

**10. Workshop
Automatisierungstechnische
Verfahren für die Medizin vom
29. bis 30. März 2012 in Aachen**



**„Vergleich von drei parametrischen Atemmodellen
basierend auf der Rekonstruktionsgüte des
transdiaphragmalen Drucks“**

Kristel Lopez-Navas, Eva Rother, Merle Strutz, Ullrich Wenkebach
Labor für Medizinsysteme, Fachhochschule Lübeck, Lübeck, Deutschland
E-Mail: lopez-navas@fh-luebeck.de

Copyright: VDI Verlag GmbH
Band: Fortschritt-Bericht VDI Reihe 17 Nr. 286 „Automatisierungstechnische
Verfahren für die Medizin“
Editors: Prof. Dr.-Ing. Dr. med. Steffen Leonhardt, Prof. Dr.-Ing. Dirk Abel, Prof. Dr.-
Ing. Klaus Radermacher, Christian Brendle, Henry Arenbeck, Kurt Gerlach-
Hahn, Kirsa Dannenberg
ISBN: 978-3-18-328617-1
Pages: 18-19

Vergleich von drei parametrischen Atemmodellen basierend auf der Rekonstruktionsgüte des transdiaphragmalen Drucks

Kristel Lopez-Navas, Eva Rother, Merle Strutz, Ullrich Wenkebach
Labor für Medizinsysteme, Fachhochschule Lübeck, Lübeck, Deutschland
Kontakt: lopez-navas@fh-luebeck.de

Einleitung

Die Abschätzung der Atemarbeit bei beatmeten nicht-sedierten Patienten ist essenziell, um eine geeignete Unterstützung der Spontanatmung zu gewährleisten. Besonders bei Abwesenheit von Arzt und Pflegepersonal, beispielsweise im Home Care Bereich, ist es vorteilhaft, wenn sich das Beatmungsgerät angemessen, eigenständig und kontinuierlich an die Bedürfnisse des Patienten anpassen kann. Zur Erkennung dieser Bedürfnisse, müssen die Parameter des respiratorischen Systems identifiziert werden. Hierfür finden verschiedene Atemmodelle und Algorithmen Anwendung.

Methoden

Die Atemsignale von zwei gesunden Probanden wurden, mit Hilfe des Identifikationsmodells OE (Output Error) und drei aktuellen Atemmodellen, verwendet, um die Parameter des respiratorischen Systems zu bestimmen.

Das bekannteste Modell, das RC-Modell, besteht aus dem Widerstand (R) und dem Kehrwert der Elastizität, der Compliance (C). Wird auch die Trägheit (I) berücksichtigt erhält man das RIC-Modell. 2004 haben Woo et al [1] das extended RIC-Modell (eRIC) präsentiert, welches einen zusätzlichen peripheren Widerstand (R_p) parallel zur Compliance (C) aufweist. 2009 folgte das augmented RIC-Modell (aRIC) [2]. Dieses besitzt außerdem eine extrathorakale Compliance (C_e), welche parallel zum eRIC geschaltet ist. Da bei den hier verwendeten niedrigen Frequenzen ($<1\text{Hz}$) die Trägheit wesentlich kleiner als die anderen Parameter ist, wird sie im weiteren Verlauf vernachlässigt. Daraus resultieren die Modelle extended RC (eRC) und augmented RC (aRC).

Um die einzelnen Parameter von RC, eRC und aRC zu bestimmen, wird das OE-Modell (s. Abb.1) verwendet.

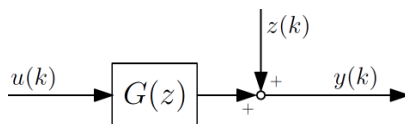


Abb.1: Modellstruktur OE

Die Übertragungsfunktion $G(z)$ ist beim respiratorischen System die Gesamtimpedanz Z . Als Eingangsgröße $u(k)$ dient der Flow V' und als Ausgangsgröße $y(k)$ die Summe aus Atemwegsdruck (P_{aw}) und transdiaphragmalem Druck (P_{di}). Die unabhängige Störung $z(k)$ tritt z.B. als Rauschen auf. Die Gesamtimpedanz kann als Übertragungsfunktion $Z=(P_{aw}+P_{di})/V'$ für die einzelnen Modelle bestimmt werden.

