

INDEPENDENT COMPONENT ANALYSIS FÜR DIE BEWERTUNG VON IKG-DATEN ZUR SCHLAGVOLUMENBESTIMMUNG

C. Schauer¹, H. Zschenker¹, K. Debes¹, H.-M. Groß¹, O. Solbrig²

¹Technische Universität Ilmenau

²medis GmbH

carsten.schauer@tu-ilmenau.de

Abstract — Die nichtinvasive Schlagvolumenbestimmung des Herzens mittels IKG ist eine preiswerte und nebenwirkungsfreie Methode, die jedoch recht schnell bei herzkranken Patienten zu fehlerhaften Messergebnissen führen kann. Der Beitrag behandelt die Eignung der Methode der ICA und von TDNN zur Erkennung von pathologischen Befunden, um so sichere Aussagen über die Korrektheit der Schlagvolumenberechnung treffen zu können.

Keywords— ICA, ICG, time-delay neural networks, cardiac output, stroke volume

Einleitung

Die Impedanzkardiographie (IKG) ist eine anerkannte nichtinvasive Methode zur Bestimmung des Schlagvolumens des Herzens. Sie basiert auf der thorakalen Impedanz, zu deren Ermittlung ein physiologisch unbedenklicher Strom durch den Thorax geleitet und die daraus resultierende Spannung gemessen wird. Differenziert man das Impedanzsignal, so ergibt sich der als Impedanz-Kardiogramm bezeichnete Kurvenverlauf, in dem u.a. die Öffnung der Aortenklappe, der maximale systolische Fluss und der Aortenklappenschluss zu erkennen sind.

Mit Hilfe dieser Werte können Schlagvolumen, Herzminutenvolumen, systolische Zeitintervalle und verschiedene andere Parameter zur Beschreibung der Herzfunktion bestimmt werden.

Während einige beeinträchtigende Faktoren wie Atmungs-Artefakte relativ einfach algorithmisch eliminiert werden können, führen eine Reihe von pathologische Veränderungen dazu, dass die der Messung hinterlegten Berechnungsmodelle gesunder Personen nicht oder nur eingeschränkt zutreffen und Fehler bei der Schlagvolumen-Berechnung auftreten. Beispiele für problematische Befunde sind kardiale Shunts, Klappeninsuffizienzen (SV, HZV werden überschätzt), Klappenstenosen (SV, HZV werden unterschätzt) oder eine verminderte Nachgiebigkeit der Aorta (SV, HZV werden unterschätzt). Da die Impedanzkardiographie aber häufig an Patienten mit solchen Befunden durchgeführt wird, deren Art und Ausprägung aber unbekannt sein können, steht

dann eine nur eingeschränkt zuverlässige Messmethode zur Verfügung.

Ziel der vorgestellten Arbeit ist es, anhand der Analyse der IKG-Kurve eine prinzipielle Unterscheidung zwischen gesunden und solchen pathologischen Befunden vorzunehmen, bei denen keine korrekte Berechnung des Schlagvolumens möglich ist.

Messverfahren

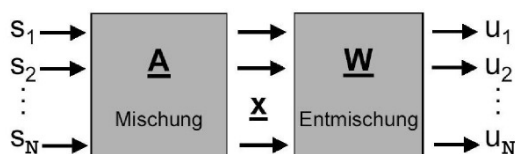
Eine Grundannahme des Verfahrens ist, dass das vollständige vom Herzen geförderte Blutvolumen den Messabschnitt (d.h. die thorakale Aorta bis zum Übergang in den Bauchraum) mindestens bis zum Zeitpunkt des Erreichens der maximalen Ejektionsgeschwindigkeit nicht verlässt, da erst zu diesem Zeitpunkt die zur Bestimmung des Schlagvolumens benötigte Amplitude im IKG-Signal bestimmt wird. Liegt eine verminderte Nachgiebigkeit (Compliance) der Aorta vor oder tritt der Zeitpunkt der maximalen Ejektionsgeschwindigkeit aufgrund einer schlechten Kontraktilität sehr spät nach dem Beginn der Systole auf, hat ein Teil des Blutes den Messabschnitt bereits verlassen, wodurch die gemessene Amplitude genau um diesen Differenzbetrag kleiner ausfällt. Das Schlagvolumen und andere daraus abgeleitete hämodynamische Parameter (Kontraktilitätsindex (IC) und Geschwindigkeitsindex (VI)) werden unterschätzt.

Die Compliance der Aorta steht in direktem Zusammenhang mit der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Pulswelle, die mit Hilfe einer peripheren Pulswellenmessung geschätzt werden kann. Ist die Messung der peripheren Pulswelle aus technischen Gründen nicht möglich, wäre eine Beurteilung der Compliance auch anhand der Reflexion der Pulswelle im arteriellen System möglich. Diese reflektierten Druckwellenanteile, die sich der ursprünglichen kardialen Pulswelle überlagern und bei verschiedenen Krankheitsbildern ganz unterschiedlichen Einfluss haben, erwiesen sich als wesentliches Problem bei der IKG-Analyse: Ohne Kenntnis von Zeitpunkt und Gestalt des reflektierten Druckwellenanteils,

38. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Biomedizinische Technik im VDE, 22.-24.9.2004
in: Biomedizinische Technik. Band 49, Ergänzungsband 2, Teil 1, Hrsg: Boenick, Bolz; Fachverlag Schiele & Schön; Berlin, 2004; ISSN 0939-4990; pp 346-347
der etwa im Zeitintervall der T-Welle des EKG auftritt, kann insbesondere der Aortenklappenschluss nicht sicher berechnet werden.

