

Monitoring von Trainings- und Ernährungseinflüssen bei Ausdauersportlern mit Hilfe der Bioelektrischen Impedanzanalyse



Dr. phil. Andreas Greiwing
Dr. med. Ralph Schomaker

Einführung

- Die Erfassung der Körperzusammensetzung ist für die Kontrolle von Trainings- und Ernährungseinflüssen sowohl von Breiten- als auch von Leistungssportlern von großer Bedeutung.
- Es existiert eine Vielzahl von Methoden, die zur Erfassung der Körperzusammensetzung eingesetzt werden können.



Einteilung in Körperkompartimente

Kompartimentmodell	Kompartimente	Messmethoden
1-Kompartiment	Gewicht	(kalibrierte) Waage
2-Kompartiment	Fett- und Magermasse	Hautfaltendicke (Kalipermethode) Hydrodensitometrie (Unterwasserdichtemessungen) Infrarot-Interaktanz (z. Bsp. Futrex ®) Nicht-phasensensitive BIA Dual-energy X-ray absorptiometry (DEXA) Computertomographie Magnetresonanztomographie Ultraschallmessungen
3-Kompartiment*	Fett-, Körperzellmasse (BCM) und Extrazellulärmasse (ECM)	Phasensensitive BIA Gesamtkörperkalium Dilutionsmethoden
3-Kompartiment mit Unterscheidung zwischen intrazellulärem (ICW) und extrazellulärem (ECW) Wasser	Fettmasse, ECM mit ECW und BCM mit ICW	Phasensensitive Multifrequenz-BIA Gesamtkörperkalium Dilutionsmethoden
4-Kompartiment	Fettmasse, Wasser, Knochenminerale und Rest (Protein etc.)	Kombination aus DEXA, Hydrodensitometrie und Dilutionsmethoden

Modifiziert nach Korth et al.; 2005, Maud & Foster, 2006; Withers et al., 1998; Data-Input®, 2008

*International existiert auch eine alternative Einteilung des 3-Kompartimentmodells, welches aus den Kompartimenten Fettmasse, Körperwasser und fettfreie Masse besteht (vgl. Withers et al., 1998).

Messmethoden I

- **Body Mass Index (BMI)**

Die Berechnung des BMI erfolgt durch die Division der Körpermasse in kg durch die Körpergröße in Metern. Folglich hätte ein Mann der 90 kg wiegt und 1,76 m groß ist einen BMI von:

$$90 : 1,76^2 = \mathbf{29 \text{ kg/m}^2}$$

Der BMI wurde und wird als Risikomarker eingesetzt. Allerdings erlaubt der BMI keine Differenzierung zwischen Muskel- und Fettmasse. Somit haben auch Menschen mit einem hohen Muskelmassenanteil einen hohen BMI und gelten als übergewichtig

- **Umfangsmessungen**

Mittels Maßband werden an definierten Stellen Extremitäten- und Rumpfumfänge gemessen.



Geeichte Waage mit
Längenmess- und
BMI-Funktion
(Seca® 764)

