

Validierung der kontinuierlichen nicht-invasiven Blutdruckmessung mittels Puls-Transit-Zeit

Ein Vergleich mit der invasiven Blutdruckmessung bei Patienten einer kardiologischen Intensivstation

Validation of continuous blood pressure measurements by pulse transit time: a comparison with invasive measurements in a cardiac intensive care unit

Autoren

S. Bartsch¹ D. Ostojic¹ H. Schmalgemeier¹ T. Bitter¹ N. Westerheide² S. Eckert¹
D. Horstkotte¹ O. Oldenburg¹

Institut

¹ Kardiologische Klinik, Herz- und Diabeteszentrum NRW, Universitätsklinikum der Ruhr-Universität Bochum, Bad Oeynhausen
² Lehrstuhl für Statistik, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der Universität Bielefeld

Hypertensiologie

Schlüsselwörter

- ▶ Blutdruckmessung
- ▶ Puls-Transit-Zeit
- ▶ Monitoring
- ▶ kardiologische Intensivstation

Keywords

- ▶ blood pressure measurement
- ▶ pulse transit time
- ▶ arterial pressure monitoring
- ▶ cardiac intensive care unit

eingereicht 13.7.2010
akzeptiert 18.11.2010

Bibliografie

DOI 10.1055/s-0030-1269408
Dtsch Med Wochenschr 2010;
135: 2406–2412 · © Georg
Thieme Verlag KG Stuttgart ·
New York · ISSN 0012-0472

Korrespondenz

PD. Dr. med. Olaf Oldenburg
Kardiologische Klinik
Herz- und Diabeteszentrum NRW
Universitätsklinikum
Ruhr-Universität Bochum
Georgstr. 11
32545 Bad Oeynhausen
Tel. 05731/97-1258
Fax 05731/97-2194
eMail akleemeyer@hdz-nrw.de

Zusammenfassung



Hintergrund und Fragestellung: Als Alternative zum Goldstandard der blutigen, invasiven Blutdruckmessung steht die nicht-invasive Messung mittels Puls-Transit-Zeit zur Verfügung. In der vorliegenden Studie wurden die beiden Methoden miteinander verglichen, um die Eignung der Puls-Transit-Zeit-Messung bei Patienten mit kardiologischen Grundkrankheiten zu prüfen.

Patienten und Methodik: Bei 40 Patienten (29 Männer; $68,7 \pm 15$ Jahre) einer kardiologischen Intensivstation wurde der Blutdruck mittels Puls-Transit-Zeit und invasiv für eine Stunde synchron und kontinuierlich registriert. Alle 30 Sekunden wurden die Ergebnisse beider Messungen ausgewertet und miteinander verglichen (je 9600 Messpunkte).

Ergebnisse: Die Ergebnisse beider Messungen waren weder in der Gesamtgruppe noch in Subgruppen statistisch signifikant verschieden. Allerdings war die Anzahl der auswertbaren Messergebnisse bei der invasiven Blutdruckmessung signifikant höher: Mittels invasiver Messung konnten für den systolischen Blutdruck in 99,2%, für den diastolischen Blutdruck in 99,1% der Fälle ein Messwert erhoben werden; mittels Puls-Transit-Zeit nur in 85,8% bzw. 85,9% der Fälle ($p < 0,001$).

Folgerung: Die nicht-invasive, kontinuierliche Blutdruckmessung mittels Puls-Transit-Zeit liefert über einen Zeitraum von 60 Minuten im Vergleich zur blutigen, invasiven Messung analoge Werte. Allerdings scheint die Messung mittels Puls-Transit-Zeit störanfälliger zu sein, was sich in fehlenden Messwerten äußert.

Einleitung



Trotz sinkender Todesfälle durch Herz-Kreislauf-Erkrankungen in Deutschland sind kardiovaskuläre Erkrankungen nach wie vor die häufigste Todesursache in den westlichen Industrienationen. Bluthochdruck ist ein entscheidender Risikofaktor für kardiovaskuläre Erkrankungen und deren Spätfolgen. Eine verlässliche Blutdruckmessung ist daher Voraussetzung für die Diagnose und Therapie des Bluthochdrucks [14, 18]. Im klinischen Alltag hat sich die Blutdruckmessung am Oberarm nach Riva Rocci und Korotkow bewährt [7, 18, 23]. Der Nachteil liegt darin, dass es sich um ein nicht-kontinuierliches Verfahren handelt.

Neuere Untersuchungen zeigen, dass die ambulante Blutdruckmessung eine zuverlässigere Vorhersage kardiovaskulärer Erkrankungen erlaubt als die in der Klinik oder Praxis durchgeführten Messungen [6, 7, 8, 11]. Der nächtliche Blutdruck und insbesondere der vorhandene oder nicht-vorhandene nächtliche Abfall des systolischen

Blutdrucks erlauben Rückschlüsse über das kardiovaskuläre Risiko [6, 7]. Blutdruckmessungen am Oberarm führen jedoch zu Störungen des Schlafes und der Schlafarchitektur, daher erscheint insbesondere in der Schlafmedizin diese Methode ungeeignet zu sein und kann zu verfälschten Messwerten führen [5, 22].

