

1 Körperzusammensetzung

M. Pirlich, K. Norman

1.1 Bedeutung der Körperzusammensetzung

Die Bestimmung der Körperzusammensetzung (d. h. die Aufteilung der Körpermasse in fettfreie Masse und Fettmasse oder extra- und intrazelluläre Flüssigkeit, Körperzellmasse, Muskelmasse, Knochen etc.) liefert wertvolle Informationen für verschiedene klinische Anwendungen:

- **Bestimmung des Ernährungszustandes** bei Patienten mit Hyperhydratation (z. B. mit Ödemen, Aszites), bei denen klinische Einschätzung, Körpergewicht oder Screening-Instrumente versagen.
- **Diagnostik und Quantifizierung der Mangelernährung**, vor allem in frühen Stadien, wenn das Körpergewicht noch normal/unverändert ist, aber bereits ein Verlust an Körperzellmasse vorliegt.
- **Diagnostik der Sarkopenie und der sarkopenen Adipositas**. Der Verlust von Muskelmasse durch körperliche Inaktivität, Inflammation oder humorale Faktoren wird als eigenständiges prognostisch bedeutsames Problem definiert, in den letzten Jahren auch bei Adipositas.
- **Verlaufskontrolle und Bewertung der Ernährungstherapie** mit differenzierter Betrachtung bestimmter Organe und Gewebe (z. B. Zuwachs/Erhalt der Muskelmasse/fettfreien Masse bei Therapie der Mangelernährung und in Gewichtsreduktionsprogrammen).
- **Schaffung von Bezugsgrößen** z. B. für kalorimetrische Messungen oder Funktionsuntersuchungen (z. B. der Grundumsatz pro Kilogramm fettfreier Masse oder die Muskelkraft pro Kilogramm Muskelmasse),
- **Berechnung der Dosis von Chemotherapien** zur Reduktion der Toxizität (erste Studien weisen darauf hin, dass die fettfreie Masse eine geeignetere Bezugsgröße sein könnte als der derzeitige Standard, die Körperoberfläche).

1.2 Modelle der Körperzusammensetzung

Das einfachste Modell der Körperzusammensetzung unterscheidet zwischen Körperfett und fettfreier Masse (► Abb. 1.1). Differenziertere Modelle unterscheiden Körperkompartimente auf anatomischer, zellulärer oder chemischer Ebene.

M!

Merke

Dabei besteht eine deutliche Übereinstimmung (messbar in hohen Korrelationskoeffizienten) zwischen der fettfreien Masse (2-Kompartiment-Modell), der Muskelmasse (anatomisch), der Körperzellmasse (zellulär) und dem Proteinbestand (chemisch).

Hinzufügen ließe sich noch die atomare Ebene der Körperzusammensetzung, z. B. die Bestimmung des Ganzkörperstickstoffs mittels In-vivo-Neutronenaktivierung. Atomare Modelle der Körperzusammensetzung spielen aufgrund des hohen Aufwandes außerhalb wissenschaftlicher Anwendungen derzeit keine Rolle.

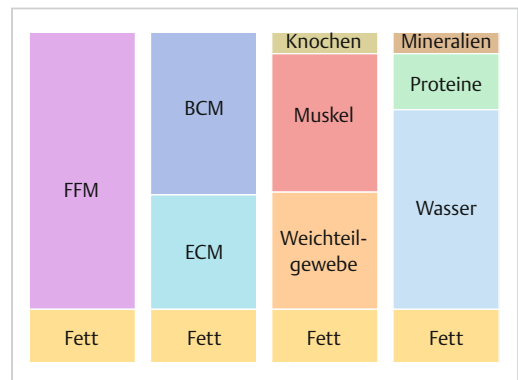


Abb. 1.1 Modelle der Körperzusammensetzung (FFM: fettfreie Masse, BCM: Body Cell Mass = Körperzellmasse, ECM: extrazelluläre Masse).

Der Goldstandard zur Bestimmung der Körperzusammensetzung ist das 4-Kompartiment-Modell, das eine differenzierte Betrachtung der Bestandteile Wasser, Protein, Mineralien und Fett erlaubt [2]. Allerdings werden für diese Bestimmung mehrere Methoden benötigt, die zeitaufwendig und teuer sind und daher nur Forschungszwecken vorbehalten sind. Die Diagnostik im klinischen Alltag erfolgt meist nicht stringent nach einem bestimmten Modell, sondern nach den jeweils verfügbaren Methoden und der Erfahrung der Anwender.