Messmethoden II

- **Hydrodensitometrische Methoden**

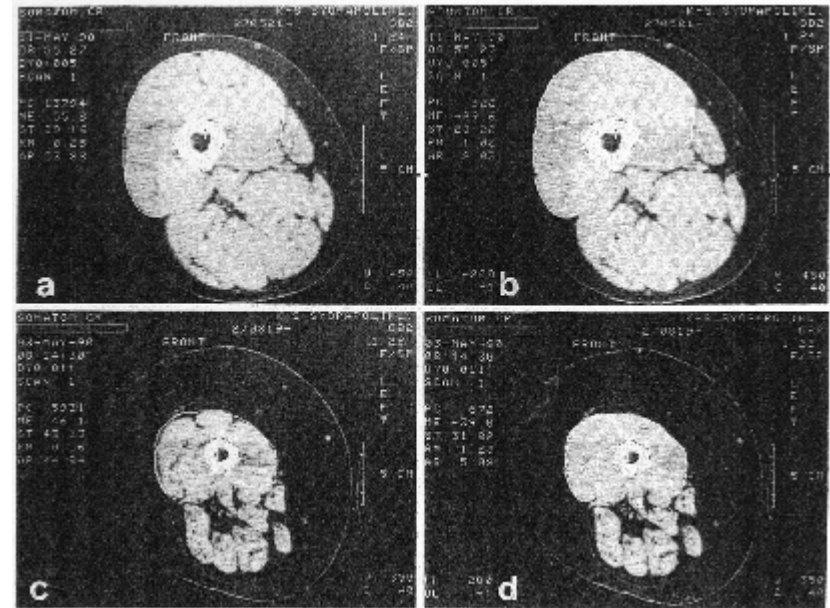
Sowohl das Gewicht als auch die Wasserverdrängung einer in einen Wassertank getauchten Testperson können zur exakten Bestimmung der Körperzusammensetzung genutzt werden. Diese Methoden bilden den "Goldstandard" bei der Bestimmung der Körperzusammensetzung. Beide Methoden sind allerdings mit einem hohen Aufwand verbunden. Die Testperson muss hierbei komplett in einen Wassertank getaucht werden. Für die klinische Praxis ist diese Methode nicht geeignet.

- **Luftplethysmographie**

Bei dieser Methode wird anstatt der Wasserverdrängung die Verdrängung von Luft gemessen. Der Proband begibt sich hierzu in eine Kammer mit einem definierten Luftvolumen. Durch die Reduktion des Luftvolumens kann die Körperzusammensetzung berechnet werden. Die Luftplethysmographie erlaubt eine den hydrostatischen Methoden ähnlich exakte Bestimmung der Körperzusammensetzung. Die entsprechenden Geräte

Messmethoden IV

- **Magnetresonanztomographie (MRT)**
Mit Hilfe von starken Magnetfeldern erlaubt die MRT die Differenzierung unterschiedlicher Gewebe und somit auch die Bestimmung der Körperfettmasse. Allerdings verhindern die Kosten die routinemäßige Verwendung im Praxisalltag.
- **Computertomographie**
Die Computertomographie erlaubt ebenfalls eine Bestimmung der Körperfettmasse mittels Röntgenstrahlen. Neben den Kosten verbietet die Strahlenexposition die routinemäßige Verwendung im Praxisalltag



CT Aufnahme eines Querschnitts des mittleren Oberschenkels. In b und d wird der Querschnitt des Fettgewebes des M. quadrizeps femoris bestimmt (aus Sipilä & Suominen, S. 298)

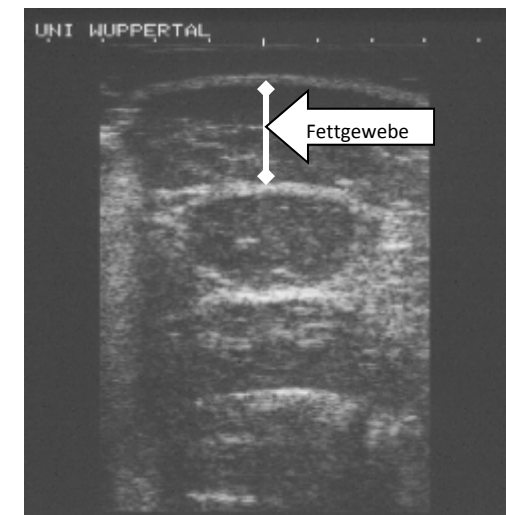
Messmethoden III

- **Hautfaltendicke (Kaliper)**

Die Messung von Hautfaltendicken mittels Kalipermetrie ist ein einfaches und reliables Verfahren zur Bestimmung der Körperzusammensetzung. Es werden die Hautfaltendicke (bzw. die Summe der Hautfaltendicken) von einem bis sieben Messpunkten mittels eines Kaliper gemessen. Mit Hilfe von populationsspezifischen Algorithmen kann dann auf den jeweiligen Körperfettanteil geschlossen werden
Z. Bsp. die Hautfaltendicke am Trizeps oder an der Hüfte.

