere, kranke und adipöse Personen.

Grundvoraussetzung für die Anwendung dieser vielfältigen Methoden zur Ermittlung der Körperzusammensetzung ist die Einteilung des menschlichen Organismus nach verschiedenen Modellen (Abb. 1):

- Das Einkompartimentmodell betrachtet den Körper als Ganzes und damit nur das Körpergewicht.
- Das Zweikompartimentmodell teilt den Körper in Fettmasse (BF = body fat) und fettfreie Masse (LBM = lean body mass oder FFM = fettfreie Masse) ein. Die FFM stellt den Rückstand nach Ether-Extraktion von Fett dar (wasserfreie Triglyceride, Fettextrakt aus homogenisiertem Gewebe). Im Gegensatz dazu bildet die Magermasse bzw. fettarme Körpermasse (LBM = lean body mass)

die Differenz aus Körpergewicht und Fettgewebe (Adipozyten) und enthält noch Strukturlipide. Das Körpergewicht abzüglich der FFM ergibt genaugenommen daher nicht das Fettgewebe, sondern die Neutralfette. Bezogen auf die Zellmasse ist der Unterschied jedoch gering, so dass FFM und LBM in der Praxis oft synonym verwendet werden [4].

- Bei dem Dreikompartimentmodell wird die FFM in Körperzellmasse (BCM = body cell mass) und Extrazellulärmasse (ECM = extra cellular mass) differenziert. Mit dem Körperfett wird der Organismus somit in drei Kompartimente unterteilt.
- Das Vierkompartimentmodell unterteilt neben dem Körperfett die fettreie Masse in die drei Kompartimente Ganzkörperwasser (TBW = total body water), Körperprotein und Knochenmasse. [3, 4]

Die Körperkompartimente lassen sich mit einer Vielzahl von Methoden analysieren. Die meisten Geräte erfordern hohen technischen Aufwand, sind bei ambulanten Therapien nicht einsetzbar und haben hohe Anschaffungskosten. Einige Messungen der verschiedenen Geräte führen zu einer Belastung des Organismus (z.B. Radioaktivität bei der Kaliumisotopenmethode).

Bioelektrische Impedanzanalyse

Eine relativ sichere, kostengünstige und nichtinvasive Messmethode ist die Bioelektrische Impedanzanalyse (BIA). Der BIA liegt das Dreikompartimentmodell zugrunde. Gemessen werden:

- Körperfett (BF),
- Gesamtkörperwasser (TBW),
- und fettfreie Masse (LBM), die weiter unterteilt wird in extrazelluläre Körpermasse (ECM) und Körperzellmasse (BCM).

Grundlage der BIA ist die Tatsache, dass die verschiedenen Gewebe- und Zellarten des menschlichen Körpers den Strom unterschiedlich gut leiten.

Der italienische Physiker Luigi Aloisius Galvani (1737–1798) erforschte 1786 als erster den Einfluss von

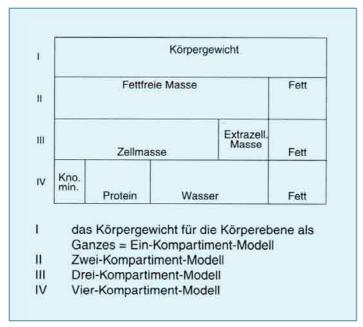


Abb. 1. Körperkompartimentmodelle [4].

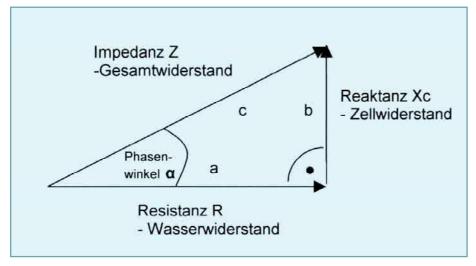


Abb. 2. Bestimmung von Reaktanz und Resistanz aus Impedanz und Phasenwinkel [modifiziert nach 15].