Die Blutdruckmessung mittels Puls-Transit-Zeit (PTZ) ist an gesunden Probanden inzwischen gut untersucht [2, 9, 10, 21, 25]. Hierbei wird mittels EKG-Ableitung die „R“-Zacke detektiert und als Beginn einer Pulswelle festgelegt. Peripher wird über den Fingerclip einer Photoplethysmographie (PPG) das Eintreffen der Pulswelle erfasst [1]. Mit dieser PTZ [17] kann die Pulswellengeschwindigkeit (PWG) errechnet werden. Diese hängt von der Wandspannung der Gefäße ab und ist bei hoher Wandspannung größer als bei niedriger [3]. Aufgrund der elastischen Eigenschaften der Gefäßwände liegt bei niedrigem Blutdruck

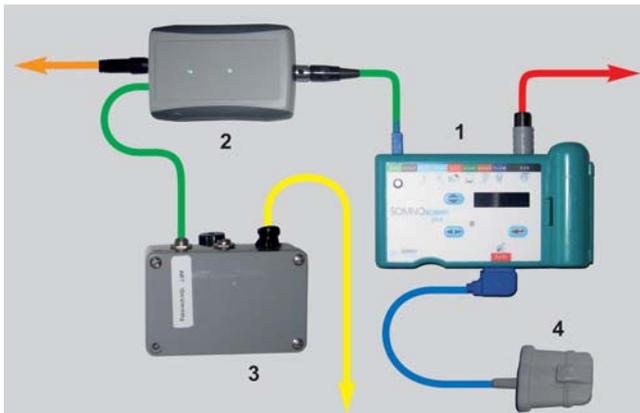


Abb. 1 Verwendete Messgeräte: (1) SOMNOscreen Plus, (2) Optokoppler, (3) Kabeladapter, (4) Finger-PPG, EKG-Ableitung (rot), Anschluss zum Patientenmonitor (gelb), Verbindungskabel (grün/blau), externe Stromversorgung (orange).

eine geringe, bei hohem Blutdruck eine hohe Wandspannung vor [4, 13]. So erhält man über die PWG indirekt eine Aussage über den aktuellen Blutdruck. Da jede Pulswelle erfasst wird, ist eine kontinuierliche Schlag-zu-Schlag-Analyse möglich [24].

Insbesondere bei kardiologischen Patienten könnte die Bestimmung der PWG bzw. PTZ erschwert sein: So kann die klare Identifizierung der „R“-Zacke im EKG bei Schenkelblöcken oder Niedervoltage schwierig sein. Ebenso kann bei zentralisiertem Kreislauf oder Hypotonie die Erkennung der peripheren Puls-welle erschwert oder unmöglich sein. Ferner ist unklar, ob die zugrunde liegenden Algorithmen auch für extreme Blutdruckwerte oder bei Arrhythmien valide Werte liefern.

Ziel dieser Studie war es, die Blutdruckmessung mittels PTZ bei Patienten mit diesen Grunderkrankungen zu untersuchen. Als Goldstandard wurde parallel der invasiv gemessene Blutdruck aufgezeichnet und als Referenz herangezogen [12].

Patienten und Methodik



Patienten

Konsekutiv wurden 40 Patienten einer kardiologischen Intensivstation in die Studie aufgenommen. Voraussetzung für einen Studieneinschluss war eine invasive (blutige) Blutdruckmessung. Zur weiteren Auswertung wurden diese Patienten in drei Gruppen unterteilt:

- ▶ Gruppe 1: Patienten, die keine Erregungsbildungs- und Erregungsausbreitungsstörungen zeigten und zu Beginn der Untersuchung nicht hypotensiv (systolisch ≥ 100 mm Hg) waren.
- ▶ Gruppe 2: Patienten, die zu Beginn der Untersuchung hypoton waren (systolisch < 100 mm Hg).
- ▶ Gruppe 3: Patienten, die eine Arrhythmia absoluta bei Vorhofflimmern und/oder einen kompletten Schenkelblock (QRS-Dauer ≥ 120 ms) aufwiesen.

Alle Patienten wurden über die Studie aufgeklärt und gaben ihr Einverständnis. Das Studienprotokoll war zuvor von der lokalen Ethikkommission der Ruhr-Universität Bochum genehmigt worden.

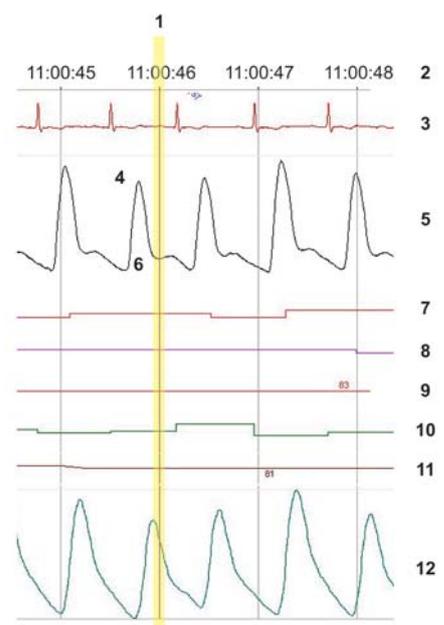


Abb. 2 Beispiel für einen Kurvenverlauf, der zur Kalibrierung und Datenerfassung genutzt wurde. (1) Kalibrierungszeitpunkt, (2) Uhrzeit [hh:mm:ss], (3) EKG-Kurve, (4) zur Kalibrierung genutzter sys inv-BD, (5) inv-BD-Kurve [mm Hg], (6) zur Kalibrierung genutzter dia inv-BD, (7) sys PTZ-BD-Kurve [mm Hg], (8) dia PTZ-BD-Kurve [mm Hg], (9) Sauerstoffsättigung [%], (10) Herzfrequenz [min^{-1}], (11) Pulsfrequenz [min^{-1}], (12) Plethysmographiekurve.