1.3 Methoden zur Bestimmung der Körperzusammensetzung

Eine Übersicht über die verschiedenen Methoden zur Bestimmung der Körperzusammensetzung mit den entsprechenden Zielgrößen und einer ungefähren Einschätzung von Präzision, Aufwand und Kosten gibt ▶ Tab. 1.1.

Tab. 1.1 Methoden zur Bestimmung der Körperzusammensetzung (nach Daten aus [2]).

Methode	Zielgrößen	Präzision ^a	Aufwand (apparativ oder zeitlich)	Kosten
Anthropometrie	Fettmasse, Fettverteilung, Muskelmasse	niedrig	niedrig	sehr niedrig
BIA, BIS	TBW (FFM und FM), BCM, Phasenwinkel	hoch	niedrig	niedrig
Kreatininhöhenindex	Muskelmasse	niedrig	mittel	niedrig
Densitometrie (ADP, Hydrodensitometrie)	Fettmasse (FFM)	hoch	hoch	hoch
DXA	Fettmasse, Knochenmineralgehalt, Weichteilmagermasse, Knochen-dichte	hoch (bei ausgeprägter Adipositas niedriger)	hoch	hoch
Dilutionsmethoden	TBW (FFM und FM) bei Deuterium oder Tritium ECW (ICW) bei Natriumbromid	hoch	hoch	mittel
⁴⁰ Kalium-Zählung	BCM (FFM und FM)	hoch	hoch	sehr hoch
Neutronenaktivierung	Kalzium, Natrium, Chlor, Phosphor, Stickstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Kohlenstoff	hoch	hoch	sehr hoch
Magnetresonanztomografie/ Computertomografie	Fettgewebe, Fettgewebsverteilung (z. B. viszerales Fettgewebe)	hoch	hoch	sehr hoch ^b

^a Präzision: Variationskoeffizient (VK) < 3 % hoch; VK > 5 % niedrig.

^b Wenn CT- oder MRT-Bilder aus der klinisch notwendigen bildgebenden Diagnostik verwendet werden, sind die Kosten gering.

ADP: Air-Displacement-Plethysmografie, BCM: Body Cell Mass = Körperzellmasse, BIA: bioelektrische Impedanzanalyse, BIS: Bioimpedanz-Spektroskopie, DXA: Dual Energy X-Ray Absorptiometry = Dual-Röntgen-Absorptiometrie, ECW: Extracellular Water = extrazelluläres Wasser, FFM: fettfreie Masse, FM: Fettmasse, ICW: Intracellular Water = intrazelluläres Wasser, TBW: Total Body Water = Ganzkörperwasser

Densitometrie (Bestimmung der Körperdichte durch z. B. Air-Displacement-Plethysmografie), K40-Messung, Isotopendilution oder Neutronenaktivierung sind technisch anspruchsvolle und teure Methoden, die im klinischen Alltag keine Verwendung finden, jedoch aufgrund ihrer hohen Präzision große Bedeutung als Referenzmethoden haben.

In der klinischen Praxis sind zwei technisch einfache und kostengünstige Methoden etabliert, um die Körperzusammensetzung zu beurteilen:

- die Anthropometrie zur Abschätzung der Fettmasse oder der Muskelmasse und
- die bioelektrische Impedanzanalyse (BIA) zur Bestimmung des Ganzkörperwassers und des extrazellulären Wassers, der fettfreien Masse, der Fettmasse und der Körperzellmasse.

Vielversprechend ist auch die Sonografie, die in jüngster Zeit z. B. zur Bestimmung der Muskelmasse bei Intensivpatienten eingesetzt wurde. Bildgebende Verfahren wie die Dual-Röntgen-Absorptiometrie oder die Computertomografie/Kernspintomografie sind deutlich teurer bzw. mit Strahlenbelastung verbunden, unter bestimmten Voraussetzungen aber auch im klinischen Alltag mit großem Nutzen einsetzbar.

1.3.1 Anthropometrie

Info

Die Anthropometrie basiert auf der Messung von Hautfaltendicken mit speziellen Kaliperzangen bzw. der Messung von Umfängen mittels flexiblem Bandmaß an definierten Lokalisationen, womit sich Messwerte für die Fettmasse und die Muskelmasse erzielen lassen.