elektrischem Strom auf Gewebsstrukturen. Jedoch erst 176 Jahre später begann die eigentliche Geschichte der BIA mit der genauen Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Wechselstromwiderstand und Flüssigkeiten im menschlichen Organismus. Dies erfolgte 1962 und 1963 durch Thomasset und 1969 durch Hoffer, Meador und SIMPSON. Die BIA konnte sich zu diesem Zeitpunkt allerdings noch nicht durchsetzen, da die Messungen noch mit einer 2-Elektroden-Messtechnik durchgeführt wurden. Dabei wurden den Pro-

banden Stahlnadeln als Elektroden subdermal in Hand- und Fussrücken platziert, was deren Wohlbefinden erheblich beeinträchtigte und zu elektrochemischen Reaktionen führen konnte [5]. Heutzutage wird eine 4-Elektroden-Messtechnik verwendet, bei der Elektroden an Hand- und Fussrücken geklebt werden, und die somit die Probanden nicht beeinträchtigen.

Bei der BIA wird ein schwacher risikoloser Wechselstrom (meist 50 kHz und 800 μA) segmental (Arme, Beine, Rumpf) oder durch den gesamten Or-

ganismus mittels im Körperwasser gelöster Elektrolyte geleitet. Dadurch wird der Gesamtwiderstand, die sogenannte Impedanz, und die Phasenverschiebung gemessen [6]. Skelett und Körperfett leiten den Wechselstrom nur wenig und weisen einen grossen Widerstand, das heisst eine hohe Impedanz, auf. Das elektrolythaltige Körperwasser in der fettfreien Masse leitet dagegen den Wechselstrom gut. Dadurch weist die fettfreie Masse einen niedrigen Widerstand und eine niedrige Impedanz auf. Zellmembranen verhalten sich wie elektrische Kondensatoren, da sie dem Wechselstrom einen Widerstand entgegensetzen. Während der BIA wird der Strom hauptsächlich durch die Flüssigkeit der fettfreien Körpermasse geleitet. Durch die Verwendung von Regressionsgleichungen lässt sich unter anderem die fettfreie Körpermasse, das Gesamtkörperwasser und die Fettmasse berechnen.

Impedanz und Phasenverschiebung

Direkt gemessen werden bei der BIA die Impedanz Z und der Phasenwinkel α . Die Impedanz setzt sich zusammen aus dem Ohm'schen Widerstand, also der Resistanz R und dem kapazitiven Wechselstromwiderstand, der Reaktanz Xc. Es gilt die Formel $Z^2 = R^2 + Xc^2$ beziehungsweise $Z = \sqrt{R^2 + Xc^2}$ [13].

Die Unterscheidung und Bestimmung der Resistanz und Reaktanz erfolgt durch die Messung des Phasenwinkels (α). Der Phasenwinkel ergibt sich aus der Phasenverschiebung des Wechselstroms und der Spannung (Abb. 2).

Der Organismus besitzt Körperwasser mit enthaltenen Elektrolyten, wobei der Wechselstrom sowohl den extrazellulären als auch den intrazellulären Raum durchdringt [1]. Der Widerstand im extrazellulären Raum entspricht einem rein Ohm'schen Widerstand, da der Strom den Extrazellulärraum ungehindert passieren kann. Er wird als Resistanz (R) bezeichnet. Unter einem Ohm'schen Widerstand versteht man den elektrischen Widerstand im Gleichstromkreis, der genauso gross ist wie im Wechselstromkreis [16, 17]. Mit steigender Querschnittsfläche eines Körperteils sinkt die Re-

Tab. 3. Beurteilung des Phasenwinkels [15]

Frauen	Männer	Beurteilung
> 7,5	> 7,9	Nur im Leistungssport und Bodybuilding
6,5 – 6,4	7,0 – 7,9	"Sehr gut". Ausgezeichneter Ernährungs- und Trainingszustand
6,0 – 6,4	6,5 – 6,9	"Gut". Hinweis auf regelmäßige sportliche Aktivität. Ausreichende Versorgung mit Makronährstoffen ist anzunehmen.
5,5 – 5,9	6,0 - 6,4	"Befriedigend". Häufigste Werte für den Grossteil der Bevölkerung. Hinweis auf mässige sportliche Aktivität. Grundversorgung mit Makronährstoffen ist gegeben. Ernährungsberatung ratsam.
5,0 – 5,4	5,5 – 5,9	"Ausreichend". Mässiger Ernährungs- und Trainingszustand. Typisch für Patienten im mittleren Alter mit z.T. sehr einseitiger Ernährung und wenig körperlicher Betätigung. Ernährungsberatung erforderlich.
4,0 – 4,9	4,5 – 5,4	"Mangelhaft". Schlechter Ernährungszustand, typisch z.B. für ältere Patienten mit eingeschränkter Nahrungszufuhr und Be- weglichkeit. Ernährungsmedizinische Intervention erforderlich.
< 4,0	< 4,5	"Ungenügend". Sehr schlechter Ernährungszustand. Deutliches Zeichen der Malnutrition. Ernährungsmedizinische Intervention dringend erforderlich.
< 2	< 2,5	Nur bei Inaktivitätsatrophie mit Muskelschwund (z.B. bei allipatischen Personen)