Vorbereitung und Messung

Die Bestimmung der PWG bzw. der PTZ erfolgte mittels SOMNOscreen Plus-System (SOMNOmedics GmbH, Randersacker). Dabei werden Alter, Geschlecht, Gewicht und Größe der Patienten berücksichtigt. Die Messdauer wurde auf eine Stunde mit manuellem Start festgelegt. Als aufzuzeichnende Kanäle wurden EKG, EKG2, Licht, Akku, periphere Sauerstoffsättigung, peripherer Puls, periphere PPG und externer inv-BD festgelegt.

Die Identifizierung der „R“-Zacke erfolgte aus einem 3-Kanal-EKG, die Pulswellenanalyse aus der Finger-PPG. Über eine zusätzliche Schnittstelle wurde zeitsynchron die invasiv gemessene arterielle Pulskurve mit entsprechenden Blutdruckwerten (SC 7000, Siemens AG, München) in das Aufzeichnungsgerät eingespeist. Um Störeinflüsse für Patienten und Aufzeichnung zu vermeiden, wurde ein Optokoppler mit externer Stromversorgung zwischengeschaltet (Abb. 1). Nach 60 Minuten wurde die Messung automatisch beendet. Die aufgezeichneten Daten wurden in die Software (DOMINO; Version 2.2.0, SOMNOmedics GmbH, Randersacker) eingelesen und zunächst automatisch analysiert. Die Blutdruckwerte beider Aufzeichnungen (PTZ und invasive Messung) wurden zeitsynchron als Kurvenverläufe dargestellt (Abb. 2).

Kalibrierung

Zur Berechnung des Blutdrucks mittels PTZ und Ausgabe der Werte in mm Hg war eine einmalige Kalibrierung zu Beginn der Messung notwendig. Hierzu wurde in der arteriellen Blutdruckkurve ein beliebiger Zeitpunkt in einsekündigen Intervallen innerhalb der ersten fünf Minuten der Messung gewählt (Abb. 2). Von diesem Punkt wurde zeitlich zurückgegangen und manuell der erste maximale Wert als systolischer, der erste minimale Wert als diastolischer BD festgelegt.

Auswertung

Zur Datenauswertung wurden die Kanäle EKG, inv-BD, systolischer und diastolischer BD nach PTZ, die periphere Sauerstoffsättigung, Herzfrequenz, Puls und die periphere PPG aufgerufen. Als Ansicht wurde eine duale Zeitbasis gewählt, im oberen Fenster der Kanal für die PTZ-Rohdaten (PTT-Raw) hinzugefügt und die Zeitachse auf 15 Minuten eingestellt. Im Hauptfenster wurde eine Zeitachse von fünf Sekunden gewählt. Die Messpunkte wurden exakt im 30-Sekunden-Abstand festgelegt.

Artefakte und Messfehler

Kam es in der arteriellen Blutdruckkurve zu Schwankungen im Sinne von Blutdruckanstiegen auf Grund vorzeitiger Herzaktionen (postextrasystolische Augmentation), so wurden diese als Artefakte gewertet und nicht berücksichtigt. Es wurden dann die Werte der ersten regulären Herzaktion mit einem normalen Blutdruckmaximum herangezogen.

Statistische Auswertung

Alle Auswertungen erfolgten durch eine unabhängige externe Statistikerin (N. W.). Als signifikant wurde für alle Berechnungen ein p-Wert < 0,05 angenommen.

Da nicht zu jedem Messzeitpunkt Messdaten aus beiden Methoden vorlagen, musste, für die Darstellung mittels Bland-Altman-Plot, zunächst der Mittelwert aus allen vorliegenden Daten für die beiden Messverfahren errechnet werden. Der Durchschnitt der beiden Mittelwerte jedes Patienten ist auf der x-Achse dargestellt. Auf der y-Achse wird die Differenz der beiden Mittelwerte angegeben. Zusätzlich zeigt die durchgezogene Linie die durchschnittliche Abweichung aller Punkte. Die obere und untere gestrichelte Linie geben die doppelte Standardabweichung nach oben und unten von der durchschnittlichen Abweichung an.

Mit einem zweiseitigen approximativen Binomialtest für zwei Stichproben wurde der Anteil erfolgreicher Messungen für systolische und diastolische Werte beider Messverfahren verglichen. Hier wurde der Anteil verwendbarer Beobachtungen von inv-BDM und PTZ-BDM auf einen signifikanten Unterschied überprüft. Ein Vergleich der Höhe der Messwerte erfolgte mit einem „Mixed-effects model for replicated, blocked designs“. Hierfür wurden die systolischen und diastolischen Messwerte innerhalb der Patientenkollektive verglichen und separat modelliert. Mittels „Likelihood-Ratio-Test“ wurde ein Vergleich zwischen einem Modell ohne und mit Interaktion zwischen Patienten und Messmethode durchgeführt. In allen Fällen ist das Modell mit Interaktion dem ohne vorzuziehen. Das bedeutet, dass die Modellierungen zufällige Effekte auf zwei Ebenen berücksichtigen (1. Effekte für die Patienten und 2. Effekte für die Art der Methode innerhalb jedes Patienten). Als fixer Effekt wurden die Messmethoden (inv- und PTZ-BDM) betrachtet. Alle Berechnungen erfolgten mit dem Programm „R: A Language and Environment for Statistical Computing“ mit den Paketen „nlme“ (für das Mixed-effects Modell) und „ResearchMethods“ (für die Bland-Altman Plots) (R Development Core Team, R Foundation for Statistical Computing, Wien, Österreich, 2010, <http://www.R-project.org>, letzter Zugriff: 02.05.2010) in der Version 2.9.2).