Es handelt sich um eine Pars-pro-toto-Methode, d. h. aus der Messung eines umschriebenen Körperteils wird auf die Zusammensetzung des Gesamtorganismus rückgeschlossen. Als wesentlicher Nachteil der Methode gilt die hohe interindividuelle Varianz seitens der Untersucher.

In der Literatur findet sich eine Vielzahl von verwendeten Messlokalisationen; für die klinische Praxis werden Messungen am Oberarm bzw. an der Wade am häufigsten verwendet. Aus der Hautfaltendicke über dem M. triceps und dem Umfang

am mittleren Oberarm lassen sich unter Annahme eines kreisförmigen Oberarmquerschnittes der sog. **Armmuskelumfang** und die **Armmuskelfläche** berechnen.

Info

Berechnung von Armmuskelumfang und Armmuskelfläche

Armmuskelumfang =
Oberarmumfang – $\pi \times$ Trizepshautfaltendicke

Armmuskelfläche = Armmuskelumfang (mm)/ 4π

Aus der Armmuskelfläche wiederum lässt sich unter Berücksichtigung der Körpergröße die Skelettmuskelmasse abschätzen. Als Maß für das subkutane Fettgewebe kann die **Trizepshautfaltendicke** verwendet werden. Für die Hautfalten, den Oberarmumfang sowie die abgeleiteten Größen existieren Referenzwerte aus der NHANES-Datenbank [8], die in Ermangelung repräsentativer Datenbanken aus Europa auch für Deutschland empfohlen werden.

Die Messung des Wadenumfangs gilt als einfachste Methode, um das Risiko einer verringerten Muskelmasse besonders bei älteren Patienten zu erfassen. Dabei erfolgt die Messung an der Stelle des stärksten Wadenumfangs. Der Umfang sollte > 31 cm liegen. Die Methode hat im Rahmen der Sarkopenie-Diagnostik wieder mehr Aufmerksamkeit erlangt, und neuere Studien belegen die prognostische Bedeutung dieser einfachen Messung [12].

Darüber hinaus zählt die Messung von Bauchumfang bzw. Taillen-Hüft-Umfang zu den etablierten anthropometrischen Methoden, da dadurch eine Beurteilung der abdominellen Adipositas ermöglicht wird. Als prognostisch ungünstige Werte gelten ein Bauchumfang von > 94 cm bei Männern und > 80 cm bei Frauen, wobei ein stark erhöhtes Risiko für das Auftreten kardiovaskulärer Erkrankungen bei Umfängen von mehr als 102 cm bei Männern bzw. 88 cm bei Frauen besteht [11]. Der Taillen-Hüft-Quotient, der die regionale Fettverteilung beschreibt, sollte bei Männern unter 1 und bei Frauen unter 0,85 liegen.

1.3.2 Bioelektrische Impedanzanalyse

Info



Die bioelektrische Impedanzanalyse (BIA) nutzt den Widerstand des Körpers gegen einen schwachen elektrischen Wechselstrom zur Bestimmung der Körperzusammensetzung.

Die Impedanz Z ist der Ohm'sche Gesamtwiderstand in einem elektrischen Wechselstromfeld mit konstanter Stromstärke, welches beim Menschen üblicherweise über je zwei Hautelektroden an Hand und Fuß erzeugt wird [6]. Die meisten Anwendungen erfolgen bei einer Wechselstromfrequenz von 50 kHz und 800 μ Amp. Für die Qualität der Messung ist eine Standardisierung der Messbedingungen erforderlich, die u. a. Körperlage, Liegezeit vor Messung, Raumtemperatur, zeitlicher Abstand zur letzten Nahrungsaufnahme und sportlicher Betätigung und Elektrodenbeschaffenheit umfasst.

Die Impedanz besteht aus zwei Teilwiderständen, der Resistanz (R) und der Reaktanz (X_c). Die **Resistenz** ist der reine Widerstand eines Leiters gegenüber Wechselstrom und umgekehrt proportional zum Ganzkörperwasser. Die **Reaktanz** ist der Teilwiderstand, der aus dem kapazitiven Effekt von Zellmembranen resultiert, die mit ihrem elektrischen Potential wie Minikondensatoren wirken.

Moderne BIA-Geräte erlauben durch eine phasensensitive Elektronik die Unterscheidung der Teilwiderstände R und X_c . Da es sich um Summenvektoren handelt, lässt sich die Phasenverschiebung als Winkel (Phasenwinkel ϕ) berechnen.

