

Phasenwinkel und Bioelektrische Impedanzvektoranalyse – Klinische Anwendbarkeit der Impedanzparameter

Phase Angle and Bioelectrical Impedance Vector Analysis – Clinical Practicability of Impedance Parameters

Autoren

N. Stobäus, K. Norman, M. Pirlich

Institut

Medizinische Klinik mit Schwerpunkt Gastroenterologie, Hepatologie und Endokrinologie, Charité – Universitätsmedizin Berlin

Schlüsselwörter

- Phasenwinkel
- Bioelektrische Impedanzanalyse
- Bioelektrische Impedanzvektoranalyse

Keywords

- phase angle
- bioelectrical impedance analysis
- Bioelectrical Impedance Vector Analysis

Bibliografie

DOI <http://dx.doi.org/10.1055/s-0030-1248434>
 Online-Publikation:
 5. Mai 2010
 Aktuell Ernährungsmed 2010; 35: 124–130
 © Georg Thieme Verlag KG
 Stuttgart · New York ·
 ISSN 0341-0501

Korrespondenzadresse

Dr. rer. medic.

Kristina Norman

Medizinische Klinik und Poliklinik, Charité – Universitätsmedizin Berlin
 Charitéplatz 1
 10098 Berlin
 Tel.: +49-30-450-514139
 Fax: +49-30-450-514936
 kristina.norman@charite.de

Zusammenfassung



Die Verwendung des Phasenwinkels und weiterer Rohwerte der Bioelektrischen Impedanzanalyse (BIA) hat als Alternative zur Berechnung der Körperzusammensetzung in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Die vorliegende Arbeit gibt einen Überblick über die klinische Anwendbarkeit und Bedeutung von Phasenwinkel und Bioelektrischer Impedanzvektoranalyse (BIVA). Der Phasenwinkel berechnet sich direkt aus der Resistanz (Ohm'scher Widerstand) und Reaktanz (kapazitiver Widerstand). Zahlreiche Studien belegen, dass der Phasenwinkel bei verschiedensten Krankheitsbildern ein signifikanter Prädiktor der Mortalität ist. In der BIVA werden Resistanz und Reaktanz als bivariater Vektor grafisch in einem Koordinatensystem (Vektorgraph) dargestellt. Die Betrachtung der Vektorlage ermöglicht eine detaillierte Sicht auf Hydratationszustand bzw. Zellmasse und erlaubt somit die Beurteilung auch solcher Personen, bei denen aufgrund veränderter Hydratationszustände keine genauen Ergebnisse der Körperzusammensetzung zu erwarten sind. Referenzwerte, die die Interpretation der Daten ermöglichen, existieren sowohl für den Phasenwinkel als auch für die BIVA. Die Impedanzparameter sind für die klinische Verwendung geeignet, erlauben die Identifizierung von Risikopatienten und sind insbesondere dann für das Ernährungsassessment interessant, wenn eine valide Berechnung der Körperzusammensetzung nicht möglich ist.

Einleitung



Die Bioelektrische Impedanzanalyse findet seit über 25 Jahren Anwendung in der Erfassung der Körperkompartimente, da sie eine einfache, nicht invasive Methode darstellt, die auch im klinischen Alltag integrierbar ist. Das Prinzip der BIA beruht

Abstract



The use of phase angle and other raw parameter of the bioelectrical impedance analysis (BIA) has gained attention as an alternative to the assessment of body composition over the last years. This work gives an overview over the clinical use of phase angle and Bioelectrical Impedance Vector Analysis (BIVA). Phase angle is calculated directly from resistance (pure opposition of a biological conductor to alternating electric current) and reactance (capacitative resistance). Various studies show the prognostic value of phase angle in relation to mortality in different clinical settings. BIVA uses the plot of impedance parameters resistance and reactance normalized per height as a bivariate vector in the vectorgraph. The shortening or lengthening of the vector indicates hydration status in form of oedema or dehydration, respectively, whereas a migration sideways indicates increase or decrease in body cell mass. BIVA thus provides information about hydration status and body cell mass and therefore allows assessment of patients in whom the calculation of body composition fails due to altered hydration status. Reference values exist for both phase angle and BIVA, which facilitates interpretation of the data. Impedance parameters and phase angle are useful for clinical practice, allow the identification of risk patients and are relevant for nutritional assessment, in particular when calculation of body composition is not feasible.

auf Widerstandsmessungen, die die Leitfähigkeit eines Wechselstroms durch den menschlichen Körper bestimmen und die Impedanzparameter Resistanz (R) und Reaktanz (Xc) messen. Die Berechnung der Körperkompartimente erfolgt danach unter Berücksichtigung der gemessenen Impedanzparameter, Alter und Geschlecht sowie

weiterer körperbezogener Parameter wie Größe und Gewicht mithilfe von Formeln, die auf der Annahme beruhen, dass der Hydratationszustand der fettfreien Masse 73% beträgt. Obwohl zahlreiche Formeln anhand verschiedener Referenzmethoden wie Dual Energy X-ray Absorptiometry, Isotopendilution und Unterwasserwiegen für verschiedene Kollektive validiert worden sind, ist die Validität der Formeln jedoch nicht bei Personen gewährleistet, die einen Body-Mass-Index (BMI) außerhalb des Bereiches von 16–34 kg/m², Flüssigkeits- bzw. Elektrolytbalancen oder Abnormalitäten in ihrer Körperform aufweisen [1]. Aufgrund der Unzulänglichkeit der Berechnung der Körperkompartimente mithilfe der BIA bei gewissen Krankheitsbildern haben die im Rahmen der Impedanzmessung erhobenen Rohwerte, insbesondere der Phasenwinkel, zunehmend an wissenschaftlicher Aufmerksamkeit gewonnen.