Ergebnisse

Bei 480 Messpunkten pro Patient (120 je Methode sowie für jeweils systolische und diastolische Werte) ergeben sich bei 40

Tab. 1 Klinische und demographische Angaben. Anzahl (Prozent) bzw. Mittelwert und Standardabweichung.

Parameter	gesamt	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3
Patientenzahl	40 (100%)	10 (25%)	8 (20%)	22 (55%)
Männer	29 (72,5%)	9 (90,0%)	6 (75,0%)	14 (63,6%)
Frauen	11 (27,5%)	1 (10,0%)	2 (25,0%)	8 (36,4%)
Alter (Jahre)	68,7 ± 15,0	64,7 ± 16,9	61,5 ± 21,8	73,1 ± 9,3
BMI (kg/m ²)	26,6 ± 5,4	28,5 ± 7,0	24,2 ± 2,9	26,5 ± 4,8

Tab. 2 Anzahl verwertbarer Messungen. Abkürzungen s. Glossar.

Parameter	gesamt (4800;100%)	Gruppe 1 (1200;100%)	Gruppe 2 (960;100%)	Gruppe 3 (2640;100%)
<i>Systolischer BD</i>				
inv-BDM	4755 (99,06%)	1194 (99,50%)	954 (99,38%)	2607 (98,75%)
PTZ-BDM	4136 (86,17%)	1145 (95,42%)	731 (76,15%)	2260 (85,61%)
p-Wert	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
<i>Diastolischer BD</i>				
inv-BDM	4752 (99,00%)	1194 (99,50%)	953 (99,27%)	2605 (98,67%)
PTZ-BDM	4137 (86,19%)	1145 (95,42%)	731 (76,15%)	2261 (85,64%)
p-Wert	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

Tab. 3 Analyse der Blutdruckwerte mittels invasiver Blutdruckmessung (inv-BD) und Puls-Transit-Zeit-Messung (PTZ-BD). Angegeben sind Mittelwerte und Standardabweichung.

Parameter	gesamt	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3
systolischer inv-BD, mm Hg	118,4 ± 22,1	126,7 ± 12,5	91,2 ± 18,9	124,6 ± 18,7
systolischer PTZ-BD, mm Hg	117,2 ± 28,5	127,2 ± 11,4	85,5 ± 18,6	124,1 ± 28,8
p-Wert systolische Werte	0,5131	0,8382	0,1396	0,763
diastolischer inv-BD, mm Hg	57,1 ± 10,9	63,3 ± 10,9	48,3 ± 9,7	57,5 ± 9,0
diastolischer PTZ-BD, mm Hg	58,7 ± 14,0	66,2 ± 7,8	54,7 ± 14,1	56,7 ± 14,9
p-Wert diastolische Werte	0,3812	0,2191	0,1253	0,8713

eingeschlossenen Patienten 19200 Messpunkte. Die klinischen und demographischen Daten der Patienten sind in **Tab. 1** wiedergegeben.

Anzahl verwertbarer Messungen

Die Zahl verwertbarer Messungen für invasiv gemessene systolische und diastolische Werte war nahezu identisch. Gleiches gilt für die verwertbaren systolischen und diastolischen PTZ-Messungen. Ein Vergleich beider Methoden zeigt jedoch einen signifikanten Unterschied in der Anzahl gemessener Daten, die inv-BDM lieferte signifikant mehr Ergebnisse als die PTZ-BDM (**Tab. 2**).

Messfehler traten fast immer gleichzeitig für systolische und diastolische Werte auf. Dreizehn Patienten zeigten bei mehr als 10% (mehr als 12 Artefakte) der Messungen Fehlermeldungen, bei sieben Patienten kam es sogar in 25% (mehr als 30 Artefakte) der Messungen zu fehlenden Ergebnissen. In beiden Fällen trifft dies auf einen Patienten aus Gruppe 1 und auf drei aus Gruppe 2 zu. In Gruppe 3 sind es neun Patienten mit einer Fehlerquote von 10% und drei mit 25% Artefakten.

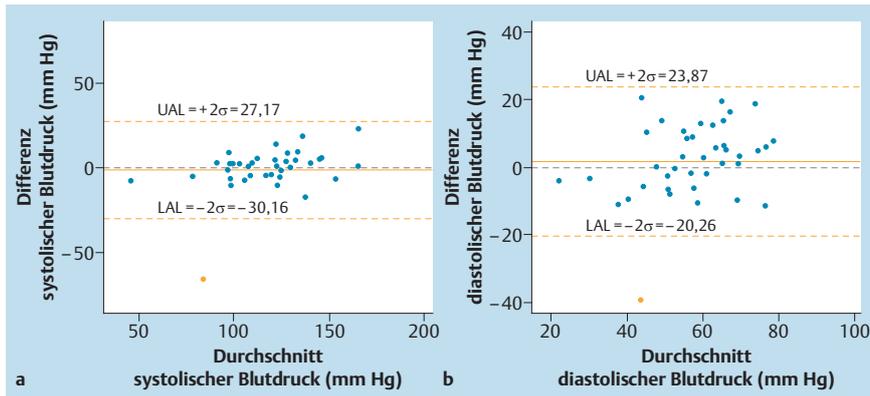


Abb. 3 Differenzen zwischen invasiv und mittels Puls-Transit-Zeit-Messung bestimmten Blutdruckwerten in der Gesamtgruppe (n = 40). **a** systolische Werte, **b** diastolische Werte. Die Blutdruckwerte in mmHg (x-Achse) ergeben sich jeweils aus dem Mittelwert der mit beiden Methoden gemessenen Durchschnittswerte jedes Patienten.