Info



Aus der gemessenen Resistanz lässt sich das Volumen V des Körperwassers nach folgender Formel berechnen:

$$V = \rho \times L^2 / R$$

Dabei ist ρ der spezifische Widerstand des Leiters und L die Länge des Leiters.

Aus dem Körperwasser lässt sich dann unter Annahme eines konstanten Hydratationsgrades oder über spezifische Algorithmen die fettfreie Masse (FFM) errechnen. Aus der Differenz der FFM zum Körpergewicht errechnet sich die Fettmasse (die selbst als elektrischer Isolator durch die BIA nicht erfasst wird).

Die Reaktanz und der Phasenwinkel werden zur Bestimmung der Körperzellmasse (BCM) herangezogen. Aus der Differenz der BCM zur FFM lässt sich die extrazelluläre Masse (ECM) errechnen. Das Verhältnis von ECM zu BCM gilt als wichtiges Maß für Hydratationsstörungen und als früher Marker einer katabolen Stoffwechsellaage.

Zur Optimierung der Methode wurden auch die sog. Multifrequenz-BIA und die BIA-Spektroskopie mit Messungen bei multiplen Frequenzen propagiert. Ob der dafür notwendige technische Mehraufwand tatsächlich eine höhere klinische Aussagekraft bedingt, ist derzeit nicht abschließend zu beurteilen.

Interpretation von BIA-Daten

Zur Berechnung der verschiedenen Kompartimente wurden zahlreiche Formeln an jeweils unterschiedlichen Populationen entwickelt. Die Übertragbarkeit solcher Algorithmen auf andere Populationen oder Patientengruppen ist aufgrund von verschiedenen Einflussfaktoren nur eingeschränkt möglich. So führen BIA-Formeln, die an schlanken, gesunden Probanden entwickelt wurden, zu einer Unterschätzung der Fettmasse und Überschätzung der fettfreien Masse von Adipösen. Obwohl die BIA eine technisch einfache Methode mit sehr guter Reproduzierbarkeit darstellt, erfordert die Interpretation der Messergebnisse daher eine besondere Sorgfalt. Entscheidend ist die Verwendung geeigneter Referenzwerte.

Aus der Arbeitsgruppe von Claude Pichard in Genf stammen Referenzwerte für die Fettmasse und die FFM, die an einer großen Kohorte von 5635 gesunden Probanden erhoben wurden [13]. Dieser Werte wurden analog zum Body Mass Index (BMI) auf die Körpergröße bezogen und als Fat-Free Mass Index (FFMI) und Fat Mass Index (FMI) bezeichnet. Ein $FFMI < 15 \text{ kg/m}^2$ bei Frauen bzw. $< 17 \text{ kg/m}^2$ bei Männern wurde von einer Expertengruppe der ESPEN als Kriterium für eine Mangelernährung empfohlen [5].

Für die klinische Praxis wurde in den letzten Jahren die Verwendung von BIA-Rohwerten propagiert, um den methodischen Problemen abgeleiteter Kenngrößen auszuweichen. So konnte in einer Reihe von Studien gezeigt werden, dass der Phasenwinkel bei verschiedenen Tumorerkrankungen, aber auch bei HIV-Infektion, Niereninsuffizienz, chronischer obstruktiver Lungenerkrankung (COPD) oder Leberzirrhose ein guter Prädiktor für den klinischen Verlauf ist.

Deutsche Referenzwerte für den Phasenwinkel wurden an einer großen Population von der Arbeitsgruppe um M. J. Müller aus Kiel [1] vorgestellt. Die Anwendung dieser Referenzwerte an einer großen Kohorte von Tumorpatienten zeigte, dass ein Phasenwinkel unterhalb der 5. Perzentile nicht nur mit einem schlechteren funktionellen Status korreliert, sondern auch ein unabhängiger Prädiktor der Mortalität ist [9].

Bioelektrische Impedanz-Vektoranalyse (BIVA)

Eine Weiterentwicklung der BIA ist die bivariate vektorielle Darstellung der auf die Körpergröße normierten Werte Resistanz und Reaktanz. Diese grafische Auswertung nach dem Vorbild des Elektrokardiogramms wurde von Piccoli eingeführt und ist als BIVA (bioelektrische Impedanz-Vektoranalyse) bekannt geworden. Veränderungen im Hydratationsstatus zeigen sich als Veränderungen der Vektorlänge, während Veränderungen der Zellmasse eine Migration des Vektors bewirken (► Abb. 1.2). Auf den ersten Blick erscheint diese Verwendung der Messwerte abstrakt und weniger zugänglich als die Angabe der fettfreien Masse oder BCM in kg; diese Darstellung ist aber gerade für klinische Situationen attraktiv, in denen sowohl Veränderungen des Hydratationsstatus als auch des Ernährungszustandes kombiniert auftreten.