Der Phasenwinkel berechnet sich direkt aus den Teilwiderständen Reaktanz und Resistanz und liefert Informationen über den Zustand der Gewebshydratation sowie die Integrität der Zellmembrane und der interzellulären Verbindungen. Die Interpretation der Teilwiderstände bzw. des Phasenwinkels unterliegt im Vergleich zur Berechnung der Körperkompartimente nicht den formelinhärenten Fehlerquellen [2] und erlaubt außerdem gewichtsunabhängige Aussagen. Eine weitere Betrachtungsweise der Impedanzparameter ist die der Bioelektrischen Impedanzvektoranalyse, kurz BIVA genannt. Die Parameter Resistanz und Reaktanz werden hierbei ins Verhältnis zur Körpergröße gesetzt und in einem 2-dimensionalen Koordinatensystem aufgetragen, was Aufschluss über den Hydratationszustand und die Körperzellmasse erlaubt.

In der vorliegenden Arbeit wird die klinische Bedeutung von Phasenwinkel und BIVA vorgestellt.

Was ist der Phasenwinkel?

Um die Frage zu klären, was der Phasenwinkel ist, müssen zunächst die der BIA zugrunde liegenden physikalischen Grundlagen betrachtet werden. Durch das Applizieren eines Wechselstroms über spezielle Hautelektroden wird ein homogenes elektrisches Wechselstromfeld mit konstanter Stromstärke erzeugt, durch die die Leitfähigkeit des menschlichen Körpers gemessen wird. Zum einen wird dabei die Resistanz (R), der Ohm'sche Widerstand, der dem Gesamtkörperwasser umgekehrt proportional ist, gemessen. Zum anderen wird die Reaktanz (Xc) bestimmt, die durch die Kondensatoreigenschaft der Lipid-Protein-Doppelschicht der Zellmembran hervorgerufen wird [3] und mit der Körperzellmasse korreliert [4]. Durch die Kondensatorwirkung der Zellmembran kommt es im Wechselstromkreis zu einer Zeitverschiebung zwischen Strommaximum und Spannungsmaximum. Die daraus resultierende Phasenverschiebung des Stromflusses lässt sich in Form eines Winkels, des Phasenwinkels (α), erfassen [5]. Dieser berechnet sich direkt aus den Messwerten von R und Xc nach der Formel $\alpha = \text{arc-Tangens}(Xc/R) \times 180^\circ/\pi$ (Abb. 1).

Bis zum jetzigen Zeitpunkt ist nicht vollständig geklärt, welche genaue Bedeutung dem Phasenwinkel zugeschrieben werden kann. Verschiedene Studienergebnisse legen jedoch den Schluss nahe, dass ein hoher Phasenwinkel mit einer hohen Anzahl an intakten Zellmembranen und einer guten Zellfunktion verbunden ist [6,7]. Es ist auch spekuliert worden, dass er die „zelluläre Gesundheit“ [8] und den Ernährungszustand [9] widerspiegelt. Möglicherweise kann der Phasenwinkel als globaler Marker des

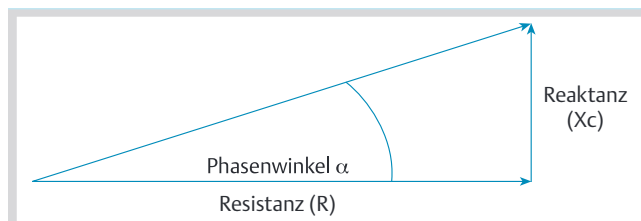


Abb. 1 Theoretische Herleitung des Phasenwinkels.

Gesundheitszustands interpretiert werden [5]. Ein niedriger Phasenwinkel wurde zudem als Marker einer klinisch relevanten Mangelernährung interpretiert, die durch eine Steigerung der extrazellulären Masse (ECM) und einer gleichzeitigen verringerten Körperzellmasse (BCM) sowie durch einen funktionellen Verlust gekennzeichnet ist [10].

Welche Größen beeinflussen den Phasenwinkel bei Gesunden?

Bei gesunden Erwachsenen liegen Phasenwinkelwerte je nach Alter und BMI durchschnittlich zwischen 5 und 7,1° [11]. Bei Leistungssportlern konnten auch Werte über 9,5° gemessen werden [12]. Die interindividuelle Variabilität von Resistanz bzw. Reaktanz und somit des Phasenwinkels wird jedoch durch eine Vielzahl verschiedener Faktoren beeinflusst. Bei gesunden Personen ist sie hauptsächlich durch die Determinanten Alter, Geschlecht und Körpermasse zu erklären [8,11]. Mit steigendem Alter kommt es zur Abnahme der Muskelmasse und somit zu einer Verringerung der Reaktanzwerte. Zudem sinkt mit dem Alter der Anteil des Körperwassers [13], dies führt wiederum zu einem Anstieg der Resistanz. Des Weiteren werden bei Männern höhere Phasenwinkel festgestellt als bei Frauen [8,14,15], was auf die höhere Körperzellmasse bei den Männern zurückzuführen ist [8]. Eine weitere Determinante stellt der BMI dar. Je höher der BMI, desto mehr Zellen (Fett- und Muskelzellen) sind vorhanden, was sich in einer höheren Reaktanz und somit einem höheren Phasenwinkel widerspiegelt [15]. Ein Anstieg des Phasenwinkels wurde allerdings nur bis zu einem BMI von 30 kg/m² beobachtet [11]. Bei stark Übergewichtigen (BMI > 40 kg/m²) stellte sich eine inverse Korrelation zwischen diesen beiden Größen heraus [11]. Dies wurde auf einen höheren Hydratationsstatus der fettfreien Masse bei Adipösen und somit auf ein vergrößertes Flüssigkeitsvolumen zurückgeführt [8]. Möglicherweise ist ein reduzierter Phasenwinkel bei schwer Übergewichtigen auch auf eine verringerte Funktionalität der Zellmembranen zurückzuführen [11]. Neben physiologischen Einflussgrößen kann auch die körperliche Aktivität den Phasenwinkel beeinflussen [8], da körperliches Training mit einer Steigerung der Skelettmuskulatur verbunden ist. Es ist zudem darauf hinzuweisen, dass Phasenwinkel, die mit Geräten verschiedener Hersteller gemessen werden, leicht voneinander abweichen können, da kein verbindlicher technischer Standard für die Herstellung von Impedanzmessgeräten existiert.

