

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



**„Klinischer Einsatz eines closed-loop-control-Systems zur  
Mehr-größenregelung der neuromuskulären Blockade und  
der Hypnosetiefe“**

J. Bajorat, M. Janda, B. Pohl, R. Hofmocker  
Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie und Intensivtherapie, Universität Rostock, Rostock,  
Deutschland  
E-Mail: joern.Bajorat@med.uni-rostock.de

O. Simanski, A. Schubert  
Institut für Automatisierungstechnik, Universität Rostock, Rostock, Deutschland

Band: Abstracts der Vorträge des 6. Workshops der Automed 2006  
Editors: T. Ellerbrock  
ISBN: 3-86009-296-0  
Pages: 26-27

## Klinischer Einsatz eines closed-loop-control-Systems zur Mehr-größenregelung der neuromuskulären Blockade und der Hypnosetiefe

J. Bajorat<sup>1</sup>, M. Janda<sup>1</sup>, O. Simanski<sup>2</sup>, A. Schubert<sup>2</sup>, B. Pohl<sup>1</sup>, R. Hofmockel<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie und Intensivtherapie; Universität Rostock

<sup>2</sup> Institut für Automatisierungstechnik; Universität Rostock

joern.Bajorat@med.uni-rostock.de

### EINLEITUNG

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, ein in unserer Arbeitsgruppe entwickeltes System zur gleichzeitigen closed-loop-Regelung der neuromuskulären Blockade (NMB) und der Hypnosetiefe (HT) zu evaluieren und die Regelungsgüte und besonders die klinische Praktikabilität zu bewerten.

### MATERIALIEN UND METHODEN

Nach Zustimmung durch die zuständige Ethikkommission und schriftlichem Einverständnis wurden 20 Patienten (ASA1-3) mit elektiven visceral- und unfallchirurgischen Eingriffen in die Untersuchung eingeschlossen. Nach entsprechender Vorbereitung und Elektrodenpositionierung erfolgte die Narkoseeinleitung mit Sufentanil und Propofol und anschließender endotrachealer Intubation zunächst ohne Muskelrelaxanzien. Anschliessend wurde die Anästhesie als TIVA mit Propofol, Remifentanil und Mivacurium sowie supplementierter Periduralanästhesie fortgeführt.

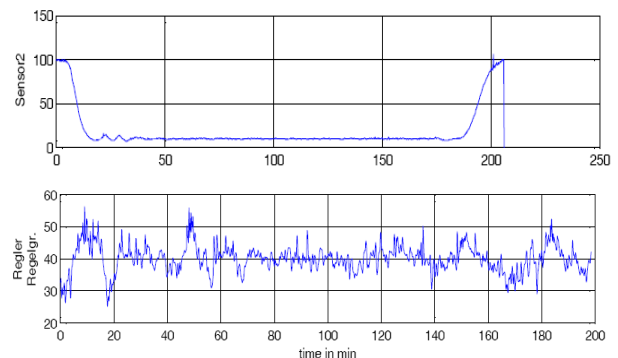
Die Regelkreis gesteuerte Applikation von Mivacurium erfolgte mittels Elektromyographie (EMG) am M. interosaeus DI um einen Sollwert für  $T1/T1_0$  von 10% mit Hilfe eines 2-phasig ausgelegten adaptiven Generalized Predictive Controllers (aGPC). Ein initial eingesetzter 2-Punkt-Regler sollte zunächst durch titrierende Bolusapplikationen von Mivacurium eine NMB von 88-100 % bewirken. Nach entsprechender Anpassung erfolgte die Umschaltung auf den aGPC controller zur Aufrechterhaltung einer NMB von  $90\% \pm 3\%$ . Die Regelung der NMB beinhaltet neben einer Plausibilitätskontrolle durch die Berücksichtigung von Vorgängerwerten die Erkennung von hochfrequenten elektrischen Störungen durch beispielsweise chirurgische Thermokoagulation. Beim Absinken der NMB auf einen Wert unter 80 % erfolgt eine erneute Umschaltung auf den 2-Punkt-Regler zur erneuten Modellbildung.