sistanz. Folglich setzt sich der Gesamtkörperwiderstand mehr aus dem Wasse rgehalt der Extremitäten als aus dem des Rumpfes zusammen [7]. Die Resistanz ist umgekehrt proportional zum Gesamtkörperwasser [6]. Der Normalbereich der Resistanz beträgt bei Frauen 480 bis 580 Ohm und bei Männern 380 bis 480 Ohm [14]. Der Widerstand im intrazellulären Raum ist ebenfalls ein rein Ohm'scher Widerstand. Hinzu kommt ein auf die Zellm e m b r a n wirkender kapazitiver Widerstand, die Reaktanz (Xc) [1]. Unter einem kapazitiven Widerstand (Blindwiderstand) versteht man den Widerstand, den ein Kondensator dem Stromfluss aufgrund seiner begrenzten Kapazität entgegensetzt [16, 17]. Ursache des kapazitiven Widerstands sind die aus Lipiddoppelschichten aufgebauten Zellmembranen, die sich wie Minikondensatoren verhalten. Die Reaktanz ist abhängig von der interzellulären Matrix, der Zellmembrananzahl sowie den festen Geweben (zum Beispiel Knochen) und ist proportional zur Körperzellmasse. Der Normalbereich der Reaktanz macht zirka zehn Prozent des Resistenzwertes aus. Folglich setzt sich die Impedanz hauptsächlich aus der Resistanz zusammen [7].

Der Phasenwinkel (α) bezeichnet die Phasenverschiebung zwischen Wechselstrom und Spannung. Im Wechselstromkreis werden Kondensatoren beim Anwachsen der Spannung geladen und während des Abklingens der Spannung wieder entladen. Die Membranen der Körperzellen reagieren wie kleine Kondensatoren. Der Aufbau eines elektromagnetischen Feldes braucht Zeit, denn die Zelle richtet dem Anwachsen und Abklingen des Stroms einen kapazitiven Widerstand entgegen. Dieser führt zu einer Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung, wobei der Strom der Spannung vorauseilt [8, 16, 17]. Je grösser der Phasenwinkel ist, desto grösser ist der Anteil der Reaktanz an der Impedanz. Dieser Parameter ist abhängig vom Hydratationszustand, wobei hohe Phasenwinkel durch Dehydratationen ausgelöst werden (zum Beispiel bei Anorexia nervosa oder Dehydratationszuständen in der Geriatrie) (Tab. 3).