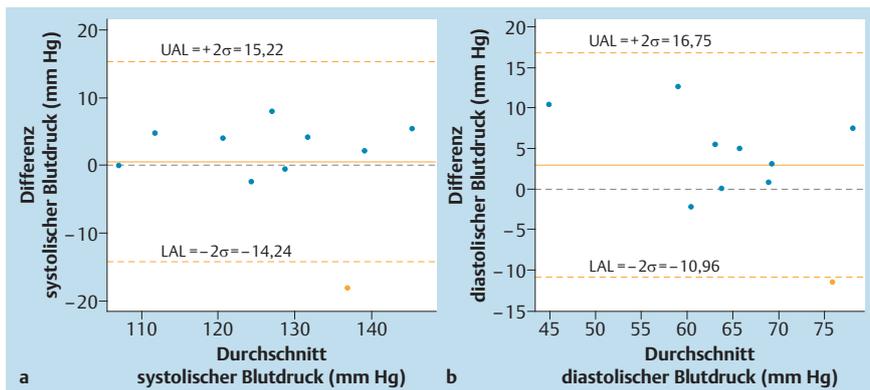


Abb. 4 Differenzen zwischen invasiv und mittels Puls-Transit-Zeit-Messung bestimmten Blutdruckwerten in Gruppe 1 (keine Erregungsbildungsstörung, keine Hypotonie; n = 10). **a** systolische Werte, **b** diastolische Werte. Die Blutdruckwerte in mmHg (x-Achse) ergeben sich jeweils aus dem Mittelwert der mit beiden Methoden gemessenen Durchschnittswerte jedes Patienten.

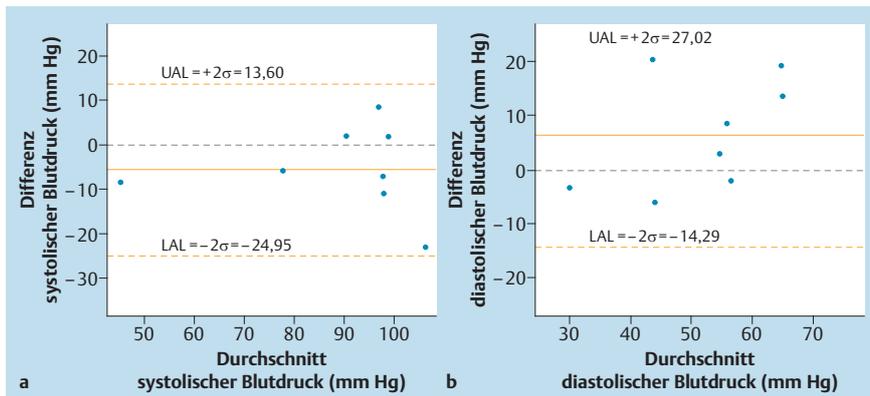


Abb. 5 Differenzen zwischen invasiv und mittels Puls-Transit-Zeit-Messung bestimmten Blutdruckwerten in Gruppe 2 (mit Hypotonie, n = 8) **a** systolische Werte, **b** diastolische Werte. Die Blutdruckwerte in mmHg (x-Achse) ergeben sich jeweils aus dem Mittelwert der mit beiden Methoden gemessenen Durchschnittswerte jedes Patienten.

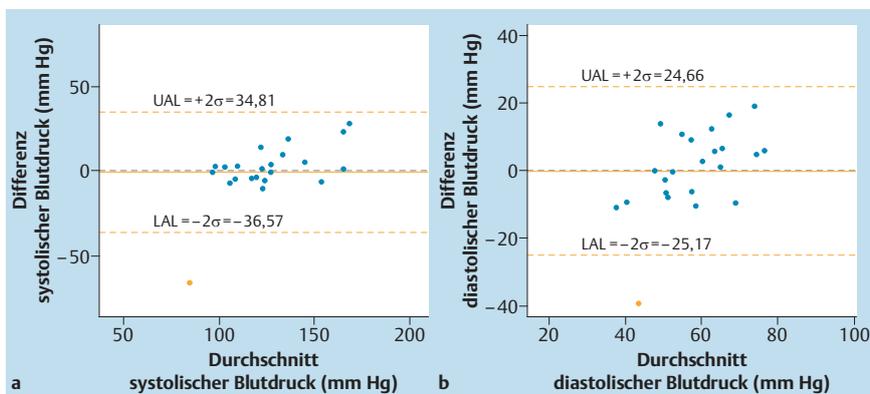


Abb. 6 Differenzen zwischen invasiv und mittels Puls-Transit-Zeit-Messung bestimmten Blutdruckwerten in Gruppe 3 (Arrhythmia absoluta, Herzschenkelblock, n = 22) **a** systolische Werte, **b** diastolische Werte. Die Blutdruckwerte in mmHg (x-Achse) ergeben sich jeweils aus dem Mittelwert der mit beiden Methoden gemessenen Durchschnittswerte jedes Patienten.