Welche Bedeutung hat der Phasenwinkel bei Kranken?

Es hat sich früh gezeigt, dass kranke Personen einen niedrigeren Phasenwinkel im Vergleich zu einer gesunden Vergleichspopulation haben [10,16,17]. Außerdem wurde der Phasenwinkel be-

Tab. 1 Studien zur prognostischen Aussagekraft des Phasenwinkels bei 50 KHz.

Patientenkollektiv	n	Cut-off-Wert	verwendetes BIA-Gerät	klinischer Verlauf bei Patienten unterhalb des Cut-off-Wertes
HIV				
HIV [18]	75	5,6°	101, RJL Systems	↓ Überlebenszeit
HIV [19]	469	5,3°	2000-1, Data Input	↓ Überlebenszeit ↑ Progression der Erkrankung (404 vs. 670 Tage)
Tumorerkrankung				
Bronchialkarzinom [20]	63	4,5°	101, RJL / Akern Systems	↓ Überlebenszeit: OR 1,25 (95% KI: 1,01–1,55) – Stadium IIIB: 3,7 vs. 12,1 Monate – Stadium IV: 1,4 vs. 5,0 Monate
Kolorektalkarzinom [21]	52	5,57°	101Q, RJL Systems	↓ Überlebenszeit (8,6 vs. 40,4 Monate)
Pankreaskarzinom [22]	58	5,08°	101Q, RJL Systems	↓ Überlebenszeit (6,3 vs. 10,2 Monate)
Brustkarzinom [23]	259	5,6°	101Q, RJL Systems	↓ Überlebenszeit (23,1 vs. 49,9 Monate)
Bronchialkarzinom [24]	165	5,3°	101Q, RJL Systems	↓ Überlebenszeit (7,6 vs. 12,4 Monate)
Dialyse				
Hämodialyse [26]	131	♂ 4,5° ♀ 4,2°	101, RJL / Akern Systems	↓ 2-Jahres-Überlebensrate (59,3 vs. 91,3%) ↑ Mortalitätsrisiko (2,6-fach erhöht)
Hämodialyse [27]	3009	4,0°	Quantum, RJL Systems	↑ Mortalitätsrisiko (2,2-fach erhöht)
Peritonealdialyse [28]	45	6,0°	101, RJL Systems	↓ Überlebenszeit
Peritonealdialyse [29]	48	6,0°	101, RJL / Akern Systems	↓ Überlebenszeit
weitere				
Leberzirrhose [10]	305	5,4°	101, RJL Systems	↓ Überlebenszeit nach 4,5 Jahren
ALS [25]	168	2,5°	Analycor 3, Spengler	↓ Überlebenszeit (384 vs. 572 Tage)
Chirurgie [30]	225	–0,8 SPA	101Q, RJL Systems	↑ Risiko für postoperative Komplikationen 4,3-fach

HIV = humanes Immundefizienzvirus; ALS = amyotrophe Lateralsklerose; ↓ = verringert; ↑ = gesteigert; SPA = standardisierter Phasenwinkel = (individueller Phasenwinkel – Mittelwert des Referenzwertes) / Standardabweichung des Referenzwertes

reits in mehreren Studien als prognostischer Marker bei verschiedenen klinischen Krankheitsbildern propagiert. So liegen Studien bei Patienten mit HIV-Erkrankung [18, 19], Krebserkrankungen [20–24], Leberzirrhose [10], amyotropher Lateralsklerose [25] sowie bei Dialysepatienten [11, 26–29] und chirurgischen Patienten [30] vor (● **Tab. 1**). Ein niedriger Phasenwinkel zeigte sich in diesen Studien als guter prognostischer Indikator für einen ungünstigen klinischen Ausgang (Überlebenszeit, Progression der Erkrankung, Auftreten postoperativer Komplikationen). In den Studien wurde allerdings der klinische Verlauf stratifiziert nach Cut-off-Werten des Phasenwinkels beurteilt, welche innerhalb des Studienkollektives generiert wurden, wie beispielsweise anhand der niedrigsten Quartile [19, 26] oder dem Median des Phasenwinkels [21, 22]. Wie der ● **Tab. 1** entnommen werden kann, ist die Streubreite der verwendeten Werte dabei in den verschiedenen Studien sehr groß. Die Validität dieser Cut-off-Werte ist somit immer nur für das Krankheitskollektiv, aus dem sie entwickelt worden sind, gewährleistet. Außerdem berücksichtigen sie nicht Alter, Geschlecht oder BMI, die jedoch maßgebliche Determinanten für den Phasenwinkel sind. Die Verwendung von Referenzwerten würde den Vergleich verschiedener Krankheitskollektive mit gesunden Personen ermöglichen. Voraussetzung ist jedoch, dass unter gleichen Bedingungen und mit dem gleichen Messinstrument gemessen wird. Die Festlegung jeweiliger krankheitsspezifischer Cut-off-Werte wäre damit vermeidbar. Ob die Aussagekraft für einzelne Krankheitspopulationen jedoch womöglich niedriger ist, da die Referenzwerte aus einem gesunden Kollektiv hervorgehen, bleibt offen.