Durchführung der BIA

Über vier (bei neueren Geräten acht) Hautklebeelektroden wird bei der klassischen BIA ein elektrisches Feld im Körper erzeugt: Durch zwei Stromelektroden wird der Wechselstrom in den Körper geleitet und über zwei Detektorelektroden gemessen, die jeweils auf der selben Körperseite befestigt werden. Somit befinden sich also auf jeder Körperseite zwei Elektroden. Die Haut muss an den entsprechenden Stellen mit alkoholischem Desinfektionsmittel gereinigt und entfettet werden [1], um eine optimale Haftung der Elektroden auf der Haut und eine bestmögliche Leitung des Wechselstroms zu gewährleisten. An folgenden Stellen werden die Elektroden platziert [1]: An der Dorsalseite der rechten Hand wird die erste Stromelektrode über dem distalen Ende des Os metacarpale III und die erste Detektorelektrode über dem proximalen Handgelenk zwischen den distalen Enden des Processus styloides radii und dem Caput ulnae angebracht. An der Dorsalseite des rechten Fusses wird die zweite Stromelektrode über dem distalen Ende des Os metatarsale III und die zweite Detektorelektrode zwischen medialem und lateralem Malleolus platziert. Aussagekräftige Messungen der bioelektrischen Impedanz können nur bei völliger körperlicher Ruhe in einer flachen, horizontalen Rückenlage auf einer elektrisch isolierten Unterlage erfolgen [20]. Eine einstündige Liegezeit vor der Durchführung der Messung wäre ideal, da die Impedanz andernfalls stark variiert [9]. Während des Stehens versackt Körperwasser in den Beinen. In der einstündigen Liegezeit verteilt sich jedoch das Köperwasser gleichmässig im Gesamtorganismus. Da aus praktischen Gründen eine Liegezeit von einer Stunde kaum durchführbar ist, sollte unbedingt darauf geachtet werden, dass die Messung nicht unmittelbar nach dem Hinlegen des Patienten durchgeführt wird, sondern erst nach einer Wartezeit von mindestens einigen Minuten [9]. Bei Wiederholungsmessungen sollten die Messbedingungen annähernd gleich sein. Die Messungen dauern 20 bis 30 Sekunden und die Messergebnisse Reaktanz, Resistanz und Phasenwinkel werden auf einer digitalen Anzeige abgelesen.

Bei BIA Messgeräten in Form von Waagen sind Schuhe und Strümpfe vor der Messung auszuziehen. Der Proband stellt sich barfuss mit Ferse und Vorfuss auf jeweils eine Elektrode, die auf der Wiegeplattform der Waage angebracht ist. Es werden dabei nur die unteren Extremitäten in die Messung einbezogen. Daraus werden Rückschlüsse auf die Gesamtkörperzusammensetzung gezogen. Messungen dieser Art und auch Messungen, bei denen der Strom nur durch die Arme fliesst, sind im Vergleich zu Ganzkörpermessungen weniger gut evaluiert [13].

Impedanzmessungen können bei verschiedenen Stromfrequenzen durchgeführt werden. Häufig wird mit einer Einzelfrequenz von 50 kHz der Gesamtwiderstand gemessen. Die Körperzellmasse wird rein statistisch anhand von Formeln aus der Grösse der Magermasse berechnet. Die Formeln wurden durch lineare multiple Regression unter Einbeziehung des Körpergewichtes entwickelt und durch Goldstandard-Methoden korelliert [13]. Die Multifrequenz-BIA hingegen arbeitet mit einem Wechselstrom (800µA) unterschiedlicher Frequenzen [3, 13]. Durch die Messung der Widerstände bei verschiedenen Frequenzen ist der extra- und intrazelluläre Wassergehalt bestimmbar. Ein Wechselstrom mit niedriger Frequenz (ein oder fünf kHz) durchdringt die Körperzellmasse aufgrund der Kondensatoreigenschaften der Zellmembranen nur gering. Diese Messung ist daher eine direkte Messung des Extrazellulärraumes. Erhöht man die Frequenz auf 50 kHz oder 100 kHz, durchdringt der Wechselstrom die Zellmembranen vollständig. Damit werden anhand des Phasenwinkels Körperzell- und Extrazellulärmasse sowie Körperwasser bestimmt [13].

Anforderungen an die BIA Geräte

Die BIA Geräte sollen exakte Messungen ermöglichen sowie genaue elektronische Daten und Kalibrierungsangaben aufweisen. Der Widerstand wird durch die Länge des Stromleiters (= Körper) beeinflusst, und wird durch die Körperlänge als Kenngrösse in die Berechnungen miteinbezogen [6]. Geräte von unterschiedlichen Herstellern liefern signifikant unterschiedliche Ergebnisse. Einige neue Geräte machen die Bedienungsperson auf Fehlmessungen aufmerksam. Ebenfalls be-

rücksichtigen sie teilweise populationsbedingte Unterschiede durch die Verwendung von speziellen Berechnungen, wobei körperliche Aktivität durch den vergrösserten Kohlenhydratspeicher (Glykogen) von trainierten Personen beachtet wird, da Sportler vermehrt Körperwasser binden. Eine Einzelmessung liefert nur eine Momentaufnahme der Körperkompartimente. So ist zum Beispiel der Hydratationszustand des Körpers unter anderem von aktuellen Ernährungs- und Umweltbedingungen abhängig. Deshalb sind mehrere Wiederholungsmessungen, die immer zur gleichen Tageszeit erfolgen sollten, nötig, um die Ergebnisse richtig zu interpretieren. Dies gilt besonders für die BIA-Geräte, die den aktuellen Hydratationszustand des Organismus nicht gezielt in ihren Berechnungen der Körperkompartimente berücksichtigen.