Messergebnisse

Innerhalb der betrachteten Gruppen gab es keinen signifikanten Unterschied in den Blutdruckmessergebnissen zwischen beiden Messmethoden. Tendenziell lassen sich Unterschiede allenfalls in Gruppe 2 vermuten, hier sind die Differenzen am größten (Tab. 3).  **Abb. 3–6** zeigen die Differenzen zwischen invasiv

und mittels Puls-Transit-Zeit-Messung bestimmten Blutdruckwerten in der Gesamtgruppe sowie in den Gruppen 1–3. Die Bland-Altman-Plots für systolische und diastolische Messwerte verdeutlichen die geringe durchschnittliche Abweichung der beiden Messmethoden voneinander. Mehr als 95% der Differenzwerte liegen innerhalb der Übereinstimmungslinien.

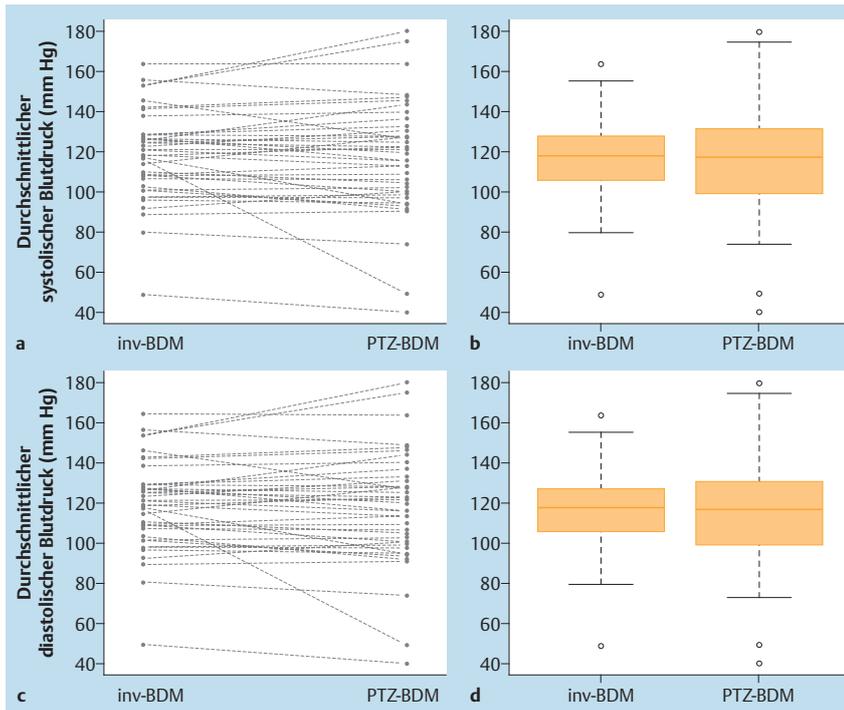


Abb. 7 Vergleich zwischen invasiv (inv-BDM) und mittels Puls-Transit-Zeit-Messung (PTZ-BDM) bestimmten Blutdruckwerten in der Gesamtgruppe (n = 40).

a Durchschnittliche systolische Blutdruckwerte.
b Box-Whisker-Plot systolischer Blutdruckwerte.
c Durchschnittliche diastolische Blutdruckwerte.
d Box-Whisker-Plot diastolischer Blutdruckwerte

Die Interaktionsplots (▶ **Abb. 7 a, c**) zeigen die durchschnittlich gemessenen Blutdruckwerte jedes Patienten für die invasive und die PTZ-Blutdruckmessung. Bei einem Patienten ergab sich eine besonders große Differenz. Es handelt sich um einen Patienten aus Gruppe 3 (Erregungsleitungsstörungen). In diesem Fall bestand eine permanente ventrikuläre Schrittmacherstimulation über eine unipolare Elektrode. Dies führt zu Veränderungen des QRS-Komplexes im EKG, was eine exakte automatische Identifizierung der R-Zacke erschwert.

Die Box-Whisker-Plots (▶ **Abb. 7 b, d**) geben Aufschluss über die Verteilung der Blutdruckmittelwerte und deren Streubreite.

Diskussion

Unsere Studie untersucht erstmalig die Validität einer kontinuierlichen BDM mittels PTZ unter klinischen Gesichtspunkten auf einer kardiologischen Intensivstation. Gegenüber dem Goldstandard einer invasiven (blutigen) Messung zeigten sich über einen Zeitraum von 60 Minuten keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Höhe der gemessenen systolischen und diastolischen BD-Werte in der Gesamtgruppe und den drei Unterguppen. Die Anzahl der verfügbaren PTZ-Messungen war jedoch insgesamt geringer. Dieses trifft insbesondere bei Patienten mit hypotonen Blutdruckwerten (systolischer Blutdruck < 100 mm Hg) zu.

Eine kontinuierliche, nicht-invasive Blutdruckmessung birgt ein großes Potential für verschiedenste klinisch-diagnostische Anwendungen. Einige Autoren favorisieren die Bestimmung der PWG mittels einer proximalen und einer distalen PPG [15,26], andere nutzen die Detektion der „R“-Zacke im EKG [2,9,10,17,19,20,21,24,25]. Statt der PTZ bestimmten Foo et al. [9] die vaskuläre Transitzeit (VTT). Sie dauert vom Öffnen der Aortenklappe bis zum peripheren Eintreffen der Pulswelle, ist also um die Dauer der isometrischen Kontraktion kürzer als die