- **Hautfaltendicke (Ultraschall)**

Wie bei der Kalipermessung werden auch bei der Ultraschallmessung mehrere Hautfaltendicken addiert und mit einem populationsspezifischen Algorithmus wird der Körperfettanteil berechnet. (vgl. Saito et al., 2003)



Messmethoden V

- **Dual-Röntgen-Absorptiometrie (DXA/DEXA)**
Bei der DEXA werden mithilfe von niedrig energetischen Röntgenstrahlen die Gewebetypen Fett, Knochen und Muskulatur unterschieden. Sie wird neben der Bestimmung der Körperfettmasse auch zur Knochendichteüberprüfung eingesetzt.
- **Nah-Infrarot-Spektroskopie (NIR)**
Bei dieser Methode wird die Reflektion eines Lichtstrahls an einer oder mehreren Stellen des menschlichen Körpers gemessen. Durch die Absorptionsfähigkeit des bestrahlten Gewebes wird auf die jeweilige Gewebezusammensetzung und u.a. auf die Gesamtkörperfettmasse geschlossen.

Messmethoden VI

- **Biologische Impedanzanalyse (BIA)**
Das bioelektrische Impedanzmessverfahren ist eine relativ neue Methode zur Bestimmung der Körperzusammensetzung. Hierbei wird ein schwacher elektrischer Wechselstrom mittels zwei bis acht Elektroden durch die zu vermessende Testperson geleitet.

Es existieren eine Vielzahl unterschiedlicher BIA-Messgeräte, eine kleine Auswahl ist auf der folgenden Folie abgebildet.