Referenzwerte für den Phasenwinkel



Für die Beurteilung individueller Phasenwinkelwerte ist die Verwendung von Referenzwerten hilfreich. Phasenwinkelperzentile können als klinische Cut-off-Werte eingesetzt werden, um Risikopatienten zu identifizieren. Zum anderen können Referenzwerte auch herangezogen werden, um individuelle Phasenwinkel zu standardisieren. Mithilfe solcher standardisierter Phasenwinkel (individueller Phasenwinkel – Mittelwert des Referenzkollektivs / Standardabweichung des Referenzkollektivs) ist es wiederum möglich, die Abweichung der individuellen Phasenwinkel vom Referenzkollektiv darzustellen und auch einen Vergleich zwischen Subjekten vorzunehmen, die sich im Alter oder Geschlecht unterscheiden [15].

Bislang sind Phasenwinkelreferenzwerte aus Deutschland [11], der Schweiz [14] und den USA [15] für Gesunde verfügbar (● **Tab. 2**). Dabei sind die Referenzwerte aus Deutschland mit der größten Probandenanzahl von 214 732 Erwachsenen, die einzigen, welche alters-, geschlechts- und BMI-stratifizierte Perzentilen präsentieren. Beim Vergleich der Referenzwerte aus Deutschland mit Werten der Schweiz und USA zeigt sich, dass die Phasenwinkel bei Männern 8,4 bzw. 16% und bei Frauen 7,5 bzw. 12,5% geringer sind [11]. Diese Differenzen lassen sich nicht durch Unterschiede im BMI erklären; da diese auch nach Adjustierung für den BMI bestanden, ist es möglich, dass diese Unterschiede gerätebedingt sind [11]. Streng genommen sollten Messwerte nur auf solche Referenzdaten bezogen werden, die mit Geräten des gleichen Herstellers ermittelt wurden.

Tab.2 Referenzwerte für Phasenwinkel und BIVA.

Land	Anzahl (m / w)	Alter	stratifiziert nach	verwendetes BIA-Gerät
Phasenwinkel:				
Erwachsene				
Deutschland [8]	653 (244 / 409)	20–90	Alter, Geschlecht	2000-M, Data Input
Deutschland [11]	214732 (30750 / 183982)	18–102	Alter, Geschlecht, BMI	2000-S, Data Input
Schweiz [14]	5225 (2735 / 2490)	15–98	Alter, Geschlecht	109, 101, RJL Systems; 4000B, Xitron; Bio-Z ₂ , Spengler
USA [15]	1967 (832 / 1135)	18–94	Alter, Geschlecht	101, RJL Systems
Kinder				
Deutschland [11]	15605 (5898 / 9707)	6–17	Alter, Geschlecht, BMI	2000-S, Data Input
Bioelektrische Impedanzvektoranalyse:				
Erwachsene				
Deutschland [44]	213294 (30572 / 182722)	18–102	Alter, Geschlecht, BMI	2000-S, Data Input
USA [43]	10222 (5261 / 4961)	20–90	Alter, Geschlecht, ethnische Herkunft, BMI	1990B, Valhalla Scientific
Kinder				
Deutschland [44]	15605 (5898 / 9707)	6–17	Alter, Geschlecht, BMI	2000-S, Data Input

Gibt der Phasenwinkel Aufschluss über den Ernährungsstatus?

▼
Der Phasenwinkel stellt das Verhältnis von Reaktanz zu Resistanz dar und beschreibt somit den Zusammenhang zwischen Körperzellmasse und Extrazellulärmasse. Dieses Verhältnis ist wiederum einer der sensibelsten Indikatoren einer Mangelernährung [31]. Zahlreiche klinische Studien belegen den engen Zusammenhang zwischen Ernährungszustand und Phasenwinkel. Bei Pflegeheimbewohnern ging ein verschlechterter Ernährungszustand, beurteilt anhand des Mini Nutritional Assessment (MNA), mit einem niedrigen Phasenwinkel einher [32]. In einer Studie an chirurgischen Patienten zeigte sich ebenfalls präoperativ eine enge Korrelation zwischen dem Phasenwinkel und dem Subjective Global Assessment (SGA) [33]. Patienten, die aufgrund des SGA als schwer mangelernährt (SGA C) eingestuft wurden, wiesen die geringsten Phasenwinkel auf. Ähnliche Ergebnisse konnten in einer Studie an Patienten mit kolorektalem Karzinom [34] ermittelt werden. Allerdings zeigte die Festlegung des Phasenwinkels bei einem Cut-off-Wert von 6,0° in dieser Studie mithilfe einer ROC-Kurve eine Sensitivität (richtig als mangelernährt klassifiziert) von 82,8% und Spezifität (richtig als gut ernährt klassifiziert) von nur 54,5% [34]. Bei alleiniger Betrachtung von Männern jedoch konnte bei einem Phasenwinkel-Cut-off von 5,9° eine 100%ige Sensitivität bzw. 73,3%ige Spezifität ermittelt werden, somit bestand eine höhere diagnostische Genauigkeit bei den Männern [34].

