

**3. Workshop
Automatisierungstechnische
Verfahren für die Medizin vom
17.-18. September 2001 in
Bochum**



„Optische Fasertechnologie für einen inotropen "Closed-Loop" Herzschrittmacher“

J. Werner, K. Hoeland, A. Kloppe, A. Prenger-Berninghoff, M. Hexamer, S. Müller
Lehrstuhl für Biomedizinische Technik, Ruhr-Universität, Bochum, Deutschland
E-Mail: werner@biomed.ruhr-uni-bochum

Band: Beiträge zum 3. Workshop Automatisierungstechnische Methoden und
Verfahren für die Medizin
Editors: Jürgen Werner, Martin Hexamer
ISBN: 3-00-008240-9
Pages: 68-69

Optische Fasertechnologie für einen inotropen "Closed-Loop" Herzschrittmacher

J. Werner, K. Hoeland, A. Kloppe, A. Prenger-Berninghoff, M. Hexamer, S. Müller

Lehrstuhl für Biomedizinische Technik, Ruhr-Universität, MA 4/59, 44780 Bochum

werner@biomed.ruhr-uni-bochum

EINLEITUNG

Herzschrittmacher-Patienten leiden an einer Unterbrechung oder Störung des Signalfusses im kardiovaskulären Regelkreis, in dem als Regelgröße der arterielle Blutdruck von Pressorezeptoren innerhalb des arteriellen Systems gemessen und an das autonome Nervensystem (ANS, sympathische und parasympathische Netzwerke) als Regler weitergeleitet wird. Dieser hat vier Stellgrößen zur Verfügung, um Störungen (z.B. orthostatischer, körperlicher oder emotionaler Stress, Blutverlust usw.) entgegenzuwirken, nämlich Modifikation

1. der Herzschlagfrequenz („Chronotropie“) durch Ansteuerung des inhärenten physiologischen Schrittmachers, des Sinusknotens.
2. der atrio-ventrikulären (AV) Überleitungszeit („Dromotropie“).
3. der Herzkontraktion („Inotropie“) und somit des Schlagvolumens.
4. des peripheren Gefäßwiderstandes.

30 - 40 % der Schrittmacherpatienten leiden an Sinusknoteninkompetenz, d.h. sie sind nicht in der Lage, die Herzschlagfrequenz an die kardiovaskuläre Beanspruchung anzupassen. In diesen Fällen benötigt der Herzschrittmacher einen technischen Sensor, der Information über den kardiovaskulären Status liefert.

CLOSED-LOOP HERZSCHRITTMACHER

Der immer noch am häufigsten implantierte sensorgesteuerte Herzschrittmacher verfügt über einen Beschleunigungssensor im Gehäuse, der Körperbewegungen registriert. Damit wird offensichtlich nicht eine Regelung, sondern bestenfalls eine partielle Störgrößenaufschaltung realisiert, abgesehen von dem bekannten Problem eklatanter Fehlmessungen.

Der ideale frequenzadaptive Schrittmacher wird hingegen den unterbrochenen physiologischen Regelkreis wieder schließen [1]. Da die chronotrope Information nicht zu Verfügung steht (Abb.1), liegt es nahe, stattdessen die dromotrope oder die inotrope Information aus dem ANS zu messen. Erstere ist durch Messung der Verkürzung der AV-Überleitungszeit [2] sehr direkt erhältlich. Inotrope Ansätze benutzen Parameter, die indirekter mit den ANS-Signalen verknüpft sind, z.B. die elektrische Impedanz der Herzkammern [3]

oder die Herzbeschleunigung [4]. Wir haben ein inotropes System entwickelt, das die Herzkontraktion mittels eines in die Schrittmachersonde eingeführten Lichtwellenleiters misst (Abb. 2).