Fehlerquellen der BIA

Die BIA wird heute in vielen verschiedenen Bereichen (zum Beispiel bei Übergewicht und Adipositas) eingesetzt. Bisher fehlen allerdings noch einheitliche Empfehlungen für die Interpre-tation der Messwerte und resultierenden Angaben wie beispielsweise des Gesamtkörperwassers. Eine verlässliche BIA setzt eine Standardisierung und Kontrolle der folgenden Variablen voraus [2]:

1. Elektroden

Die Elektroden müssen exakt auf den gereinigten Hautstellen platziert werden. Eine Fehlplatzierung um einen Zentimeter führt zu einer Abweichung der BIA Messungen von mehr als zwei Prozent. Ein Mindestabstand zwischen Detektor- und Messelektrode ist einzuhalten. Bei Erwachsenen beträgt er fünf Zentimeter und bei Kindern und Neugeborenen drei Zentimeter [9]. Weiterhin ist auf geeignete Elektroden sowie auf eine hochwertige Elektrodenqualität mit CE-Zulassung zu achten. Grosse Unterschiede sind zwischen den verschiedenen Herstellern festzustellen. Die Elektroden dürfen nicht direkt über knöchernen Arealen befestigt werden, da der hohe Widerstand des Knochens den Aufbau des Wechselstroms verhindert [15].

2. Hydratationszustand

Veränderungen des Hydratationszustandes eines Patienten können unter anderem durch Diuretikaeinnahme und Dextroseinfusionen [18] sowie Alkoholkonsum, Ödeme und gefüllte Harnblase verursacht werden.

3. Veränderungen der Plasmaelektrolyte Diese Veränderungen können zum Beispiel durch Alkoholkonsum in den letzten 24 Stunden zustande kommen.

4. Körperhaltung und -lage

Die BIA erfolgt nach 60minütig- bestehender, liegender Position, mit abgespreizten Extremitäten auf einer nicht leitenden Unterlage. Die 60-minütige Liegezeit begründet sich aus der Tatsache, dass sich das Körperwasser in dieser Zeit im Körper verteilt und sich nicht wie in stehender Position, durch die Gravitationskraft verstärkt, in den Beinen befindet.

5. Letzte Nahrungsaufnahme

Der Zeitabstand zur letzten Nahrungsaufnahme sollte bei der BIA mindestens vier Stunden betragen. Wäre der Magen zur Zeit der BIA-Messung gefüllt, würde die Fettmasse zu hoch berechnet, da der Mageninhalt zwar nicht mitgemessen aber mitgewogen wird (FM = Körpergewicht – FFM).

6. Umgebungstemperatur

Die BIA sollte bei einer Umgebungstemperatur des Patienten von 22 bis 26 Grad Celsius erfolgen.

7. Körperliche Aktivität

Der Zeitabstand von körperlicher Aktivität zur BIA-Messung sollte mindestens zwölf Stunden betragen.

8. Körpergrösse und -gewicht Die Messgenauigkeit der Körpergrösse sollte ± 0,5 cm und die des Körpergewichts ± 0,1 kg sein.

Empfehlungen für die Durchführung einer idealen BIA

- Liegezeit von einer Stunde ist ideal;
- Patient sollte mindestens vier Stunden nüchtern sein;
- Letzte körperliche Aktivität sollte möglichst zwölf Stunden zurückliegen;
- Blase entleeren;

Originalien | Original Articles

- Letzter Alkoholkonsum sollte möglichst 24 Stunden zurückliegen;
- Umgebungstemperatur des Patienten von 22 bis 26 Grad Celsius;
- Abspreizen der Extremitäten;
- Lage der Extremitäten in Körperhöhe auf einer nichtleitenden Unterlage;
- Qualität der Elektroden überprüfen;
- Reinigung der Hautstellen;
- Beachtung der Mindestabstände der Elektroden;
- Korrekte Platzierung der Elektroden auf der Haut:
- Kein Kontakt des Patienten mit metallischen Gegenständen.