BIA Messgeräte

Data-Input®
Nutrigoard M



Biospace®
Inbody 3.0



Tanita® TBF 300 M



Omron® BF306



Ganzkörpermesssysteme

Fuß-zu-Fuß
Messung

Oberkörper-
messung

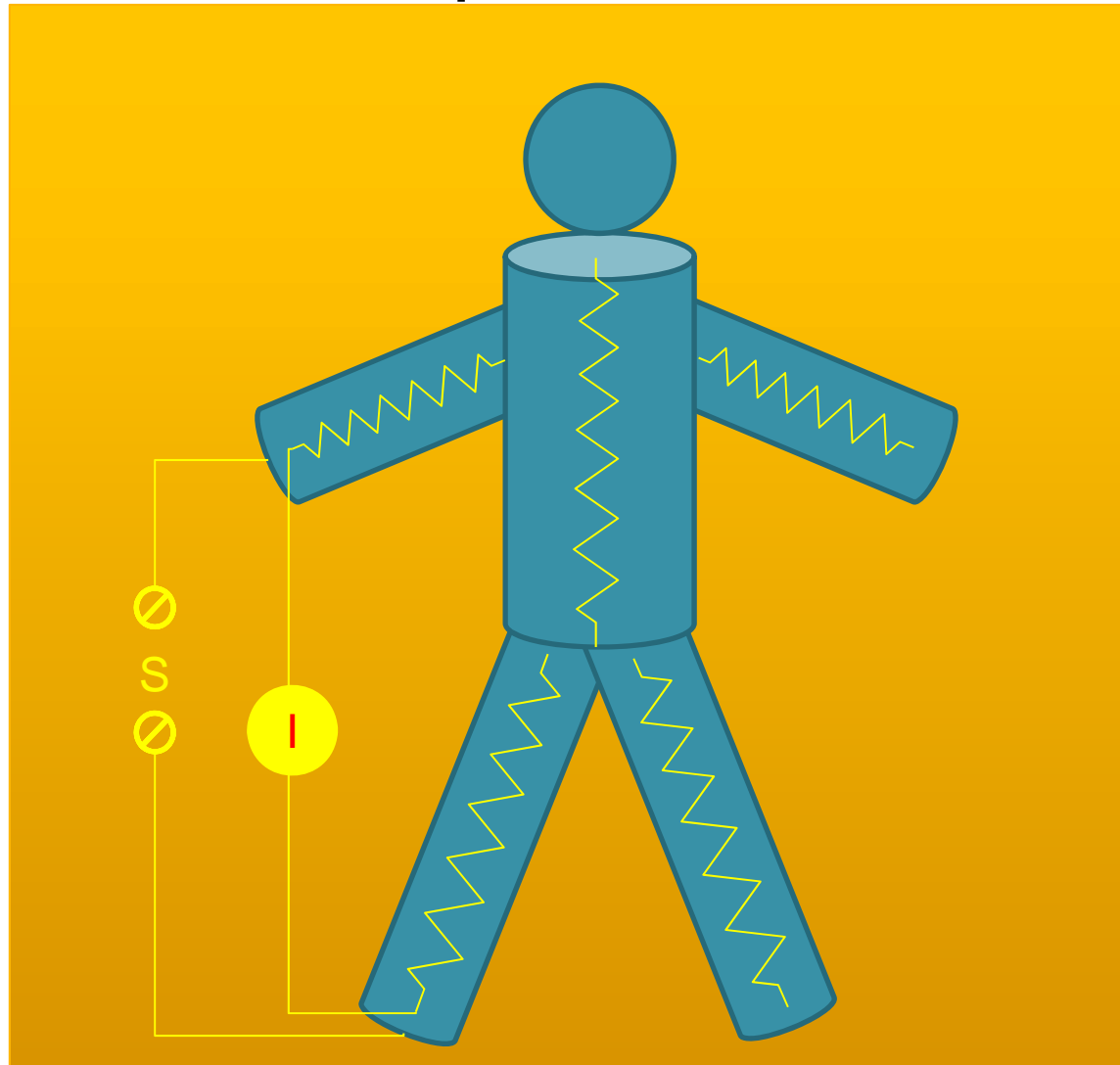
BIA Grundlagen I

- Standard der Körperzusammensetzungsmessung im Praxisbereich ist die **tetrapolare Ableitung** wie sie u.a. bei den Geräten der Firmen Data-Input® oder auch AKERN® bieten.
- **Nicht-Phasensensitive BIA-Messung**
Hierbei wird über die Bestimmung des Gesamtwiderstandes (Impedanz Z) das Gesamtkörperwasser und die Kompartimente Magermasse und Fettmasse berechnet.
- **Phasensensitive BIA Messung**
Bei dieser Variante wird durch die Differenzierung des Gesamtwiderstandes (Impedanz Z) in die Bestandteile Resistance R (Wasserwiderstand) und Reactance X_c (Zellwiderstand). Somit ist eine Differenzierung zwischen Körperzellmasse und extrazellulärer Masse möglich.
- **Phasensensitive Multifrequenzmessung**
Diese Messmethode ermöglicht zusätzlich die Bestimmung des intrazellulärem und extrazellulären Wassers.
- Ein Beispiel für ein phasensensitives multifrequenz BIA Messgerät ist das Nutrigard M der Firma Data-Input® welches mit 0,8 mA bei 5, 50 und 100 kHz misst

BIA Grundlagen II

- Fettgewebe und Magermasse haben einen unterschiedlichen elektrischen Widerstand (Impedanz)
- Die Zellwände (Membranen) bremsen den Wechselstrom ab und bewirken eine Phasenverschiebung des Messstroms. Diese Phasenverschiebung ermöglicht die Bestimmung der Körperzellmasse (BCM).
- Berechnungsgrundlage ist die Annahme, dass der menschliche Körper messtechnisch aus 5 Zylindern besteht (Arme, Rumpf, Beine)
- Der elektrische Widerstand entsteht zu 95% an den Extremitäten und der Torso trägt somit nur 5% zum Gesamtwiderstand bei.
- Die Bestimmung der Magermasse beruht auf der Annahme, dass diese einen Wassergehalt von 73% besitzt. Diese Annahme trifft jedoch nur für gesunde Populationen zu (vgl. Data-Input®, 2008)