Außerdem ist eine Gewichtszunahme mit einem Anstieg des Phasenwinkels verbunden. Dies konnte in einer Studie an anorektischen Patientinnen gezeigt werden, die im Verlauf von 15 Wochen eine signifikante Verbesserung um ca. 0,6° aufwiesen [35]. Auch bei mangelernährten Patienten (SGA B/C) mit benignen gastrointestinalen Erkrankungen konnte unsere Arbeitsgruppe im Rahmen einer 3-monatigen Intervention mit protein- und energiereichen oralen Trinknahrungen einen signifikanten Anstieg des Phasenwinkels um 0,34±0,91° bei einer gleichzeitigen Gewichtszunahme von 3 kg ermitteln [36]. Ähnliche Ergebnisse

wurde auch nach einer ernährungstherapeutischen Intervention bei mangelernährten Kindern festgestellt [37]. Des Weiteren war es anhand des Phasenwinkels möglich, unterschiedliche Formen von Untergewicht (Anorexia nervosa, konstitutionell dünne Personen, Balletttänzer) voneinander zu diskriminieren. So zeigte sich in der Studie an insgesamt 55 untergewichtigen Frauen bei anorektischen Patientinnen ein signifikant niedrigerer Phasenwinkel (5,09±0,52°) im Vergleich zu konstitutionell Dünnen (5,94±0,93°) und Balletttänzerinnen (6,40±0,51°) [38].

Gibt es einen Zusammenhang zwischen Phasenwinkel und funktionellem Status?

▼
Da ein hoher Phasenwinkel mit einem hohen Anteil an intakten Zellmembranen der Körperzellmasse bzw. der Skelettmuskulatur verbunden ist [10], ist es naheliegend, dass ein enger Zusammenhang zwischen dem Phasenwinkel und dem funktionellen Zustand besteht. Eine Studie an 112 Altenheimbewohnern zeigt, dass ein signifikanter positiver Zusammenhang zwischen dem Phasenwinkel und einfachen Muskelfunktionsparametern wie der Handkraft und Knieextensionskraft besteht [32]. Außerdem wiesen Personen mit einem hohen körperlichen Aktivitätsniveau, das anhand der Aktivitäten im Haushalt, Sport und Freizeit beurteilt wurde, signifikant höhere Phasenwinkel auf [8]. In einer Studie an 215 Patienten mit einer funktionellen Einschränkung zu Beginn einer ambulanten Rehabilitationsmaßnahme war der Phasenwinkel ein hilfreicher Indikator für den funktionellen Status der Patienten [17]. Darüber hinaus zeigt sich, dass der Phasenwinkel ein Indikator für die krankheitsbezogene Lebensqualität ist, die im Rahmen einer retrospektiven Analyse anhand des EORTC-C-30-Fragebogens bei onkologischen Patienten erhoben wurde [39]. So war in der Studie der Anstieg des Phasenwinkels um je einen Grad mit einer signifikanten Verbesserung der körperlichen Funktion, Rollenfunktion sowie der Erschöpfung verbunden. Zudem bestanden signifikante Korrelationen zwischen

dem Phasenwinkel und vielen Funktions- und Symptomskalen des EORTC [39].

Was ist die Bioelektrische Impedanzvektoranalyse (BIVA)?

Eine neuere Herangehensweise im Umgang mit den Rohdaten der BIA, ist die der Bioelektrischen Impedanzvektoranalyse, kurz BIVA genannt. In diesem Modell nach Piccoli [40] werden die Parameter Resistanz und Reaktanz ins Verhältnis zur Körpergröße (H) gesetzt (R/H bzw. Xc/H) und unabhängig vom Körpergewicht betrachtet. Die Darstellung erfolgt dabei als bivariater Vektor in einem 2-dimensionalen Koordinatensystem, dem Vektorgraphen. Die Lage des Vektors gibt Aufschluss über Hydratation und Körperzellmasse. Vereinfacht erklärt, führt eine geringere Resistanz zu einer Verkürzung des Vektors und spiegelt dabei einen Flüssigkeitsüberschuss, wie er beispielsweise bei Ödemen auftritt, wider (● **Abb. 2**). Eine verringerte Hydrierung bis hin zur Exsikkose bewirkt hingegen einen längeren Vektor. Veränderungen der Reaktanz verursachen eine Wanderung des Vektors nach oben oder unten. Eine niedrigere Reaktanz ist als eine verminderte Körperzellmasse zu interpretieren, eine höhere Reaktanz lässt wiederum auf eine höhere Anzahl an Körperzellen schließen [41]. Die BIVA ermöglicht somit eine detailliertere Betrachtung des Hydratationszustands (Exsikkose, Hyperhydratation) sowie der Körperzellmasse (reduziert, erhöht) im Vergleich zur alleinigen Betrachtung des Phasenwinkels. Da der Phasenwinkel streng genommen aus dem Quotienten zwischen Reaktanz und Resistanz abgeleitet wird, kommt ein Phasenwinkel von beispielsweise $5,1^\circ$ ebenso bei einem R/H von 258 und Xc/H von 23 Ohm/m zustande wie bei einem R/H -Wert von 408 und einem Xc/H 38 Ohm/m; die Lage im Vektorgraph ist allerdings eine andere. Damit ist die Differenzierung zwischen adipösen (hoher Phasenwinkel, kurzer Vektor) und athletischen Individuen (hoher Phasenwinkel, langer Vektor) ebenso möglich wie die Unterscheidung zwischen kachektischen (niedriger Phasenwinkel, kurzer Vektor) und schlanken Individuen (niedriger Phasenwinkel, langer Vektor) (● **Abb. 3**).