Problematik des Hydratationsstatus [19]

Die meisten einfachen BIA-Messgeräte, zum Beispiel Körperfettwaagen, gehen von einer konstanten Hydratation des Organismus von 73,2 Prozent aus. Bei einer verminderten Hydratation (zum Beispiel nach dem Sport, bei Laxantiengebrauch oder geringer Trinkmenge) des Organismus geben die Messergebnisse eine zu hohe Fettmasse wieder. Bei Personen mit krankheitsbedingter Überwässerung (zum Beispiel Nieren- und Herzinsuffizienz, Ödembildung/Ascites bei Tumoren oder dekompensierter Leberzirrhose) kommt es bei der Messung dagegen zu einer Überschätzung der Körpermagermasse und zu einer Unterschätzung des Körperfetts. Es gibt BIA-Geräte, die in ihren Berechnungen der Körpermagermasse den aktuellen Hydratationszustand des Organismus berücksichtigen. Dadurch wird die Bestimmung der Fettmasse und der Körpermagermasse auch bei Personen mit einem abweichenden Hydratationsstatus möglich. Die korrekte Bestimmung der Körperzellmasse ist entscheidend, denn diese wird durch die Differenzbildung zur Körpermagermasse errechnet. Zur Berechnung der Körperzellmasse wird häufig die For $mel\ BCM = LBM \times f \times Phasenwinkel$ verwendet, bei der die Körperzellmasse aus der Körpermagermasse berechnet wird. Da die Berechnung der Körpermagermasse von der Hydratation des Organismus abhängt, basiert auch die Berechnung der Körperzellmasse wesentlich auf der Erfassung der korrekten Körperhydratation. Weiterhin ist auch die ECM davon abhängig, da sie sich aus der Differenz von LBM und BCM errechnet (ECM = LBM – BCM). Wird der aktuelle Hydratationsstatus des Organismus nicht beachtet, fallen die Berechnungswerte für Fettmasse, Körpermagermasse und Körperzellmasse und der daraus errechneten Parameter stark abweichend aus.

Anwendungsbereiche der BIA

1. Übergewicht und Adipositas

Die exakte Unterscheidung von Adipösen (Veränderung der Körperzusammensetzung durch eine Vermehrung der Körperfettmasse) und Übergewichtigen (weniger ausgeprägte Erhöhung des Körpergewichts durch die Vermehrung von Muskel- und Fettmasse) ist nicht durch die Betrachtung des BMI möglich, sondern erfordert die BIA. Ergänzend können bei einer Therapieüberwachung die Änderungen der Muskelmasse, des Wasserhaushaltes und des Körperfettgewebes im Verlauf einer Gewichtsreduktion festgestellt werden. Die Messungen verstärken in diesem Zusammenhang die Motivation und Compliance der Patienten.

2. Essstörungen

Bei einer bestehenden Mangelernährung des Körpers wird die Reduktion der Körperzellmasse vom Organismus zunächst durch die Vergrösserung des Extrazellularraumes kompensiert, um das Gesamtkörperwasser konstant zu halten. Gewichtsveränderungen treten dadurch verzögert auf. Eine drohende Verschlechterung des Ernährungszustands, zum Beispiel bei Anorexia nervosa, kann mit der BIA-Messung daher meist schon vor einer signifikanten Gewichtsveränderung erfasst werden.

3. Gastroenterologie

Erkrankungen wie Morbus Crohn, Colitis ulcerosa und Zöliakie/Sprue gehen passager mit Malabsorptionsstörungen und daraus folgender Malnutrition einher. In diesem Zusammenhang ist die Feststellung der Änderung der Körperzusammensetzung (zum Beispiel bei Wassereinlage-

rungen durch Glucokortikoidtherapie) wichtig, um eine spezielle Ernährungstherapie einleiten zu können.