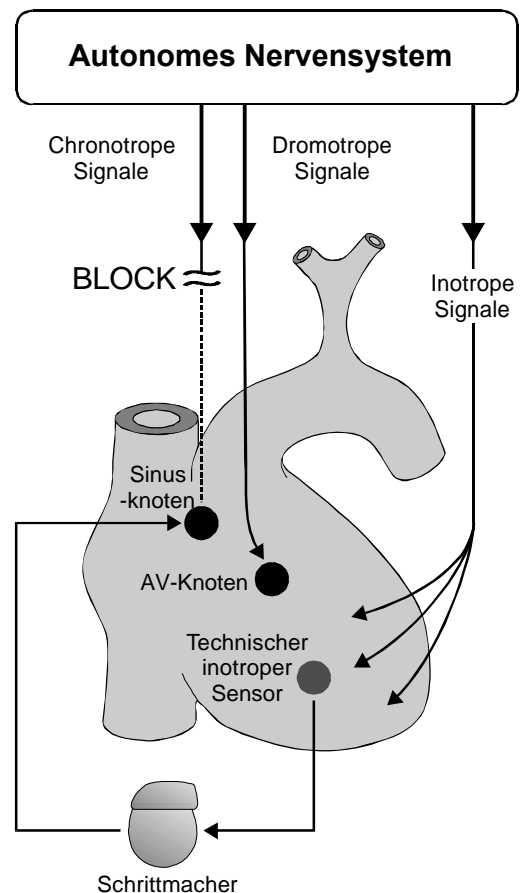


Abb. 1: Der inotrope Schrittmacher nutzt inotrope Information zur Anpassung der Stimulationsfrequenz, da die inhärenten chronotropen Signale nicht zur Verfügung stehen. Der Regelkreis wird wieder geschlossen.

FASEROPTISCHE SENSORIK

Die optische Faser folgt während der Herzkontraktion allen Änderungen des Krümmungsradius der Schrittmachersonde, wobei die optische Dämpfung mit kleinerem Radius zunimmt. Das im Herzen befindliche Ende der Faser wird zur Reflexion des Lichts verspiegelt. Eine opto-elektrische Einheit, deren optische Sendeleistung durch einen zusätzlichen Regelkreis stabilisiert wird, liefert Infrarotlicht und verfügt zusätzlich

über einen Strahlteiler und einen Referenz- und einen Signalempfänger.

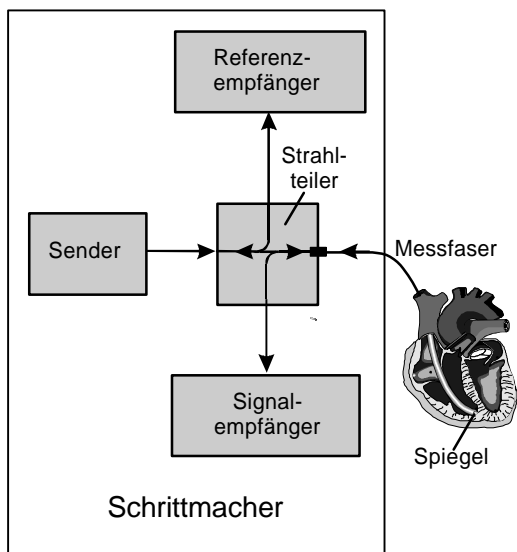


Abb. 2: Schema der opto-elektrischen Einheit und der Fasersensorik

SYSTEMTESTS

Die Sensoreigenschaften des Systems wurden zunächst in technischen Messaufbauten geprüft. Dazu wurden Fasern auf Zylinder unterschiedlichen Durchmessers gewickelt und jeweils der Photostrom ermittelt. Die Kurvenverläufe entsprechen den theoretischen Überlegungen und liefern für die Durchmesseränderungen der Herzkammern eine ausreichende Messempfindlichkeit [5]. Darüber hinaus wurde das System in isoliert unter physiologischen Bedingungen arbeitenden Schweineherzen [6] getestet. Abb. 3 zeigt eine gute Korrelation des faseroptischen Signals mit dem linksventrikulären Druck, eine gute Voraussetzung zur Entwicklung eines Algorithmus zur Anpassung der Stimulationsfrequenz.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Fasertechnologie ist zur Messung des inotropen Status des Herzens gut geeignet. Das Meßsignal liefert einen geeigneten Parameter zur Frequenzadaptation.