Im Vektorgraph lassen sich zudem einzelne Werte auch im Vergleich zu Referenzkollektiven darstellen, welche die Beurteilung der Lage individueller Patienten erlauben. Diese Referenzkollektive werden üblicherweise in Form von 3 Toleranzellipsen entsprechend der 50., 75. und 95. Referenzperzentile gesunder Populationen dargestellt, um den Abstand des individuellen Messwerts von den Referenzperzentilen aufzuzeigen (● **Abb. 3**). Dabei ist bei Gesunden die Vektorlage erfahrungsgemäß innerhalb der 75. Toleranzellipse zu erwarten [42, 43]. Publierte Referenzwerte für die BIVA sind derzeit stratifiziert nach Alter, Geschlecht, BMI und ethnischer Herkunft für die USA verfügbar [43]. Für Deutschland existieren alters-, geschlechts- und BMI-stratifizierte Referenzwerte [44]. Andererseits ist durch die Angabe von mittleren Vektoren die Darstellung von Gruppen möglich.

Bedeutung der BIVA bei der Bestimmung des Hydratations- und Ernährungszustands

In einer Studie bei Pflegeheimbewohnern (>75 Jahre), deren Ernährungszustand mittels Mini Nutritional Assessment (MNA) beurteilt wurde, zeigte sich ein enger Zusammenhang zwischen dem Ernährungszustand und der Lage des mittleren Vektors [32].

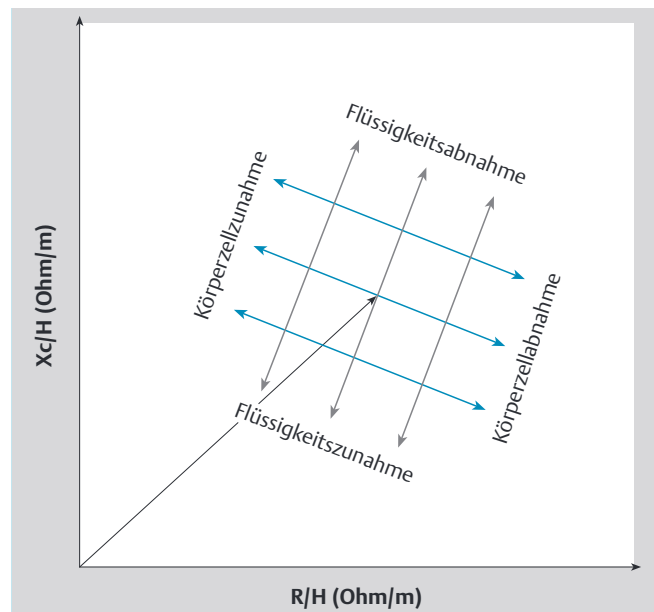


Abb. 2 Interpretation der Vektormigration: Veränderungen der R-Werte sind mit einer veränderten Hydratation verbunden. Änderungen der Vektorrichtung aufgrund veränderter Xc -Werte weisen auf eine veränderte Körperzellmasse hin (nach Piccoli [41]).

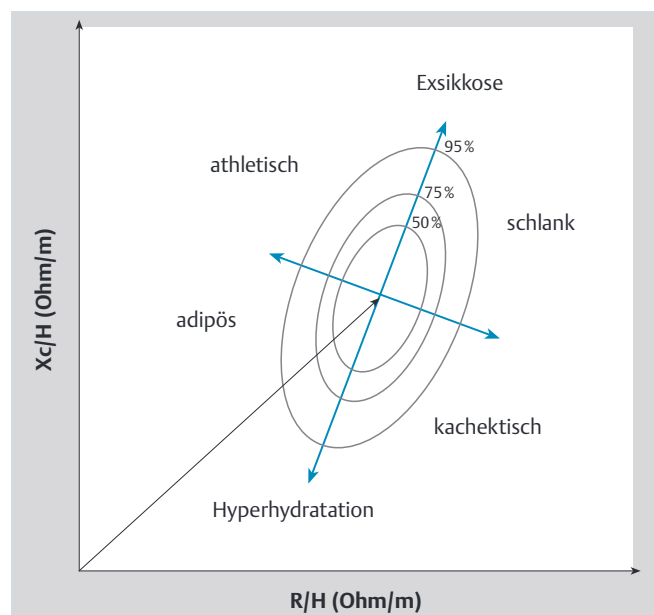


Abb. 3 Schematische Darstellung: Interpretation der individuellen Vektorposition im Vektorgraph mithilfe der 50., 75., 95. Referenztoleranzellipse (nach Piccoli [41]).

Personen, die dem MNA II und III (Risiko bzw. Vorliegen einer Mangelernährung) zugeordnet wurden, unterschieden sich in der Lage ihrer Vektoren signifikant zu den Personen mit einem guten Ernährungszustand (MNA I). Bei Patienten mit benignen gastroenterologischen Erkrankungen ($n=242$), deren Ernährungszustand anhand des SGA beurteilt wurde, zeigte sich eine vergleichbare signifikante Vektormigration zwischen der Gruppe der wohlernährten bzw. moderat mangelernährten (SGA A/B) und schwer mangelernährten Patienten (SGA C) [45]. Die Gruppen wiesen eine vergleichbare Hydratation (R/H) aber eine signifi-

fikant geringere Körperzellmasse (X_c/H) auf. Diese für eine katale Situation charakteristische Vektormigration wurde jedoch nicht beobachtet, wenn das Kollektiv lediglich nach ihren BMI-Klassen stratifiziert wurde [45]. Dies deutet darauf hin, dass akute Mangelernährung, aber nicht Untergewicht mit einer Störung der Zellmembranintegrität oder einer geringeren Anzahl intakter Zellmembranen assoziiert ist. Es ist außerdem bei stationären Patienten gezeigt worden, dass eine Vektormigration in Richtung verbesserter Körperzellmasse gleichzeitig mit einer erhöhten Handkraft verbunden ist [46].