Auch für die BIVA existieren alters-, geschlechts- und BMI-stratifizierte Normbereiche, wobei es sich jedoch um Verteilungsellipsen eines Perzentilenbereiches handelt, die sich nicht in Tabellen darstellen lassen [3].

Validierte BIA-Messanordnung im Stehen

Neben der Messung im Liegen sind auch mehrere Geräte für die BIA-Messung im Stehen entwickelt und validiert worden. Dabei eignen sich jedoch

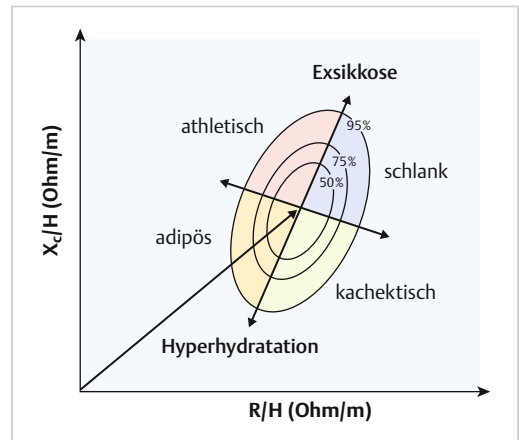


Abb. 1.2 Schematische Darstellung der bioelektrischen Impedanz-Vektoranalyse (BIVA) mit Referenzbereichen (Toleranzellipse).

nur die Geräte für eine klinische bzw. wissenschaftliche Diagnostik, die über eine sogenannte 8-Punkt-Messmethode verfügen [4]. Zum einen wird dadurch gewährleistet, dass der gesamte Körper erfasst wird – und nicht nur die untere Körperhälfte –, zum anderen wird damit auch eine standardisierte Messdurchführung ermöglicht. Die Geräte verfügen über eine geeichte Körperwaage, sodass gleichzeitig das Körpergewicht erfasst wird.

Zu den Vorteilen der Messung im Stehen zählt u. a. die Zeitersparnis, da die Liegezeit wegfällt, die für die Messung im Liegen notwendig ist, um eine gleichmäßige Verteilung des Körperwassers zu erreichen. Die Messung im Stehen ist naturgemäß nicht für bettlägerige Patienten geeignet. Es gilt außerdem zu beachten, dass Formeln, die zur Berechnung der Körperkompartimente für die Messung im Stehen entwickelt und validiert worden sind, nicht auf die Messung im Liegen übertragbar sind.

1.3.3 Ultraschall

Ultraschall gewinnt auch im Rahmen der Erfassung von Körperkompartimenten wie z. B. Muskelmasse zunehmend an Aufmerksamkeit. Der Einsatz des risikoarmen, nichtinvasiven, schmerzlosen und strahlenfreien Bildgebungsverfahrens ist bislang insbesondere bei intensivmedizinischen Patienten und bei älteren Patienten untersucht worden. Bei einem muskuloskeletalen Ultraschall werden Muskeldicke, Querschnittsfläche, Faszikel-

länge und Fiederungswinkel sowie Echointensität beurteilt. Im Rahmen der Sarkopenie-Diagnostik könnte diese Methode durch eine Standardisierung des Messverfahrens und eine validierte Auswahl von Muskelgruppen in Zukunft daher weiter Bedeutung gewinnen [10].

1.3.4 Dual-Röntgen-Absorptiometrie (DXA)

Die DXA-Messung verwendet ein Röntgengerät mit sehr niedriger Strahlendosis und basiert auf der Absorptionsmessung von zwei Photonenstrahlen unterschiedlicher Energiestufen. Mit der DXA-Methode lassen sich die Knochenmasse und -dichte, die Fettmasse und die fettfreie Masse bestimmen.

Die Methode wird vielfach unkritisch als Referenzmethode bezeichnet. Bedenkt man die aufwendige Prozessierung der Messdaten, die unterschiedlichen Messanordnungen verschiedener Geräte und die zum Teil nicht publizierten Algorithmen der Hersteller sowie die Varianz, die aus der unterschiedlichen Körpergeometrie resultiert, wird deutlich, dass es sich nicht um eine Goldstandardmethode handeln kann.

