

Aachener Beiträge zur Medizintechnik

9

Herausgeber:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. med. Steffen Leonhardt

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Radermacher

Univ.-Prof. Dr. med. Dipl.-Ing. Thomas Schmitz-Rode

Lisa Röthlingshöfer

Überwachung der Körperzusammensetzung mit Hilfe der Bioimpedanz-Spektroskopie

Ein Beitrag aus dem Philips Lehrstuhl für Medizinische Informationstechnik
(Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. med. Steffen Leonhardt)

RWTHAACHEN
UNIVERSITY

Shaker Verlag
Aachen 2011

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2011)

Copyright Shaker Verlag 2011

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-0436-6

ISSN 1866-5349

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Kurzfassung

der von Frau Dipl.-Ing. Lisa Röthlingshöfer vorgelegten Dissertation

Überwachung der Körperzusammensetzung mit Hilfe der Bioimpedanz-Spektroskopie

Die folgende Arbeit befasst sich mit der kontinuierlichen Überwachung der Körperzusammensetzung mit Hilfe der Bioimpedanz-Spektroskopie, wobei besonders der Hydrierungszustand alter Menschen, Herzinsuffizienz-Patienten, sowie von Sportlern untersucht wurde.

Eine ausgewogene Körperzusammensetzung ist wichtig für die Gesundheit eines Menschen. Abweichungen können schwere gesundheitliche Beeinträchtigungen zur Folge haben und die Leistungsfähigkeit eines Menschen deutlich reduzieren. Ursachen für Ungleichgewichte gibt es viele.

Im Alter können Veränderungen einiger Körperfunktionen, wie das Nachlassen des Durstempfindens und eine verminderte Konzentrationsfähigkeit der Nieren, zu Dehydratationen mit teilweise gravierenden Folgen führen. Weitere Ursachen können krankheitsbedingte Veränderungen der Körperzusammensetzung sein. Besonders häufig betroffen sind hierbei Menschen mit Herz-Kreislauf-Erkrankungen, z. B. einer Herzinsuffizienz. Abhängig vom Krankheitsverlauf und von der Art der Herzschwäche kommt es bei diesen Patienten regelmäßig zu Wasseransammlungen, d. h. zu Ödembildungen im Körper, die nur durch intensive Behandlung im Krankenhaus geheilt werden können. Desweiteren kann das Gleichgewicht der Körperkompartimente z.B. auch durch exzessiven Sport ohne ausgleichende Flüssigkeits- und Nahrungszufuhr gestört werden. Besonders Ausdauersportler, wie Langstreckenläufer oder Fußballer, sind häufig von Dehydratation betroffen.

Diese unterschiedlichen Beispiele verdeutlichen den hohen Stellenwert einer ausgewogenen Körperzusammensetzung und die Notwendigkeit valider Messszenarien als eine Art Frühwarnsystem. Durch gezielte Überwachung der Körperzusammensetzung mit geeigneten Messgeräten könnten Veränderungen frühzeitig erkannt und rechtzeitig entsprechende Gegenmaßnahmen ergriffen werden. Problematisch ist hierbei vor allem der zeitliche Aspekt. Veränderungen der Körperzusammensetzung entstehen in den meisten Fällen über einen längeren Zeitraum. Dies bedeutet, dass zur frühzeitigen Detektion Langzeit-Überwachungsmöglichkeiten geschaffen werden müssen, z.B. in Form von textil-integrierten Messgeräten, die im Alltag verwendet werden können.

Die Bioimpedanz-Spektroskopie (BIS) Messtechnik ist eine nicht-invasive Messmethode, die für kontinuierliche Messungen der Körperzusammensetzung geeignet ist. BIS-Messungen sind kostengünstig und können schnell und einfach durchgeführt werden. Seit einigen Jahren sind erste Messgeräte auf dem Markt erhältlich und anhand größerer Probandenstudien wurde nachgewiesen, dass die BIS exakte Messungen der Körperzusammensetzung ermöglicht. Die BIS hat allerdings auch einige Nachteile, was die Überwachung der Körperzusammensetzung betrifft. Bisher gelten BIS-Messungen nur unter genau kontrollierten Messbedingungen als valide und reproduzierbar. Des Weiteren sind alle bisherigen Messgeräte noch zu groß und unhandlich, um sie für tragbare, textil integrierte Langzeit-Monitoring-Szenarien einzusetzen. Insgesamt besteht daher noch großer Entwicklungsbedarf im Hinblick auf kontinuierliche BIS-Langzeit-Messungen im Alltag.

Ziel dieser Arbeit ist es, die Bioimpedanz-Spektroskopie für tragbare, textil integrierte Langzeit-Monitoring-Szenarien weiter zu entwickeln und somit den Hydrierungszustand alter Menschen, Herzinsuffizienzpatienten, sowie von Sportlern überwachen zu können. Die vorliegende Dissertationsschrift ist wie folgt gegliedert: Zunächst wird die Motivation für das kontinuierliche BIS-Messverfahren im Allgemeinen dargelegt sowie medizinische Grundlagen und Hintergründe der Körperzusammensetzung und Wasserverteilung im Körper dargestellt.