Die BIVA hat sich jedoch v. a. als eine sehr effektive Methode zur Bestimmung des Hydratationszustands bei Patienten mit Nierenkrankungen [40, 47, 48], Leberzirrhose [49] und kritisch Kranken [50] erwiesen. Gerade bei diesen Patienten ist die Analyse bzw. Aussagekraft der BIA im herkömmlichen Sinne sehr schwierig. Mithilfe der BIVA ist es möglich, Hämodialysepatienten zu identifizieren, die aufgrund ihres kritischen Flüssigkeitsüberschusses ein erhöhtes Mortalitätsrisiko aufweisen. In der Studie von Nescolarde et al. war die Bestimmung des Hydratationszustands durch die BIVA der klinischen Einschätzung überlegen [48]. Außerdem spiegelt die Vektorenlage bei onkologischen Patienten auch die Krankheitsschwere nach UICC wider [51].

Schlussfolgerung

Die Betrachtung der Impedanzrohre anhand von Phasenwinkel und Bioelektrischer Impedanzvektoranalyse bietet gerade bei Patienten große Vorteile. Obgleich die genaue Bedeutung des Phasenwinkels bisher nicht vollständig geklärt ist, haben Studien den prognostischen Charakter dieses Parameters in Bezug auf den klinischen Krankheitsverlauf mehrfach belegt. Der Phasenwinkel ist ein wertvoller Parameter bei der Beurteilung des Patientenzustands in Bezug auf den Ernährungs- und funktionellen Zustand sowie Morbidität und Mortalität um Risikopatienten zu identifizieren. Der zusätzliche Vorteil der BIVA liegt darin begründet, dass sie eine formelunabhängige Beurteilung des Hydratationszustands und der Zellmasse bietet. Die BIVA könnte damit eine wertvolle Ergänzung der klinischen Untersuchung sein, um den Ernährungszustand zu beurteilen. Zur Beurteilung von Phasenwinkel und BIVA eignet sich die Verwendung der alters-, geschlechts- und BMI-stratifizierten Perzentilen.

Interessenkonflikte

Die Autoren haben keinen Interessenkonflikt.

Literatur

- Kyle UG, Bosaeus I, De Lorenzo AD et al. Bioelectrical impedance analysis-part II: utilization in clinical practice. *Clin Nutr* 2004; 23: 1430–1453
- Müller MJ. Bioelektrische Impedanzanalyse. Auf dem Weg zu einer standardisierten Methode zur Charakterisierung der Körperzusammensetzung. *Aktuel Ernähr Med* 2000; 25: 167–169
- Lukaski HC, Bolonchuk WW, Hall CB et al. Validation of tetrapolar bioelectrical impedance method to assess human body composition. *J Appl Physiol* 1986; 60: 1327–1332
- Heymsfield SB, Wang Z, Visser M et al. Techniques used in the measurement of body composition: an overview with emphasis on bioelectrical impedance analysis. *Am J Clin Nutr* 1996; 64: 478S–484S
- Baumgartner RN, Chumlea WC, Roche AF. Bioelectric impedance phase angle and body composition. *Am J Clin Nutr* 1988; 48: 16–23
- Mattar JA. Application of total body bioimpedance to the critically ill patient. Brazilian Group for Bioimpedance Study. *New Horiz* 1996; 4: 493–503
- Zdolsek HJ, Lindahl OA, Sjöberg F. Non-invasive assessment of fluid volume status in the interstitium after haemodialysis. *Physiol Meas* 2000; 21: 211–220
- Dittmar M. Reliability and variability of bioimpedance measures in normal adults: effects of age, gender, and body mass. *Am J Phys Anthropol* 2003; 122: 361–370
- Pupim LB, Kent P, Ikizler TA. Bioelectrical impedance analysis in dialysis patients. *Miner Electrolyte Metab* 1999; 25: 400–406
- 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: 509–516
- Bosy-Westphal A, Danielzik S, Dorhofer RP et al. Phase angle from bioelectrical impedance analysis: population reference values by age, sex, and body mass index. *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 2006; 30: 309–316
- Torres AG, Oliveira KJF, Oliveira-Junior AV et al. Biological determinants of phase angle among Brazilian elite athletes. *Proceedings of the Nutrition Society* 2008; 67: (OCE8), E332
- Schoeller DA. Changes in total body water with age. *Am J Clin Nutr* 1989; 50: 1176–1181
- Kyle UG, Genton L, Slosman DO et al. Fat-free and fat mass percentiles in 5225 healthy subjects aged 15 to 98 years. *Nutrition* 2001; 17: 534–541
- Barbosa-Silva MC, Barros AJ, Wang J et al. Bioelectrical impedance analysis: population reference values for phase angle by age and sex. *Am J Clin Nutr* 2005; 82: 49–52
- Dumler F, Kilates C. Body composition analysis by bioelectrical impedance in chronic maintenance dialysis patients: comparisons to the National Health and Nutrition Examination Survey III. *J Ren Nutr* 2003; 13: 166–172
- Gunn SM, Halbert JA, Giles LC et al. Bioelectrical phase angle values in a clinical sample of ambulatory rehabilitation patients. *Dyn Med* 2008; 7: 14
- 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: 20–25
- Schwenk A, Beisenherz A, Romer K et al. Phase angle from bioelectrical impedance analysis remains an independent predictive marker in HIV-infected patients in the era of highly active antiretroviral treatment. *Am J Clin Nutr* 2000; 72: 496–501
- 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: 120–124
- 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: 1634–1638
- Gupta D, Lis CG, Dahlk SL et al. Bioelectrical impedance phase angle as a prognostic indicator in advanced pancreatic cancer. *Br J Nutr* 2004; 92: 957–962
- Gupta D, Lammersfeld CA, Vashi PG et al. Bioelectrical impedance phase angle as a prognostic indicator in breast cancer. *BMC Cancer* 2008; 8: 249
- Gupta D, Lammersfeld CA, Vashi PG et al. Bioelectrical impedance phase angle in clinical practice: implications for prognosis in stage IIIB and IV non-small cell lung cancer. *BMC Cancer* 2009; 9: 37
- Desport JC, Marin B, Funalot B et al. Phase angle is a prognostic factor for survival in amyotrophic lateral sclerosis. *Amyotroph Lateral Scler* 2008; 9: 273–278
- Maggiore Q, Nigrelli S, Ciccirelli C et al. Nutritional and prognostic correlates of bioimpedance indexes in hemodialysis patients. *Kidney Int* 1996; 50: 2103–2108
- Chertow GM. Phase angle predicts survival in hemodialysis patients. *Journal of Renal Nutrition* 1997; 7: 204–207
- Fein PA, Gundumalla G, Jordan A et al. Usefulness of bioelectrical impedance analysis in monitoring nutrition status and survival of peritoneal dialysis patients. *Adv Perit Dial* 2002; 18: 195–199
- Mushnick R, Fein PA, Mittman N et al. Relationship of bioelectrical impedance parameters to nutrition and survival in peritoneal dialysis patients. *Kidney Int Suppl* 2003; 87: S53–S56
- Barbosa-Silva MC, Barros AJ. Bioelectric impedance and individual characteristics as prognostic factors for post-operative complications. *Clin Nutr* 2005; 24: 830–838