Gleichwohl wird die DXA erfolgreich zur Bestimmung der Fettmasse/FFM bzw. für die appendikuläre Magermasse eingesetzt. Grundsätzlich ist die DXA auch für Therapieverlaufkontrollen geeignet.

1.3.5 Computertomografie und Magnetresonanztomografie

Bildgebende Verfahren wie die Magnetresonanztomografie (MRT) oder Computertomografie (CT) sind in der Ernährungsmedizin vor allem für Fragen der regionalen Körperzusammensetzung interessant. Mit beiden Methoden ist z. B. die Erfassung des intra-abdominellen Fettgewebes möglich. Bei Verwendung von Routine-CT-Bildern des Abdomens, die z. B. im Rahmen des Tumor-Stagings erstellt werden, kann mit einer speziellen Software nachträglich die Muskelfläche auf Höhe des LWK 3 berechnet werden. Daraus lässt sich mit Bezug auf die Körpergröße ein „Skeletal Muscle Index“ (SMI) berechnen, der in zahlreichen Studien eine hohe prognostische Wertigkeit gezeigt hat. Grenzwerte des SMI zur Diagnose einer Sarkopenie sind für Unter- und Normalgewicht (Männer $<43 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ und für Frauen $<41 \text{ cm}^2/\text{m}^2$) und Übergewicht und Adipositas (Männer $<53 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ und für Frauen

$<41 \text{ cm}^2/\text{m}^2$) definiert worden [7]. Trotz zahlreicher Arbeiten aus den letzten Jahren, welche klar die prognostische Relevanz zeigen, steht die Implementierung in den klinischen Alltag (z. B. Tumorkonferenzen) noch am Anfang.

Literatur

- [1] Bony-Westphal A, Danielzik S, Dörhöfer 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
- [2] Bony-Westphal A, Kromeyer-Hausschild K, Pirlich M et al. Body composition analysis – what can be measured with practical value? *Aktuel Ernaehr Med* 2006; 31: 189–195
- [3] Bony-Westphal A, Danielzik S, Dörhöfer 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
- [4] Bony-Westphal A, Schautz B, Later W et al. What makes a BIA equation unique? Validity of eight-electrode multifrequency BIA to estimate body composition in a healthy adult population. *Eur J Clin Nutr* 2013; 67: S 14–S 21
- [5] Cederholm T, Bosaeus I, Barazzoni R et al. Diagnostik criteria for malnutrition – An ESPEN Consensus Statement. *Clin Nutr* 2015; 34: 335–340
- [6] Kyle UG, Bosaeus I, Deurenberg P, et al. ESPEN guidelines. Bioelectrical impedance analysis – part I: review of principles and methods. *Clinical Nutrition* 2004; 23: 1226–1243
- [7] Martin L, Birdsell L, Macdonald N et al. Cancer cachexia in the age of obesity: skeletal muscle depletion is a powerful prognostic factor, independent of body mass index. *J Clin Oncol*. 2013; 31: 1539–1547
- [8] McDowell MA, Fryar CD, Hirsch R, Ogden CL. Anthropometric reference data for children and adults: U.S. population, 1999–2002. Advance data from vital and health statistics; no 361. Hyattsville, MD: National Center for Health Statistics; 2005
- [9] Norman K, Stobäus N, Zocher D et al. Cutoff percentiles of bioelectrical phase angle predict functionality, quality of life, and mortality in patients with cancer. *Am J Clin Nutr* 2010; 92: 612–619
- [10] Perkisas S, Baudry S, Bauer J et al. The SARCUS project: evidence-based muscle assessment through ultrasound. *Eur Geriatr Med* 2019; 10: 157–158
- [11] Piepoli MF, Hoes AW, Agewall S et al. 2016 European Guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice. *Eur Heart J* 2016; 37: 2315–2381
- [12] Real GG, Frühauf IR, Sedrez JHK et al. Calf Circumference: A Marker of Muscle Mass as a Predictor of Hospital Readmission. *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 2018; 42: 1272–1279
- [13] Schutz Y, Kyle UG, Pichard C. Fat-free mass index and fat mass index percentiles in Caucasians aged 18–98 y. *Int J Obes Relat Metab Disord* 2002; 26: 953–960