Anschließend werden die technischen Grundlagen der BIS-Messung, d.h. die Messmethode im Detail erläutert sowie verschiedene Optimierungsalgorithmen vorgestellt, die für die Auswertung der BIS-Messdaten verwendet werden und im Rahmen der Arbeit auf ihre Eignung untersucht wurden. Des Weiteren werden verschiedene, im Rahmen dieser Arbeit neu entwickelte BIS-Messgeräte präsentiert, die speziell für tragbare Anwendungen

entwickelt worden sind. Erste Testmessungen mit den Prototypen ergaben sehr gute Resultate und erreichen im Vergleich mit Referenzgeräten vergleichbare Genauigkeiten.

Im theoretischen Teil der Arbeit werden BIS-Messungen mit Hilfe von Finite-Element-Simulationen analysiert und optimiert. Entsprechend der drei Anwendungsszenarien wurden FE-Modelle entwickelt, die es ermöglichen, die Sensitivität der Messmethode zu untersuchen. Anhand der Simulationsergebnisse konnte gezeigt werden, dass auch kleine Impedanzveränderungen, wie sie z. B. durch Dehydrierung beim Sport entstehen, mit BIS gemessen und detektiert werden können. Zusätzlich wurden die Simulationen genutzt, um altersbedingte Veränderungen der Anatomie (geringere Muskelmasse, dünnere Haut) und ihre Auswirkungen auf BIS-Messungen zu untersuchen. Die Simulationen ermöglichen es, die Effekte im Gegensatz zu realen Messungen einzeln zu untersuchen und so besser analysieren zu können. Besonders die Muskelreduktion scheint einen großen Einfluss auf BIS-Messungen im Alter zu haben. Im letzten Teil werden transthorakale BIS-Messungen präsentiert, anhand derer die sensitivste und optimale Elektrodenpositionierung für die Detektion von Lungenödemen definiert werden konnte. verschiedene Simulationsmodelle entwickelt und unterschiedliche Fragestellungen, wie z.B. Sensitivität, Elektrodenpositionierung oder Einflussfaktoren, beleuchtet.

Ein Schwerpunkt der Arbeit stellt die textile Integration der BIS-Messtechnik dar. Dafür wurden zwei Teststände entwickelt, die es ermöglichen, leitfähige Textilien auf ihre Eignung als textile Elektrode bzw. textile Kabel für BIS-Messungen zu untersuchen und somit geeignete Materialien zu definieren bzw. zu optimieren. Anschließend wurden basierend auf den simulierten und messtechnisch erzeugten Ergebnissen drei textile Prototypen für verschiedene BIS-Überwachungsszenarien entworfen und validiert:

- Eine Hose für die Überwachung des Gesamtkörper-Hydrierungszustands von Sportlern und alten Menschen.
- Ein Anzug für die Überwachung des Gesamtkörper-Hydrierungszustands speziell von alten Menschen in Pflegeheimen.
- Ein T-Shirt zur Detektion von Lungenödemen bei Herzinsuffizienzpatienten.

Erste Testmessungen zeigen im Vergleich mit dem Standard-Messverfahren mit Klebe-Elektroden sehr gute Ergebnisse und zeigen damit, dass BIS-Messungen auch mit textilen Elektroden und Leiterbahnen integriert in verschiedene Textilien durchgeführt werden können.

Des Weiteren wurde die BIS-Messmethode im Rahmen zweier Humanstudien validiert. In der ersten wurde die Dehydrierung beim Sport untersucht, in der zweiten Lungenimpedanzänderungen bei CHF Patienten. In beiden Anwendungsszenarien wurden zunächst geeignete Mess-Setups entwickelt, da die zu messenden Impedanzänderungen sehr klein und stark durch äußere Faktoren beeinflussbar sind.

Im Fall der Dehydrierung beim Sport wurde mit Hilfe eines zusätzlichen Infrarot-Sensors die Temperaturprofile der Probanden kontrolliert. Auf diese Weise konnten Zeitintervalle definiert werden, in denen die BIS-Daten valide ausgewertet werden konnten und die Detektion von Dehydrierung beim Sport ermöglicht wurde.

Bei der transthorakalen BIS-Messung wurde das gesamte Mess-Setup überarbeitet, um einzelne, besonders stark ausgeprägte Störfaktoren (Armhaltung, Elektrodenposition) ausschließen zu können. Mit Hilfe des optimierten Mess-Setups wurde eine Humanstudie durchgeführt und die Rekompensation von Lungenödempatienten überwacht. Die Auswertung der BIS-Messdaten zeigt, dass transthorakale BIS-Messungen ausreichend sensitiv für die Detektion von Lungenimpedanzänderungen sind und diese Messtechnik folglich einen guten Indikator für die Entstehung bzw. Rückbildung von Lungenödemen darstellt.

Insgesamt stellen die im Rahmen dieser Arbeit vorgestellten Ergebnisse einen weiteren Entwicklungsschritt auf dem Weg zu kontinuierlichen, textil integrierten BIS-Überwachungssystemen dar. Mit den neu entwickelten Prototypen stehen auch erstmals kompakte Messsysteme zur Verfügung, die unauffällig in den Alltag integriert werden können und ein Home-BIS-Monitoring zur Überwachung der Körperzusammensetzung ermöglichen.