Die Propofolapplikation erfolgte ebenfalls automatisiert durch einen Fuzzy-PID-Regler [1] um einen angestrebten BIS-Wert von 40. Zur Vermeidung von schnell auftretenden Wachheitszuständen unter

Propofolhypnose stellt der Regler eine Minimaldosierung von 2 mg/kg/h sicher. Der durch den Regler berücksichtigte Dosierungsbereich erstreckt sich von 2-16 mg/kg/h. Zur Minimierung von Artefakteinflüssen auf die Propofolapplikation wird der geräteinterne Qualitätsindex (SQI) des BIS-Monitors berücksichtigt. So werden nur SQI-Werte von größer als 50 an den Regler kommuniziert.

### ERGEBNISSE

Die durchschnittliche Dauer der Mehrgrößenregelung betrug 99,2 min. Die durchschnittliche NMB betrug 9,6% ( $T1/T1_0$ ) bei einer Standardabweichung von  $\pm 1,8\%$ . Der durchschnittliche BIS Wert unter closed-loop-Bedingungen lag bei 39,8 mit einer Standardabweichung von  $\pm 5,7$ . Die obere Abbildung zeigt einen beispielhaften Verlauf der NMB unter closed-loop-Bedingungen. Unten ist in analoger Weise der zeitliche Verlauf des BIS unter Regelungsbedingungen dargestellt.



### DISKUSSION

Das eingesetzte System zur Kombi-Regelung der Narkosetiefe und der NMB konnte bei akzeptablem technischem Aufwand in die klinische Anästhesie integriert werden. Die automatisierte Narkotikagabe bewirkte eine hohe Genauigkeit beim Erreichen der festgelegten Zielparameiter ohne externe Intervention.

Die Konzeption der beiden verwendeten Regelungsansätze entspricht den klinischen

Anforderungen und den speziellen Erfordernissen in einem hoch variablen biologischen System.

Die integrierten Plausibilitätskontrollen berücksichtigen die multiplen intraoperativen Störgrößen wie Blutverlust, Volumen- und pH-Wert-Verschiebungen, Hypothermie sowie mechanische und elektrische Interferenzen in ausreichender Weise.

Das verwendete Analgesiekonzept mit supplementierter Katheterperiduralanästhesie und dem Einsatz des ultrakurzwirksamen Opioids Remifentanyl ermöglicht auch ohne derzeitige Berücksichtigung der Analgesiekomponente im anästhesiologischen Regelungskonzept eine potente intraoperative Schmerzausschaltung ohne die Gefahr eines Opioidüberhangs zum OP-Ende.

Das eingesetzte System bietet eine praktikable Unterstützung und Entlastung des klinischen Anästhesisten bei der Narkoseführung. Eine Optimierung und Verkleinerung der technischen Plattform ist derzeit in Arbeit und würde die breitere Einführung und Evaluation des Systems in der klinischen Routine begünstigen. Möglicherweise ergeben sich durch die automatisierte Applikation von narkoserelevanten Medikamenten Optimierungen des Medikamentenverbrauchs oder die Senkung des Risikos für intraoperative Awareness.

## SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die vorliegende Arbeit demonstriert die hohe Genauigkeit des vorgestellten Systems bei der Realisierung der genannten Zielparameter. Das System erlaubt eine klinisch praktikable nahezu völlig automatisierte Narkotikaapplikation während mittellanger chirurgischer Eingriffe.

## DANKSAGUNG

Die Arbeit wurde durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG gefördert.

## LITERATURHINWEISE

[Simanski2006]

Simanski O in Kovacic Z, Bogdan S: Fuzzy controller design: theorie and applications, Taylor and Francis, 2006