

**6. Workshop  
Automatisierungstechnische  
Verfahren für die Medizin vom  
24.-25. März 2006 in Rostock-  
Warnemünde**



**„Bioimpedanz-basierte Erkennung von Mangelernährung  
mittels Fuzzy-Logik“**

Sebastian Wieskotten, Stefanie Heinke, Peter Wabel, Ulrich Moissl, Rolf Isermann  
TU Darmstadt, Darmstadt, Deutschland  
E-Mail: [swieskotten@iat.tu-darmstadt.de](mailto:swieskotten@iat.tu-darmstadt.de)

Band: Abstracts der Vorträge des 6. Workshops der Automed 2006  
Editors: T. Ellerbrock  
ISBN: 3-86009-296-0  
Pages: 46-47

# Bioimpedanz-basierte Erkennung von Mangelernährung mittels Fuzzy-Logik

Sebastian Wieskotten, Stefanie Heinke, Peter Wabel, Ulrich Moissl, Rolf Isermann  
Technische Universität Darmstadt  
64283 Darmstadt

swieskotten@iat.tu-darmstadt.de

## EINLEITUNG

Protein-Energie-Mangelernährung reduziert die Lebensqualität, verlängert die Krankenhausverweildauer und erhöht drastisch die Mortalität. Untersuchungen der Deutschen Gesellschaft für Ernährungsmedizin zufolge sind 20 – 30 % aller Krankenhauspatienten mangelernährt. Der Europarat kritisiert dieses Problem und fordert die Regierungen auf, für alle Patienten eine Untersuchung des Risikos für eine Mangelernährung einzuführen.

Bislang existiert allerdings kein objektives Verfahren zur Bestimmung des Ernährungsstatus, zurzeit erfolgt die Bestimmung mittels Nutrition Scores wie dem Subjective Global Assessment (SGA) oder dem Nutrition Risk Screening (NRS). Dabei werden für den SGA bestimmte Symptome überprüft und nach Schweregrad vom Untersucher beurteilt. Beim NRS wird zusätzlich auch die Schwere der Erkrankung berücksichtigt. Beide Verfahren basieren stark auf den subjektiven Einschätzungen des Untersuchers, sind zeitintensiv und für eine Patientenüberwachung während der Therapie nicht geeignet.

In dieser Arbeit wird ein Expertensystem vorgestellt, dass auf Basis der Bioimpedanzspektroskopie (BIS) den behandelnden Arzt bei der objektiven Einschätzung des Ernährungsstatus unterstützt. Das System erlaubt im Gegensatz zu den Nutrition Scores sowohl ein initiales Screening von Patienten (z.B. bei der Aufnahme ins Krankenhaus) als auch eine Überwachung des Therapieverlaufs (z.B. zur Erfassung der Wirksamkeit einer Ernährungstherapie).

## MATERIALIEN UND METHODEN

Das System orientiert sich an der technischen Fehlerdiagnose [Isermann2006], Bild 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau. BIS basiert auf einem physiologisch unbedenklichen Messstrom  $i(t)$  ( $<700 \mu\text{A}$ ), der bei 50 verschiedenen Frequenzen ( $f = 5 \text{ kHz} \dots 1 \text{ MHz}$ ) in den Körper eingespeist wird. Gemessen wird der resultierende Spannungsabfall  $u(t)$ . Aus den Impedanzmesswerten kann die Körperzusammensetzung in Bezug auf die Magermasse