- 31 *Shizgal HM*. The effect of malnutrition on body composition. *Surg Gynecol Obstet* 1981; 152: 22–26
- 32 *Norman K, Smoliner C, Valentini L et al*. Is bioelectrical impedance vector analysis of value in the elderly with malnutrition and impaired functionality? *Nutrition* 2007; 23: 564–569
- 33 *Barbosa-Silva MC, Barros AJ, Post CL et al*. Can bioelectrical impedance analysis identify malnutrition in preoperative nutrition assessment? *Nutrition* 2003; 19: 422–426
- 34 *Gupta D, Lis CG, Dahlk SL et al*. The relationship between bioelectrical impedance phase angle and subjective global assessment in advanced colorectal cancer. *Nutr J* 2008; 7: 19
- 35 *Mika C, Herpertz-Dahlmann B, Heer M et al*. Improvement of nutritional status as assessed by multifrequency BIA during 15 weeks of refeeding in adolescent girls with anorexia nervosa. *J Nutr* 2004; 134: 3026–3030
- 36 *Norman K, Kirchner H, Freudenreich M et al*. Three month intervention with protein and energy rich supplements improve muscle function and quality of life in malnourished patients with non-neoplastic gastrointestinal disease – a randomized controlled trial. *Clin Nutr* 2008; 27: 48–56
- 37 *Nagano M, Suita S, Yamanouchi T*. The validity of bioelectrical impedance phase angle for nutritional assessment in children. *J Pediatr Surg* 2000; 35: 1035–1039
- 38 *Marra M, Caldara A, Montagnese C et al*. Bioelectrical impedance phase angle in constitutionally lean females, ballet dancers and patients with anorexia nervosa. *Eur J Clin Nutr* 2009; 63: 905–908
- 39 *Gupta D, Lis CG, Granick J et al*. Malnutrition was associated with poor quality of life in colorectal cancer: a retrospective analysis. *J Clin Epidemiol* 2006; 59: 704–709
- 40 *Piccoli A, Rossi B, Pillon L et al*. A new method for monitoring body fluid variation by bioimpedance analysis: the RXc graph. *Kidney Int* 1994; 46: 534–539
- 41 *Piccoli A, Pastori G*. BIVA Software, University of Padova. Padova, Italy: Dept of Medical and Surgical Sciences, 2002
- 42 *Piccoli A, Nigrelli S, Caberlotto A et al*. Bivariate normal values of the bioelectrical impedance vector in adult and elderly populations. *Am J Clin Nutr* 1995; 61: 269–270
- 43 *Piccoli A, Pillon L, Dumler F*. Impedance vector distribution by sex, race, body mass index, and age in the United States: standard reference intervals as bivariate Z scores. *Nutrition* 2002; 18: 153–167
- 44 *Bosy-Westphal A, Danielzik S, Dorhofer RP et al*. Patterns of bioelectrical impedance vector distribution by body mass index and age: implications for body-composition analysis. *Am J Clin Nutr* 2005; 82: 60–68
- 45 *Norman K, Smoliner C, Kilbert A et al*. Disease-related malnutrition but not underweight by BMI is reflected by disturbed electric tissue properties in the bioelectrical impedance vector analysis. *Br J Nutr* 2008; 100: 590–595
- 46 *Norman K, Pirllich M, Sorensen J et al*. Bioimpedance vector analysis as a measure of muscle function. *Clin Nutr* 2009; 28: 78–82
- 47 *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: 1036–1043
- 48 *Nescolarde L, Piccoli A, Roman A et al*. Bioelectrical impedance vector analysis in haemodialysis patients: relation between oedema and mortality. *Physiol Meas* 2004; 25: 1271–1280
- 49 *Guglielmi FW, Mastronuzzi T, Pietrini L et al*. The RXc graph in evaluating and monitoring fluid balance in patients with liver cirrhosis. *Ann N Y Acad Sci* 1999; 873: 105–111
- 50 *Piccoli A, Pittoni G, Facco E et al*. Relationship between central venous pressure and bioimpedance vector analysis in critically ill patients. *Crit Care Med* 2000; 28: 132–137
- 51 *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: 510–514