

Identifizierbarkeit und Parameter Identifizierung in einem alveolaren Rekrutierungsmodell für die Atemmechanik

C. Schranz, K. Möller

Hochschule Furtwangen, Villingen-Schwenningen, Deutschland

P. D. Docherty, Y. S. Chiew, J. G. Chase

University of Canterbury, Christchurch, Neuseeland

Einleitung

Simulationen von patientenspezifischen, mathematischen Modellen der Atemmechanik können die Auswirkungen verschiedener Beatmungseinstellungen auf den Patienten vorhersagen. Dadurch können für Patienten mit ARDS (Acute Respiratory Distress Syndrome) [1] individuelle, lungenschonende Beatmungseinstellungen ermittelt werden. Der Patientenzustand ist dabei zeitlich veränderlich und erfordert daher eine Individualisierung der Modelle direkt am Krankenbett des Patienten, um stets eine bestmögliche Übereinstimmung zwischen Patient und Modell zu garantieren. Dafür müssen die Modelle einfach zu berechnen sein, müssen die relevanten Effekte der Atemmechanik in einem bestimmten Krankheitsbild erfassen und dann mit den verfügbaren Messsignalen (Atemwegsdruck und Beatmungsfluss) identifizierbarkeit garantieren.

Methodik

Ein kürzlich entwickeltes druckabhängiges Rekrutierungsmodell basierend auf Hicklings Rekrutierungsmechanismus für ARDS [2] wird im ersten Schritt mit Hilfe eines Computer-Algebra Programms (Differential Algebra for Identifiability of Systems – DAISY [3]) auf seine strukturelle Identifizierbarkeit geprüft [4]. Dabei wird sichergestellt, dass die Parameter Identifizierung mit den verfügbaren Signalen eine eindeutige Lösung besitzt. Mit Hilfe von klinischen Daten einer ARDS Studie mit 12 Patienten wurde das Modell mittels gradienten-basierter Parameter Identifizierung individualisiert. Im Anschluss wurden die ermittelten Modellparameter auf ihre praktische Identifizierbarkeit untersucht. Dazu stellt man die Fehleränderungsrate im Bereich des ermittelten Fehlerminimums als Funktion einzelner Modellparameter graphisch dar.

Resultate

Das Rekrutierungsmodell ist lauffähig DAISY strukturell identifizierbar. Die identifizierten Parameter sind physiologisch plausibel und in der Lage, die gemessenen Druckantworten der ARDS Patienten mit hoher Genauigkeit zu reproduzieren. Der durchschnittliche Fehler beträgt 1.84% [IQR: 1.77% – 2.18%]. Die praktische Identifizierbarkeitsanalyse zeigt jedoch für einige Patienten unzureichende Konvexität in der Fehlerfunktion, die auf fehlenden Informationsgehalt in den Messdaten hindeutet.

Diskussion

Die individualisierten Rekrutierungsmodelle können die beobachtete Dynamik von ARDS Patienten erfassen. Obwohl strukturelle Identifizierbarkeit des Modelles vorliegt, ist die praktische Identifizierbarkeit stark von der Qualität der Daten abhängig. Fehlender Informationsgehalt zeigt sich durch weite und flache Fehlerrends. Gradientenverfahren terminieren sobald diese flachen Regionen erreicht werden und resultieren in Parameterwerten die entsprechend weit vom wahren Fehlerminimum entfernt liegen können. Um erfolgreiche Parameter Identifizierung zu garantieren, ist es wichtig, Anforderungen an die Messdaten zu definieren. Damit lassen sich geeignete Experimente entwerfen, welche dann die benötigten Informationen hervorbringen.

Konklusion

Das druckabhängige Rekrutierungsmodell ermöglicht modellgestützten Einblick in die Atemmechanik von ARDS Patienten. Jedoch stellt die Parameter Identifizierung hohe Ansprüche an die Datenqualität.

Referenzen

1. Gattinoni L, Caironi P, Cressoni M, Chiumello D, Ranieri VM, Quintel M, Russo S, Patroniti N, Cornejo R, Bugeo G: **Lung recruitment in patients with the acute respiratory distress syndrome.** *N Engl J Med* 2006, **354**(17):1775-1786.
2. Hickling KG: **The pressure-volume curve is greatly modified by recruitment. A mathematical model of ARDS lungs.** *Am J Respir Crit Care Med* 1998, **158**(1):194-202.
3. Bellu G, Saccomani MP, Audoly S, D'Angio L: **DAISY: A new software tool to test global identifiability of biological and physiological systems.** *Comput Methods Prog Biomed* 2007, **88**(1):52-61.
4. Schranz C, Docherty PD, Chiew YS, Chase JG, Möller K: **A Time-Continuous Model of Respiratory Mechanics of ARDS Patients.** In: *World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering: 2012; Beijing, China*: Springer; 2012: 2166–2169.