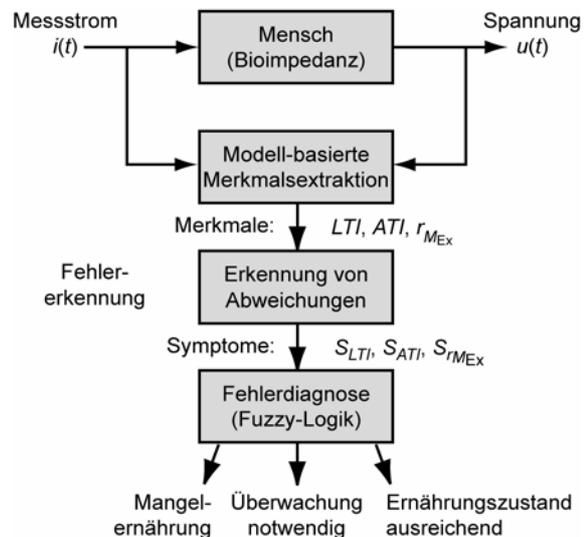


Bild 1: Expertensystem zur Diagnose von Mangelernährung

$M_{LT}$  (Skelettmuskeln, Organe, Knochen, ...), Masse des adipösen Gewebes  $M_{AT}$  und Überwässerung  $M_{Ex}$  bestimmt werden [Chamney2006]. Zur objektiven Bewertung der gewonnenen Messergebnisse müssen diese auf geeignete Weise normiert werden. Ähnlich dem Body Mass Index, bei dem das Körpergewicht durch die quadrierte Körpergröße normiert wird, werden Lean Tissue Index  $LTI$  für die Magermasse und Adipose Tissue Index  $ATI$  für die adipöse Masse definiert:

$$BMI = \frac{\text{Gewicht}}{\text{Größe}^2}, \quad LTI = \frac{M_{LT}}{\text{Größe}^2}, \quad ATI = \frac{M_{AT}}{\text{Größe}^2}$$

Da überschüssiges Wasser außerhalb der Zellen im extrazellulären Volumen  $ECV$  gespeichert wird, erfolgt eine Normierung auf dieses Volumen durch die Berechnung der relativen Überwässerung  $r_{Mex}$ :

$$r_{Mex} = \frac{M_{Ex}}{ECV}$$

$LTI$ ,  $ATI$  und  $r_{Mex}$  werden als Merkmale für die Fehlererkennung verwendet, dabei ist  $LTI$  ein Indikator für die Proteinreserven,  $ATI$  für die Fettreserven und  $r_{Mex}$  für einen ausgeglichenen Hydratationsstatus.

Um krankhafte Abweichungen (Symptome) dieser Merkmale zu erkennen, wurden aus den BIS-Daten

einer repräsentativen, deutschen Referenzpopulation (277 Männer und 411 Frauen) Referenzbereiche bestimmt. Dazu wurden alle Probanden in 7 geschlechtsspezifische Altersgruppen aufgeteilt (18 – 24 a, 25 – 34 a, ..., 65 – 74 a, 75 – 85 a.). Für jede Altersgruppe wurde  $LTI$ ,  $ATI$  und  $r_{Mex}$  und daraus jeweils das 10. und 90. Perzentil berechnet. Es ergibt sich eine Stufenfunktion über das Alter, die durch ein Polynom 2. Ordnung approximiert wurde. Bild 2 zeigt dies exemplarisch für den  $LTI$  von Männern.

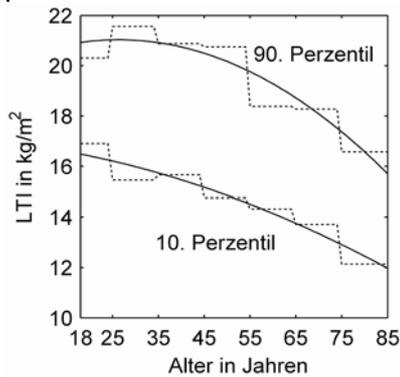


Bild 2: Perzentil-basierte Bestimmung des  $LTI$ -Referenzbereichs für Männer

Der Bereich zwischen dem 10. und 90. Perzentil wird als Referenzbereich definiert. Liegt der  $LTI$  oder  $ATI$  eines Patienten unterhalb des 10. Perzentils oder die  $r_{Mex}$  über dem 90. Perzentil, so liegt ein entsprechendes Symptom vor:

$$S_{LTI} = LTI_{10P}(Alter) - LTI$$

$$S_{ATI} = ATI_{10P}(Alter) - ATI$$

$$S_{r_{Mex}} = r_{Mex_{90P}}(Alter) - r_{Mex}$$

Diese Symptome werden mittels Fuzzy-Logik ausgewertet. Es erfolgt eine Klassifikation in die drei Gruppen ‚1: Mangelernährung‘, ‚2: Überwachung notwendig‘ und ‚3: Ernährungszustand ausreichend‘, vgl. Bild 1. Hierzu ist es notwendig die Eingangsgrößen  $LTI$ ,  $ATI$  und  $r_{Mex}$  zu fuzzifizieren, d.h. sie werden mit linguistischen Variablen beschrieben (z.B. stark negativ). Anschließend werden in der Aggregation und Implikation Wenn-dann-Regeln auf die Eingänge angewendet. Diese Regeln stellen die sog. Regelbasis bzw. das Expertenwissen dar. Ein Beispiel für eine solche Regel ist:

**Wenn** ( $S_{LTI}$  = positiv) **und** ( $S_{ATI}$  = negativ) **und** ( $S_{r_{Mex}}$  = stark negativ), **dann** ‚1: Mangelernährung‘

Zuletzt werden die Ergebnisse aller Regeln in der Akkumulation zusammengefasst und in der Defuzzifizierung ein Zahlenwert berechnet, der eine Klassifikation zulässt.

Eine wichtige Rolle spielt die Regelbasis, die für diese Arbeit gemeinsam mit Experten erstellt wurde. Hierzu wurden BIS Messungen und die entsprechenden SGA-Einteilungen von 109 Patienten (57 männlich und 52 weiblich, Gruppe 1) analysiert. Die Patienten wurden aufgrund ihrer Primärerkrankung ernährungs-

medizinisch untersucht und ggf. behandelt. Diese Regelbasis entspricht im Wesentlichen dem aktuellen, medizinischen Wissen in Bezug auf Protein-Energie-Mangelernährung [Barac1978, Pirlich2005].

Eine zusätzliche Validierung des Expertensystems wurde mit 615 Patienten (Gruppe 2) aus der Aufnahme eines Kreiskrankenhauses durchgeführt.

## ERGEBNISSE

Zur Beurteilung des Expertensystems bietet sich ein Vergleich zwischen der SGA-Klassifikation und der Klassifikation des Expertensystems an. Dabei wurde die Unschärfe berücksichtigt, dass ein SGA A-Patient durch das Expertensystem nur in die Gruppen 1 oder 2, und ein SGA C-Patient nur in die Gruppen 2 oder 3 zugeordnet werden darf.

Tabelle 1: Übereinstimmung zwischen SGA-Klassifikation und Expertensystem

|        | Gruppe 1 | Gruppe 2 |
|--------|----------|----------|
| n      | 109      | 615      |
| Männer | 80,0 %   | 88,8 %   |
| Frauen | 75,5 %   | 87,5 %   |

Die Übereinstimmung zwischen SGA-Score und Expertensystem ist sehr hoch. Das Expertensystem beurteilt den Ernährungsstatus der Patienten sehr ähnlich wie die Untersucher auf Basis des SGA.

## DISKUSSION UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Das entwickelte Fuzzy-Logik-Expertensystem erlaubt die Identifikation von mangelernährten Patienten. Dabei wird keine subjektive Einschätzung des Untersuchers benötigt. Darüber hinaus wäre auf Basis der BIS auch ein Monitoring mit diesem System möglich, um den Therapieverlauf zu kontrollieren. Zukünftig muss das System gegen weitere Daten validiert werden.

## LITERATURHINWEISE

[Barac1978]

Barac-Nieto M, Spurr GB, Lotero H, Maksud MG. „Body composition in chronic undernutrition“, Am J Clin Nutr. 1978 Jan;31(1):23-40.

[Chamney2006]

Chamney P, Wabel P „A method and a device for determining the hydration and/or nutrition status of a patient“, WIPO Patent Nr. 2006/002684 A1

[Isermann2006]

Isermann, R, „Fault Diagnosis Systems – An Introduction from Fault Detection to Fault Tolerance“, Springer Verlag, Berlin, 2006.

[Pirlich2005]

M. Pirlich, „Einfluss krankheitsassoziierter Mangelernährung auf Körperzusammensetzung und Prognose“, Dissertation Charité Berlin. 1993.