Der „inotrope“ Schrittmacher schließt den physiologischen Regelkreis wieder, der bei Patienten mit Sinusknoteninkompetenz unterbrochen ist. Die Sensorik ist auch nutzbar zur Tachykardie-Detektion und Schock-Triggerung in automatischen Defibrillationssystemen und zur Ansteuerung von Herzunterstützungssystemen (Pumpen). Vor einer industriellen Umsetzung sind jedoch noch weitere extensive präklinische und klinische Tests erforderlich.

Mit Unterstützung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (We 915/16-1)

LITERATURHINWEISE

- [1] J. Werner, M. Hexamer, M. Meine, B. Lemke, "Restoration of cardio-circulatory regulation by rate-adaptive pacemaker systems", IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol 46 pp 1057-1064, 1999
- [2] M. Hexamer, M. Meine, J. Werner, "A system-theoretical approach to closed-loop pacing of the human heart based on the atrio-ventricular conduction time", in E. Carson, E. Salzsieder, eds: Modeling and control in biomedical systems (IFAC) pp 223-227, Pergamon, Oxford, 2000
- [3] M. Schaldach, H. Hutten, "Intracardiac impedance to determine sympathetic activity in rate responsive pacing", PACE, Vol 15, pp 1778-1786, 1992
- [4] J. Clémenty, "Correlation between sensor signal and sinus rhythm in patients implanted with a rate responsive pacemaker driven by contractility: Long-term evaluation", PACE, Vol 22, Part II, A 166, 1999
- [5] K. Hoeland, M. Meine, M. Hexamer, A. Kloppe, J. Werner, "New fiberoptical sensor technology for measuring heart contraction in pacing and defibrillation", Med. & Biol. Eng. & Comp., Vol 37, Suppl.2/I, pp 710-711, 1999
- [6] A. Kloppe, M. Hexamer, K. Hoeland, M. Meine, J. Werner, "A new test device for cardiac stimulation and sensor technology", Med. & Biol. Eng. & Comp., Vol 37, Suppl. 2/I, pp 708-709, 1999

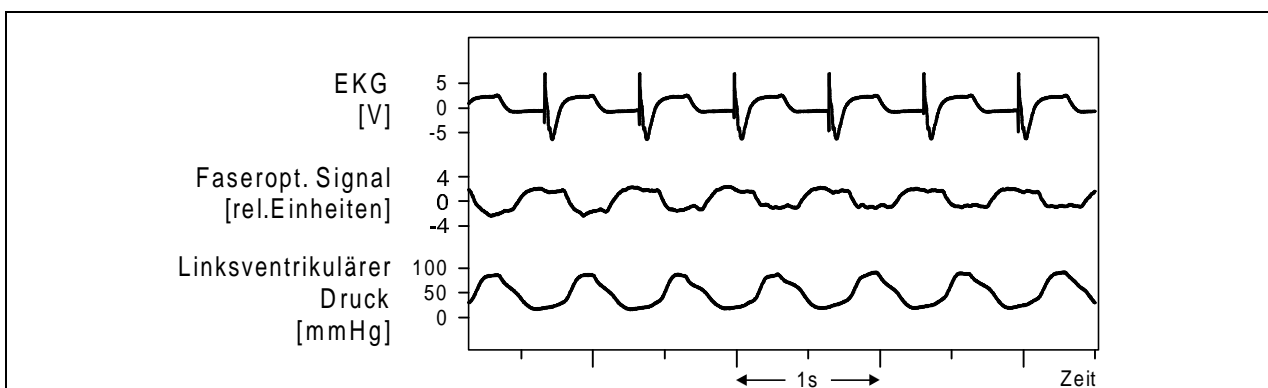


Abb.3: Korrelation des faseroptischen Signals mit dem linksventrikulären Druck in einem Schweineherzen