4. HIV und HIV-Stadium AIDS

Der Ernährungszustand des mit HIV-Infizierten ist für die Lebensqualität von entscheidender Bedeutung. HIV-Infizierte sind häufig von einer Proteinmangelernährung (wasting syndrome) betroffen, das an einem Verlust viszeraler Proteine und der Körperzellmasse erkennbar ist [15]. Die Patienten haben ein niedriges Körpergewicht, wenig Körperfett, eine reduzierte BCM und eine erhöhte ECM. Die Wasserverteilung in der Magermasse ist oft verschoben: das intrazelluläre Wasser ist erniedrigt und das extrazelluläre Wasser erhöht. Ein kritischer Abfall der Körperzellmasse führt bei diesen Patienten zu einem «point of no return», der das finale Stadium der Erkrankung einleitet. Mittels BIA kann rechtzeitig reagiert werden, um den Verlust der BCM aufzuhalten [10]. Der direkt gemessene Phasenwinkel geht mit einer erhöhten Morbidität und Mortalität der Patienten bei einem Wert unter 5° einher.

5. Nephrologie

Bei Niereninsuffizienz ist eine Therapieüberwachung mittels ECM/BCM-Quotienten möglich. Bei Patienten, die chronisch mit Nierenersatztherapieverfahren behandelt werden, können katabole Zustände rasch eintreten. Durch die BIA können Schwankungen der Hydratation und des Ernährungszustands rechtzeitig festgestellt werden [15]. Eine Proteinmangelernährung geht mit einem Verlust der fettfreien Masse einher und ist bei Dialysepatienten sowie bei fast allen chronischen Erkrankungen ein Risikofaktor für eine erhöhte Mortalität [11].

6. Intensivmedizin

Die BIA unterstützt die Überwachung von Intensivpatienten, wobei sie jedoch bei Schwerkranken nicht validiert ist. Die Interpretation der Messergebnisse wird erschwert durch die gleichzeitige Veränderung von TBW und dem Verhältnis von intra- zu extrazellulärer Flüssigkeit. Die Beziehungen zwischen TBW, Wassergehalt der FFM und der

Impedanz sind in dieser Situation unbekannt. Dennoch wird der BIA hier eine wichtige Aufgabe im Bereich der Risikoeinschätzung zuteil [7].

7. Onkologie

Die Kachexie ist die bedeutenste Todesursache von Krebspatienten. Die Prävention der Tumorkachexie ist besonders wichtig, da eine bereits bestehende Fehlernährung die Prognose verschlechtert. Kachexie und Malnutrition haben somit einen signifikanten Einfluss auf die Lebensqualität und die Überlebensdauer der Krebspatienten.

8. Pädiatrie

Die BIA bei Kindern bedingt höhere Anforderungen an die Messtechnik und Dateninterpretation, da gerade bei Kindern die Bestimmung der Magermasse aufgrund der engen Beziehung zu kalorischem Bedarf, körperlicher Aktivität und Pharmakokinetik besonders wichtig ist [12].

Vor- und Nachteile der BIA

Vorteile der BIA ergeben sich aus der einfachen, raschen und kostengünstigen Handhabung, der nichtinvasiven Methodik und aus der geringen Beanspruchung des Patienten während der Messung [15]. Die vergleichsweise handlichen Messgeräte können relativ kostengünstig bei ambulanten Therapien eingesetzt werden. Von Vorteil ist auch, dass aus einer Messung auf mehrere Kompartimente geschlossen werden kann. Die BIA ist eine Methode zur Beurteilung der Körperzusammensetzung, die eingesetzt werden kann bei Gesunden sowie leicht- bis mittelschweren Adipösen. Einsatz findet die BIA auch bei Verlaufskontrollen der schon erläuterten Erkrankungen. Abgesehen von Herzrhythmusstörungen, am Körper befestigten Defibrillatoren und anderen implantierten, automatischen Kontroll-Vorrichtungen (zum Beispiel Systeme, die Substanzen verabreichen) gibt es keine Kontraindikation der BIA [19]. Der wesentliche Nachteil der BIA liegt in der Ungenauigkeit der Messergebnisse durch fehlende Standardisierungen für Geräte, Mess- und Untersuchungsmethodik. Einen wesentlichen Einfluss haben auch die schon

erwähnten Fehlerquellen. Bei optimalen Messbedingungen ist die Bioelektrische Impedanzanalyse valide. Die BIA ist ungeeignet bei kurzfristigen Änderungen der Körperzusammensetzung durch Diäten oder körperliche Aktivitäten von Einzelpersonen, aber aussagekräftig für Verlaufskontrollen über einen längeren Zeitraum [9].