PTZ und soll zusätzliche Störeinflüsse (z.B. Aortenklappenstenose) vermeiden. Einige der bisherigen Untersuchungen wurden nur an jungen und/oder gesunden Patienten [9,21,25] durchgeführt oder geben keine genaue Angabe über ihre Kollektive [2,16,19]. So unterschiedlich die Methoden oder Kollektive sind, so unterschiedlich sind auch die Ergebnisse. Barschdorf und Erig [2] schreiben von einer guten Korrelation und einer hohen Auflösung, besonders bei kurzfristigen Blutdruckänderungen. Eine gegenteilige Meinung vertreten Young et al. [26]. Bei ihrer Untersuchung an 35 endotracheal intubierten Patienten während operativer Eingriffe kommen sie zu dem Ergebnis, dass die Blutdruckmessung mittels PTZ zu ungenau ist und keinen Ersatz für eine invasive Methode darstellt, wenn eine engmaschige, ggf. auch Schlag-zu-Schlag-Blutdruck-Kontrolle indiziert ist. Auch Naschitz et al. [17] ziehen in ihrer Literaturrecherche und den Untersuchungen an Patienten auf einem Kipptisch das Fazit, dass eine Blutdruckmessung mittels PTZ nicht die nötige klinische Genauigkeit bietet. Teng und Zangh [21] kommen zu dem Ergebnis, dass die PTZ-Blutdruckmessung keine nennenswerten Unterschiede zur Volumen-Klemm-Methode aufweist. Die meisten Forschungen fassen aber zusammen, dass es teilweise gute Übereinstimmungen mit etablierten Messmethoden gibt, allerdings weitere Validierungen nötig sind [9,16,25].

Die Blutdruckmessung mittels PTZ setzt eine mindestens einmalige Kalibrierung voraus. Wir haben zu Beginn der Untersuchung einen Abgleich vorgenommen und konnten keine systematische Abweichung der Messwerte über den Untersuchungszeitraum von 60 Minuten feststellen. Bei längeren Messdauern wird von einigen Autoren eine Re- oder Mehrfachkalibrierung empfohlen [16,25].

In den meisten bisherigen Studien wurde die Kalibrierung gegen Werte einer Oberarmmessung durchgeführt [2,9,10,17,21,25,26]. Auch wenn diese Methode als die im klinischen Alltag am häufigsten angewandte nicht-invasive Blutdruckmessung gilt [7,18,23], so ist zu bedenken, dass es eine Abweichung von invasiven Mes-

sungen gibt. Holland et al. [11] stellten fest, dass es zwischen der invasiven und der Blutdruckmessung mittels Oberarmmanschette zwar eine hohe Korrelation gibt, die intraarteriellen Messwerte aber höher liegen. Die durchschnittliche Differenz lag für systolische Werte bei 24,6 mm Hg ($\pm 14,0$) und für diastolische bei 13,1 mm Hg ($\pm 9,5$; beim vollständigen Verstummen des Korotkow-Geräusches). In unserer Untersuchung lag die durchschnittliche Differenz, auf alle 40 Patienten bezogen, zwischen invasiver und PTZ-Blutdruckmessung systolisch bei 13,4 mm Hg ($\pm 10,6$) und diastolisch bei 9,7 mm Hg ($\pm 6,1$).

Unsere Untersuchung zeigt, dass eine invasive Blutdruckmessung zu einem hohen Prozentsatz auswertbare Messwerte liefert und eine kontinuierliche Blutdrucküberwachung ermöglicht. Die Blutdruckmessung mittels PTZ ist jedoch anfälliger für Artefakte und Fehler. In allen Kollektiven lieferte die invasive signifikant mehr auswertbare Messwerte als die PTZ-Blutdruckmessung. Besonders bei Patienten mit hypotonen Blutdruckwerten kam es zu häufigen Messausfällen. In allen Gruppen gab es einzelne Patienten, bei denen die Anzahl der Artefakte überproportional hoch war. Dies zeigt sich an den 13 Patienten mit über 10% fehlenden Messwerten und den 7 Patienten, die sogar über 25% Artefakte lieferten. Bei diesen Patienten war eine kontinuierliche Überwachung nicht möglich. Wir konnten keine Ursache für diese Fehlmessungen identifizieren. Die zum Vergleich vorliegenden Messwerte weisen in keinem der Kollektive signifikante Unterschiede auf. Zur Vermeidung von Fehlmessungen muss jedoch der Algorhythmus weiterentwickelt bzw. müssen klare Ein- und Ausschlusskriterien zur Anwendbarkeit im klinischen Alltag definiert werden.

Davon ausgehend, dass mindestens 90% der Messungen auswertbar sind, liegen die auffälligsten Fehlerquellen in der Schwierigkeit, die „R“-Zacke im EKG sauber zu erfassen (fünf Patienten), in einem schlechten Plethysmographiesignal (zwei Patienten), in einer Mischung aus beidem (ein Patient) oder in einer zu langen PTZ (zwei Patienten). Bei drei Patienten konnten die Fehler nicht erklärt werden. Vier der fünf Patienten mit Problemen in der „R“-Zacken-Detektion stammen aus Gruppe 3. Ebenso die zwei Patienten mit einer zu langen PTZ, die Gruppe 2 zuzuordnen sind. Hier war die Pulswelle so langsam, dass die vorgegebenen Grenzen am Gerät überschritten wurden und dies ein Artefakt anzeigte.