Untersuchung mittels ICA

Es wurde zunächst untersucht, ob eine Extraktion der reflektierten Pulswelle aus dem IKG mit Methoden der Blind Source Separation realisierbar ist. Dazu wurden verschiedene Ansätze der Independent Component Analysis angewandt und aufgrund des spezifischen Problems der Überlagerung einer Druckwelle mit reflektierten Komponenten spezielle ICA-Verfahren für konvolutive Signalgemische zum Einsatz gebracht.



Die Ergebnisse waren unbefriedigend. Folgende Eigenschaften sind voraussichtlich die Ursache:

- durch den sich während eines Pulses ändernden Druck ist die Raumübertragungsfunktion nicht konstant
- Mehrfachechos (Verzweigungen, Durchmesseränderungen)
- Signallänge nicht ausreichend
- möglicherweise eignet sich die periphere Impedanzmessung nicht als Beobachtung im Sinne der ICA
- unterschiedliche Übertragungsfunktionen für die zu trennenden Komponenten

Nachdem verschiedene Varianten des Verfahrens keine eindeutig interpretierbaren Ergebnisse lieferten, musste die allgemeine Klassifikation von kritischen Befunden allein anhand von Formeigenschaften der IKG-Kurve erfolgen.

Um erste Anhaltspunkte für charakteristische Signalmerkmale zu erhalten, wurden nicht die kontinuierliche IKG-Aufzeichnung betrachtet, sondern nach typischen, in jeder Pulswelle wiederkehrende Eigenschaften der Kurve gesucht und statistische Pulssegmente über Mittelwerten und Standardabweichungen bestimmt.

Untersuchung mittels TDNN

Als adäquates Werkzeug zur Klassifikation von Zeitsignalen erschienen Time Delay Neural Networks (TDNN) zur Verarbeitung der IKG Daten besonders geeignet. Im Falle einkanaliger Messwerte ist es möglich, ein TDNN als herkömmliches Multi-Layer Perceptron (MLP) mit eindimensionalen Eingaberaum zu betreiben. Ein äquivalentes off-line Training wurde exemplarisch mit den vorliegenden Daten durchgeführt. Die Netzwerktopologie (Anzahl der Eingabe-, Hidden-

Neurone) wurde dabei an unterschiedliche Vorverarbeitungs- und Segmentierungsalgorithmen angepasst. Um Aussagen über die Generalisierungseigenschaften zu erhalten, wurde ein zufälliger Validierungsdatensatz betrachtet. Sowohl der mittlere Fehler für jede im Validierungsdatensatz enthaltene Messung, als auch mittlerer Fehler und Klassifikationsrate einer Segmentierungsvariante konnten so ausgewertet werden.

Ergebnisse

Die statistischen Eigenschaften der Segmente erwiesen sich als aussagekräftig und zuverlässig und trotz der extrem geringen Anzahl der zur Verfügung stehenden Messungen wurde eine signifikante Klassifikationsleistung beobachtet. Die erzielte Klassifikationsrate betrug 72 Prozent und lässt sich im Verlauf eines Trainings des MLPs mit deutlich mehr Datensätzen vermutlich soweit verbessern, dass die Implementierung und Anwendung des Verfahrens auf einer Geräteplattform gerechtfertigt erscheint.

Literatur

- Abed-Meraim K., Belouchrani A., Cardoso J.F., Moulines E.: *Asymptotic preformance of second order blind source separation*. Proceedings of the ICASSP(277-280), 1994
- Cardoso J.F., Souloumiac A.: *An efficient technique for the blind source separation of complex sources*. Paris, 1993
- Hyvärinen A.: *Blind source separation by nonstationarity of variance: A cumulant-based approach*. In IEEE Transactions on Neural Networks, Helsinki, 2001
- Köhler B.U., Orglmeister R.: *Independent component analysis using autoregressive models*. In Proceedings of the first International Workshop on Independent Component Analysis and blind source separation of Signals (359-363), Aussois, France 1999
- medis. Medizinische Messtechnik GmbH Ilmenau: *niccomo Software-Handbuch*. 2002
- Müller K.R., Nolte G., Mackert B.M., Curio G.: *ICA analysis of MEG data, In NIPS 97: Functional brain imaging workshop*. Breckenridge(CO) 1997
- Schauer C.: *Projekt CarDiKon*. Zwischenbericht, Technische Universität Ilmenau, 2003
- Zschenker H.: *Biosignalanalyse von Impedanzkardiographie-Daten mittels neuronaler Verfahren*. Diplomarbeit, Technische Universität Ilmenau, 2004