Elektrisches Schema des menschlichen Körpers



Modifiziert nach Data-Input®, 2008

Standardisierung der Messbedingungen

- nüchtern, d.h. die letzte Nahrungs- und Flüssigkeitsaufnahme liegt mindestens 2 Stunden zurück
- Blase geleert
- letzte sportliche Betätigung liegt mindestens 2 Stunden zurück
- flach liegen, ruhig und entspannt, maximal 5 Minuten
- Extremitäten abgespreizt ohne den Körper zu berühren
- Hände und Füße nicht eingecremt
- Kontaktflächen zu den Elektroden gesäubert und gefettet
- standardisierte Elektrodenplatzierung

Wichtige Parameter der BIA I

- **Körperzellmasse (BCM)**

Die BCM ist die Gesamtheit aller stoffwechselaktiven Zellen. Dies sind im wesentlichen die Muskulatur und die inneren Organe.

Zwischen 18 - 75 Jahren sollten Männer ca. 53 - 59% und Frauen ca. 50 - 56% BCM in der Magermasse haben (Idealwerte; Data-Input®, 2008).

Bei **Reduktionsdiäten** und/oder extremen Trainingsumfängen sollte der **BCM-Verlust keinesfalls mehr als 20%** betragen. Um temporären intrazellulären Wasserverlust als Ursache der Verringerung der BCM auszuschließen sollte neben der Verringerung der BCM gleichzeitig der Phasenwinkel abfallen, die Reaktanz sinken und/oder die Zelldichte in % sinken.

Wichtige Parameter der BIA II

- **ECM / BCM-Index**

Die Körperzellmasse BCM ist beim Gesunden immer größer als die Extrazellulärmasse ECM. Eine Verschlechterung, also eine Zunahme des ECM/BCM Wertes, kann durch:

- Katabolie der BCM (z. Bsp. durch zu hohen Trainingsumfang, Eiweißmangel)
- Wassereinlagerung durch Hyperinsulinismus
- Wassereinlagerungen (z. Bsp. Ödeme oder Niereninsuffizienz) hervorgerufen werden.

Wichtige Parameter der BIA III

- **Phasenwinkel**

Der Phasenwinkel entsteht durch die schon bereits beschriebene Abbremsung des Wechselstroms an den Zellmembranen der BCM. Zellen mit einer hohen Zellmembranintegrität und –dichte verursachen eine starke Phasenverschiebung und somit einen großen Phasenwinkel.

Eine hohe Zellmembranintegrität und –dichte weist auf einen guten Trainingszustand der Muskulatur und eine ausreichende Nährstoffversorgung hin.

Ein sportliches Training führt nur zu einer langsamen Vergrößerung des Phasenwinkels von maximal $0,2^\circ$ pro Monat (vgl. Data-Input®, 2008).

Vorschlag zur Beurteilung von Phasenwinkel-Werten

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

Data-Input®, 2008

Vorschlag zur Beurteilung von ECM /BCM-Werten

Frauen und Männer	Beurteilung von Ernährungs- und Trainingszustand
0,6	Meist nur im Leistungssport und bei Bodybuilding
0,8 und 0,7	Sehr gut
0,9	Gut
1,0	Befriedigend
1,1	Ausreichend
1,2	Mangelhaft
1,3	Ungenügend
> 1,3	Nur bei Inaktivitätsatrophie mit Muskelschwund

Data-Input®, 2008

Einsatz der BIA zum Monitoring von Trainings- und Ernährungseinflüssen

- Der entscheidende Vorteil der BIA liegt in ihrer leichten und kostengünstigen Anwendbarkeit im Praxisalltag
- Sie ermöglicht eine hinreichend genaue Erfassung von katabolen Effekten, die durch eine zu hohe Trainingsbelastung bei ungenügenden Regenerationszeiten und ungenügender Nährstoffversorgung möglich ist.
- Die BIA erlaubt eine Überprüfung ob das Ziel der Reduktion der Körperfettmasse erfolgreich absolviert wurde, oder ob ein gemessener Gewichtsverlust nur auf kurzfristige Flüssigkeitsverluste zurückzuführen ist.



