

**1. Workshop
Automatisierungstechnische
Verfahren für die Medizin vom
21.-22. November 1997 in
München**



„Optimierung der Prozesskontrolle der Hämodialyse“

H. Scharfetter, P. Bachhiesl, H. Hutten
TU-Graz, Österreich

Pages: 20

OPTIMIERUNG DER PROZESZKONTROLLE DER HÄMODIALYSE

H. Scharfetter / P. Bachhiesl / H. Hutten

EINLEITUNG: Die individuelle Optimierung des Dialyseprozesses erfordert die Steuerung oder Regelung vieler unterschiedlicher Zustandsgrößen des Patienten, z. B. der Plasma-Ionenkonzentrationen, des Säure-Basen-Haushalts, des volämischen Zustandes und hämodynamischer Größen. Zu diesem Zweck wird ein generelles Konzept für eine Mehrgrößensteuerung bzw. -regelung des Dialyseprozesses dargestellt.

METHODE: *Primäre Regelgrößen (PRG)* sind solche, die können mechanistisch modelliert werden können, d. s. extrazelluläre Konzentrationen von Na^+ , K^+ , Cl^- , H^+ , CO_2 , Harnstoff sowie die Dynamiken verschiedener Verteilungsvolumina; *Sekundäre Regelgrößen (SRG)* sind (hämodynamische) Größen, für die kein geeignetes mechanistisches Modell existiert. Dementsprechend wird der Steuer- bzw. Regelkreis in zwei Stufen zerlegt. Stufe 1 ist eine Nachlaufsteuerung für die PRG. Stufe 2 enthält ein Expertensystem, das den Zusammenhang zwischen SRG und PRG herstellt und die Erstellung optimaler Profile für die PRG in Hinblick auf bestmögliche hämodynamische Stabilität ermöglicht. Eine Lösungsstrategie für das in der Stufe 1 auftretende mechanistische Kontrollproblem besteht aus einem Multikompartimentmodell (MKM) für die Beschreibung der PRG-Dynamiken sowie einem effizienten Optimierungsalgorithmus (PSEUDYGALG). Das MKM wird durch 19 nichtlineare gewöhnliche Differentialgleichungen beschrieben und besitzt 12 Parameter, die aus Meßdaten für den einzelnen Patienten bestimmt werden müssen. Die Optimierungsaufgabe besteht darin, die PRG über die MKM-Kontrollvariablen (KV) möglichst gut innerhalb klinisch definierter Optimalbereiche zu halten. PSEUDYGALG ist ein pseudodynamisches numerisch-iteratives Abstiegsverfahren, das sich speziell für nichtlineare dynamische Optimierungsprobleme mit teilweise widersprüchlichen Mehrfachzielen eignet. Das Verfahren zeichnet sich durch besonders effiziente Update-Strategien für die Verbesserung der Abstiegsrichtungen aus.

ERGEBNISSE: Das Modell wurde auf lokale Identifizierbarkeit getestet und in 2 Serien klinischer Messungen validiert. Der Controller wurde bisher für vier KV und vier PRG getestet. PSEUDYGALG wurde für zwei Klassen von Kontrollproblemen getestet: „gut konditionierte (Typ I)-“ und „schlecht konditionierte (Typ II)“ Kontrollprobleme. Letztere sind solche, für die ein Erreichbarkeitskriterium nicht erfüllt ist (z.B. durch aktive Ungleichungsnebenbedingungen der Kontrollen oder durch stark widersprüchliche Zielforderungen). Im Gegensatz zu Standardkontrollverfahren der Literatur (Pontryagin, Bellman) konnte mit PSEUDYGALG für beide Problemklassen ein zufriedenstellendes Ergebnis erzielt werden. Dabei erfordert ein Optimierungslauf für 4 KV (Dialysat Na^+ , K^+ , Cl^- sowie die UFR) und vier PRG (Na^+ und K^+ Konzentrationen im Blut, Relation zwischen Intra- und Extrazellulärvolumen, Blutplasmavolumen) etwa 1500 bis 2000 (Typ I) bzw. 3000 bis 5000 (Typ II) Modellaufrufe. Dies entspricht auf einer DEC 3000/900-Workstation einer Rechenzeit von ca. 3 bis 4 bzw. 5-10 min.

DISKUSSION: Die offline-Realisierung der Optimierungsstufe I - sofern diese von der Stufe II entkoppelt betrachtet wird - kann als prinzipiell gelöst angesehen werden. Der Schritt zur online-Kontrolle sollte aufgrund der hohen Controller-Effizienz mit der Methode des rollenden Optimierungshorizontes möglich sein und erfordert die Miteinbeziehung von online-Identifikationsstrategien für das MKM. Die Realisierung der Optimierungsstufe II, welche die Einbindung des Experten in das Gesamtoptimierungsschema gewährleistet, ist das vorrangige Ziel der weiteren Untersuchungen.