Des Weiteren kann die Gesamtimpedanz der Modelle mit Hilfe der Laplace-Transformierten beschrieben werden:

$$G_{RC}(s) = \frac{1 + sRC}{sC}$$

$$G_{eRC}(s) = \frac{sC_p RR_p + R + R_p}{sC_p R_p + 1}$$

$$G_{aRC}(s) = \frac{R + R_p + sRR_p C_p}{1 + s(RC_e + R_p C_e + R_p C_p) + s^2(RR_p C_e C_p)}$$

Die s-Transformierte wird dann über ein Halteglied nullter Ordnung in die z-Ebene transformiert: $s = (1 + z^{-1})/T$ wobei T=Abtastrate.

Nach der Transformation wird $G(z)$ in die allgemeine Form überführt:

$$G(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_m z^{-m}}{1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_n z^{-n}}$$

mit den modellspezifischen Werten für das RC-Modell:

$$b_0 = \frac{T + RC}{C}, \quad b_1 = -R, \quad a_1 = -1;$$

für das eRC-Modell:

$$b_0 = \frac{C_p RR_p + RT + R_p T}{C_p R_p + T}, \quad b_1 = \frac{-C_p RR_p}{C_p R_p + T}$$

$$a_1 = \frac{-C_p R_p}{C_p R_p + T};$$

und für das aRC-Modell:

$$b_0 = \frac{T(TR + TR_p + RR_p C_p)}{k_{aRC}}, \quad b_1 = \frac{-TRR_p C_p}{k_{aRC}}$$

$$a_1 = \frac{-(TRC_e + TR_p C_e + TR_p C_p + 2RR_p C_e C_p)}{k_{aRC}},$$

$$a_2 = \frac{RR_p C_e C_p}{k_{aRC}} \quad \text{mit}$$

$$k_{aRC} = T^2 + TRC_e + TR_p C_e + TR_p C_p + RR_p C_e C_p$$

Aus diesen Formeln werden dann modellspezifisch die Parameter des respiratorischen Systems errechnet.

Zum Vergleich der Modelle untereinander werden zunächst aus den Probandendaten die Parameter für alle drei Modelle identifiziert. Für die anschließende Rekonstruktion des Pdi sind die Modelle als Systeme zu betrachten, die der Flow als Eingangsgröße passiert. Die rekonstruierten Drücke (rPdi), als Ausgangsgrößen, werden einem Vergleich mit dem gemessenen Druck unterzogen. Hierzu werden zwei Größen berechnet: Der PTPinsp (Pressure-Time-Product in der Inspiration), welcher die Fläche unter der Druckkurve darstellt und die Chi-Quadrat-Statistik (χ^2), die ein Maß für die Übereinstimmung der Messdaten mit dem Modell darstellt.

Ergebnisse

Insgesamt 168 Atemzüge wurden analysiert. Die geschätzten Parameter sind als Mittelwert(SD) in Tabelle 1 aufgeführt (R, R_p in [mbar/l/s]; C, C_c in [ml/mbar]).

Tab. 1: Geschätzte Parameter

Model	Parameter	Proband 1	Proband 2
RC	R	4.59 (0.60)	5.98 (1.91)
	C	75.21 (6.78)	126.93 (24.57)
eRC	R	4.59 (0.60)	5.98 (1.91)
	C	75.72 (6.39)	128.39 (23.95)
	R _p	-4.39E6 (4.31E6)	-2E6 (2.56E6)
aRC	R	5.69 (2.03)	6.53 (3.19)
	C	71.74 (14.05)	128.87 (31.66)
	R _p	-2.61E6 (4.15E6)	-1.88E6 (4.25E6)
	C _c	6.79 (9.08)	6.82 (11.88)

Aus den einzelnen Parameter wird der Pdi rekonstruiert, wie als Beispiel Abbildung 1 zeigt.

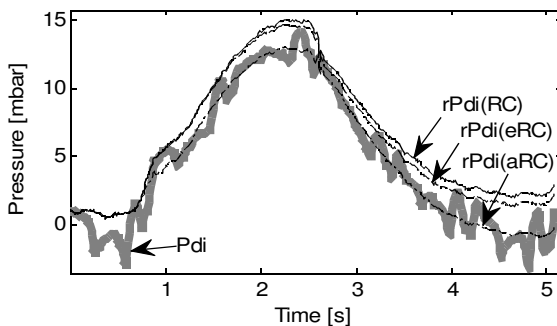


Abb. 1: Rekonstruktion des Pdi aller Modelle

Der PTPinsp wurde aus dem realen Pdi und den Rekonstruktionen für jeden Atemzug berechnet. Abbildung 2 zeigt einige erhaltene Werte. Abbildung 3 zeigt ein Bland-Altman Diagramm mit weiteren PTPinsp Werten.