Kritik an der BIA

- Das Messverfahren ist in der Sportmedizin nicht unumstritten.
- Allerdings zeigen eine Vielzahl von Studien, teilweise mit Fallzahlen von über 1000 Probanden, eine hohe Korrelation mit der Referenzmethode der Hydrodensitometrie.*
- Auch die Gültigkeit globaler Algorithmen zur Bestimmung der Körperzusammensetzung werden kritisch betrachtet und der Einsatz populationsspezifischer Berechnungen, beispielsweise für Adipöse Patienten, wird gefordert (vgl. Steiniger)
- Neuere Arbeiten hinterfragen allerdings nicht nur die Genauigkeit der BIA-Messmethode, sondern auch die Gültigkeit der Hydrodensitometrie als Goldstandard zur Erfassung der Körperzusammensetzung (Korth et al., 2005)

*Übersichten zur Validität in: Steiniger; Kyle, Bosaeus, De Lorenzo, Deurenberg, Elia, Gomez et al., 2004; Kyle, Bosaeus, De Lorenzo, Deurenberg, Elia, Manuel Gomez et al., 2004.

Literatur

- Data-Input®. (2008). *Das BIA-Kompendium III Ausgabe*. Retrieved 28.08.2010, from http://www.data-input.de/site/data/pdf/Kompendium_III_Ausgabe_2009.pdf.
- Greiwing, A. (2006). *Zum Einfluss verschiedener Krafttrainingsmethoden auf Maximalkraft und Kraftausdauer sowie auf die Muskeldicke des M. quadrizeps femoris. Unveröffentlichte Dissertation. Wuppertal: Bergische Universität Wuppertal.*
- Korth, O., Bosy-Westphal, A., Zschoche, P., Glüer, C. C., Heller, M., & Müller, M. J. (2005). Vergleich von 2-Kompartiment-Methoden mit einem 4-Kompartiment-Modell zur Bestimmung der Körperfettmasse. *Aktuelle Ernährungsmedizin*, 30(6), 289-297.
- Kyle, U. G., Bosaeus, I., De Lorenzo, A. D., Deurenberg, P., Elia, M., Gomez, J. M., et al. (2004). Bioelectrical impedance analysis-part I: review of principles and methods. *Clin Nutr*, 23(5), 1226-1243.
- Kyle, U. G., Bosaeus, I., De Lorenzo, A. D., Deurenberg, P., Elia, M., Manuel Gomez, J., et al. (2004). Bioelectrical impedance analysis-part II: utilization in clinical practice. *Clin Nutr*, 23(6), 1430-1453.
- Maud, P. J., & Foster, C. (2006). *Physiological assessment of human fitness* (2nd ed.). Champaign: Human Kinetics.
- Saito, K., Nakaji, S., Umeda, T., Shimoyama, T., Sugawara, K., & Yamamoto, Y. (2003). Development of predictive equations for body density of sumo wrestlers using B-mode ultrasound for the determination of subcutaneous fat thickness. *British Journal of Sports Medicine*, 37(2), 144-148.
- Steiniger, J. *Die Bioelektrische Impedanzanalyse*. Retrieved 28.08.2010, from <http://www.jsteiniger.de/pdf/Die%20Bioelektrische%20Impedanzanalyse.pdf>.
- Withers, R. T., LaForgia, J., Pillans, R. K., Shipp, N. J., Chatterton, B. E., Schultz, C. G., et al. (1998). Comparisons of two-, three-, and four-compartment models of body composition analysis in men and women. *J Appl Physiol*, 85(1), 238-245.