Literatur:

- Schauder, P., Ollenschläger, G.: Ernährungsmedizin. Prävention und Therapie. 2. Auflage, Urban & Fischer, München, Jena, 2003
- [2] Kasper, H.: Ernährungsmedizin und Diätetik. 10., neubearbeitete Auflage, Urban & Fischer, München, 2004
- [3] Biesalski, H.-K. et al.: Ernährungsmedizin. 3., erweiterte Auflage, Thieme, Stuttgart, 2004
- [4] Elmadfa, I.; Leitzmann, C.: Ernährung des Menschen. 3. Auflage, Ulmer, Stuttgart, 1998
- [5] Stroh, S.: Methoden zur Erfassung der Körperzusammensetzung, Ernährungs-Umschau 42 (1995) Heft 3, 88 – 94
- [6] Fischer, H.; Lembcke, B.: Die Anwendung der bioelektrischen Impedanzanalyse (BIA) zur Beurteilung der Körperzusammensetzung und des Ernährungszustandes. In: Innere Medizin Aktuell 18 (1/91)
- [7] Müller, M. J.: Bioelektrische Impedanzanalyse - Auf dem Weg zu einer standardisierten Methode zur Charakterisierung der Körperzusammensetzung. In: Aktuelle Ernährungsmedizin 2000: 25: 167-169
- [8] Lindner, H.; Koksch, G.; Simon, G.: Physik für Ingenieure. 12. Auflage, Braunschweig/ Wiesbaden
- [9] Pirlich, M.; Krüger, A.; Lochs, H.: BIA-Verlaufsuntersuchungen: Grenzen und Fehlermöglichkeiten. In: Aktuelle Ernährungsmed 2000; 25: 64-69
- [10] Fischer, H.: Bioelektrische Impedanzanalyse (BIA) Grundlagen, Einsatz und Wertigkeit beim AIDS-Wasting Syndrom. In: Jäger, H: Wasting und AIDS
- [11] Pirlich, M.; Luhmann, N.; Schütz, T.; Plauth, M.; Lochs, H.: Mangelernährung bei Klinikpatienten: Diagnostik und klinische Bedeutung. In: Aktuelle Ernährungsmedizin 1999, 24: 260-266
- [12] Kabir, I.; Malek, M.; Rahman, M.; Khaled, A.; Mahalanabis, D.: Changes in body composition of malnourished children after dietary supplementation as measured by bioelectrical impedance. In: American Journal of Clinical Nutrition. 1994, 59:5-9
- [13] Weimann, A. et al.: Objektive Meßdaten in der Ernährungsmedizin – Wie relevant ist die bioelektrische Impedanzmessung? Loccumer Gespräche 1999, Intensivmed 36: 737 – 741 (1999)
- [14] Jung, U.: Die bioelektrische Impedanzanalyse (BIA) und ihre Umsetzung in die Praxis. Ernährung & Medizin 2002; 17: 203 – 204
- [15] Dörhöfer, R., Pirlich, M.: Das BIA-Kompendium 1. Ausgabe 07/2002
- [16] Hänsel, H.; Neumann, W.: Physik, Elektrizität – Optik – Raum und Zeit, Spektrum, Heidelberg, Berlin, 1993
- [17] Lindner, A.: Grundkurs Theoretische Physik, Teubner, Stuttgart, 1994

- [18] Biesalski, H. K.; Grimm, P.: Zusammensetzung des Körpers. In: Taschenatlas der Ernährung. 2. Auflage, Stuttgart 2002
- [19] MEDI CAL Healthcare GmbH, Karlsruhe www.medi-cal.de/wissenschaft/phys_grundlagen.php
- [20] Juwel medical, Leo-Putz-Weg 19, DE-82131 Gauting.

Korrespondenzadresse:

www.ernaehrungsmed.de

Dipl. oec. troph. Claudia Reimers Gesellschaft für Ernährungsmedizin und Diätetik e.V. Wissenschaftlicher Direktor: Prof. Dr. med. Helmut Mann Mariahilfstrasse 9, DE-52062 Aachen info@ernaehrungsmed.de