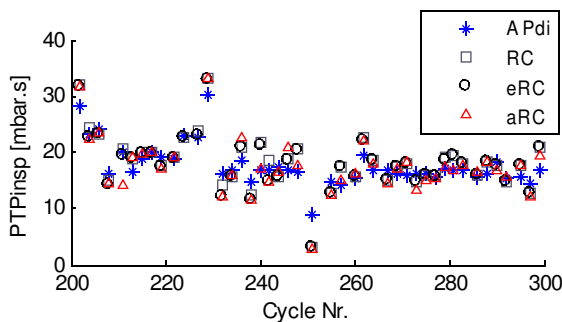


Abb. 2: PTPinsp-Werte für Proband 1

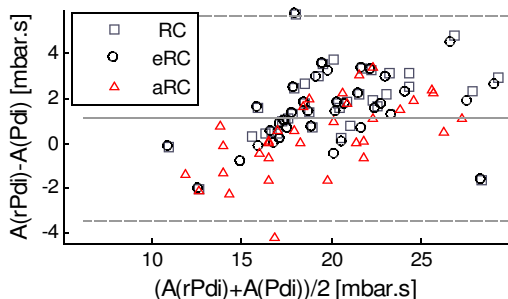


Abb. 3: Bland-Altman Diagramm der PTPinsp-Werte von Proband 2 (A=PTPinsp)

Bei einigen Atemzügen hat das Auftreten von Ausreißern in der Parameterbestimmung die Rekonstruktion verhindert. Die Zahl der erfolgreichen Rekonstruktionen des Pdi (P found) wird in Abbildung 4 dargestellt.

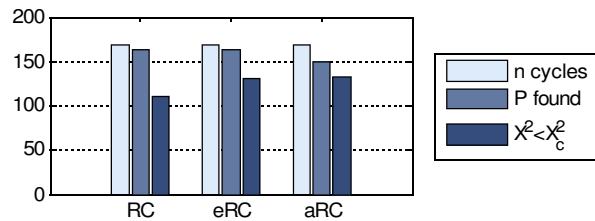


Abb. 4: Vergleich der Rekonstruktionsgüte

Diskussion

Die Werte von R und C sind zufriedenstellend und liegen im Bereich dessen, was für einen gesunden Probanden zu erwarten ist. Die unrealistischen Werte von R_p deuten eine Überparametrisierung von eRC und aRC an, welche sich durch die hohe Varianz von C_c (aRC) bestätigt.

Klinisch relevant ist der PTPinsp, welcher der Atemarbeit der Inspiration entspricht. Die Korrelation zwischen dem realen und den rekonstruierten PTPinsp ist für alle Modelle ähnlich und akzeptabel (R²-Werte: Proband1: 0.73(RC), 0.71(eRC) und 0.72(aRC), Proband2: 0.83(RC), 0.79(eRC) und 0.89(aRC)).

Das aRC-Modell zeigt am meisten Ausreißer (~10%) im Vergleich zu RC und eRC (~4%). Andererseits ist die Anzahl der Atemzüge, bei welchen die Rekonstruktion mit dem realen Pdi ausreichend übereinstimmt ($\chi^2 < \chi^2_c$, $\alpha=0.05$), am höchsten bei aRC (88%) gefolgt von eRC(80%) und RC(67%).

Schlussfolgerungen

Die komplexeren Modelle eRC und aRC führen, im Vergleich zum RC-Modell, zu einer exakteren Rekonstruktion des realen Pdi und damit zu einem besseren Verständnis der Muskelarbeit. Jedoch ist hier das Risiko von Ausreißern höher.

Literatur

- [1] WOO T. ; DIONG, B. *et. al.* Comparison of Various Respiratory System Models Based on Parameter Estimates From Impulse Oscillometry Data. In: *Proceedings of the 26th Annual International Conference of the IEEE EMBS*. San Francisco, USA, September 2004
- [2] DIONG, B. ; RAJAGIRI, A. ; GOLDMANN, M. ; NAZERAN, H.: The augmented RIC model of the human respiratory system. In: *Med Biol Eng Comput*, 2009, Nr.47, S.395-404

Danksagung

Wir bedanken uns für die Unterstützung der Europäischen Union und des Landes Schleswig-Holstein im Rahmen des Zukunftsprogramm Wirtschaft: 122-09-024, ebenso bei Dr. D. Weismann und PD Dr. H. Reissmann für die Bereitstellung von Probandendaten.