Limitationen: Eine Limitation dieser Studie stellt die geringe Patientenzahl trotz der hohen Anzahl von Messdaten dar. Allgemeine Schlussfolgerungen können daher nur eingeschränkt gezogen werden. Auch unser Messzeitraum von 60 Minuten erlaubt noch keine abschließende Beurteilung über längere Messintervalle (z.B. Aussagen über eine 24-Stunden-BDM). Es kann davon ausgegangen werden, dass mit zunehmendem Alter die Gefäßsteifigkeit zunimmt, die wiederum eine Erhöhung der PWG nach sich zieht. Weitere Einflussgrößen könnten vasoaktive Medikamente oder Begleiterkrankungen darstellen. Da wir unsere Messdaten nur innerhalb eines Patienten und zur exakt selben Zeit verglichen haben, denken wir, dass nach einer initialen Kalibrierung diese Faktoren für unsere Studie von nachrangiger Bedeutung sind. Dennoch wurde darauf geachtet, dass Medikationen nicht unmittelbar vor oder während der Messung geändert wurden.

Konsequenz für Klinik und Praxis

- ▶ Zwischen den invasiv gemessenen Blutdruckwerten und der Messung mittels Puls-Transit-Zeit bei kardiologischen Intensivpatienten ergaben sich bei einer Messdauer von einer Stunde keine signifikanten Unterschiede.
- ▶ Allerdings kam es bei der Puls-Transit-Zeit-Messung, und hier insbesondere bei hypotonen Patienten, zu signifikant mehr Fehlermeldungen und damit zum Fehlen von Einzelwerten, die eine Schlag-zu-Schlag-Analyse des Blutdruckes nicht immer gewährleisten.

Autorenerklärung: Die Autoren erklären, dass sie keine finanziellen Verbindungen mit einer Firma besitzen, deren Produkt in diesem Artikel eine wichtige Rolle spielt (oder mit einer Firma, die ein Konkurrenzprodukt vertreibt).

Abstract

Validation of continuous blood pressure measurements via pulse transit time: a comparison with invasive measurements in a cardiac intensive care unit

Background and objective: Arterial blood pressure measured by pulse transit time (PTT) can be used as an alternative to the gold standard of invasive measurement. It was the aim of this study to compare these two methods in order to validate PTT in patients with cardiac diseases.

Patients and methods: In 40 patients (29 males; mean age 68.7 ± 15 years) in a cardiac intensive care unit, blood pressures were continuously measured by PTT and the standardized invasive method for one hour. Values were analysed and compared in 30-second intervals (9,600 values for each method).

Results: Blood pressures obtained with either method were not statistically different, neither in the whole group nor in subgroups. However, the number of analysable data was significantly higher using the invasive method, by which appropriate signals were obtained in 99.2% of systolic and in 99.1% of diastolic blood pressure measurements. In contrast, using the PTT-method, appropriate signals were seen in 85.8% of systolic and 85.9% of diastolic pressure measurements.

Conclusion: Blood pressures measured by PTT in patients in cardiac intensive care units provide reliable values over a period of at least one hour. However, the PTT method seems to be more susceptible to errors as evidenced by the number of failed measurements.

Glossar

BD =	Blutdruck
BDM =	Blutdruckmessung
dia =	diastolisch
inv-BDM =	invasive, intraarterielle Blutdruckmessung
PPG =	Photoplethysmographie
PTZ =	Puls-Transit-Zeit (pulse transit time)
PWG =	Pulswellengeschwindigkeit (pulse wave velocity)
sys =	systolisch
VTT =	vaskuläre Transit-Zeit

Literatur

- 1 Allen J. Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement. *Physiol Meas* 2007; 28: R1–39
- 2 Barschdorff D, Erig M. Kontinuierliche Blutdruckbestimmung während des Belastungs-EKG. *Biomed Tech* 1998; 43: 34–39
- 3 Baulmann J, Nürnberger J, Slany J et al. Arterielle Gefäßsteifigkeit und Pulswellenanalyse: Positionspapier zu Grundlagen, Methodik, Beeinflussbarkeit und Ergebnisinterpretation. *Dtsch Med Wochenschr* 2010; 135: 4–14
- 4 Belz GG. Elastic properties of the human aorta. *Cardiovasc Drugs Ther* 1995; 9: 73–83
- 5 Davies RJO, Belt PJ, Roberts SJ, Ali NJ, Stradling JR. Arterial blood pressure responses to graded transient arousal from sleep in normal humans. *J Appl Physiol* 1993; 74: 1123–1130
- 6 Dolan E, Stanton A, Thijs L et al. Superiority of ambulatory over clinic blood pressure measurement in predicting mortality: The Dublin Outcome Study. *Hypertension* 2005; 46: 156–161
- 7 Eckert S. 100 Jahre Blutdruckmessung nach Riva-Rocci und Korotkow: Rückblick und Ausblick. *J Hyperton* 2006; 10: 7–13
- 8 Fagard RH, Van Den Broeke C, De Cort P. Prognostic significance of blood pressure measured in the office, at home and during ambulatory monitoring in older patients in general practice. *J Hum Hypertens* 2005; 19: 801–807
- 9 Foo JY, Lim CS, Wang P. Evaluation of blood pressure changes using vascular transit time. *Physiol Meas* 2006; 27: 685–694
- 10 Gesche H, Grosskurth D, Patzak A. Indirect measurement of arterial blood pressure using pulse transit time. *Hypertension and the Kidney. Book of Abstracts 2007*: 31
- 11 Hansen TW, Jeppesen J, Rasmussen S, Ibsen H, Torp-Pedersen C. Ambulatory blood pressure and mortality. *Hypertension* 2005; 45: 499–504
- 12 Holland WW, Humerfelt S. Measurement of blood-pressure: comparison of intra-arterial and cuff values. *Br Med J* 1964; 2: 1241–1243
- 13 Landowne M. The relation between intra-arterial pressure and impact pulse wave velocity with regard to age and arteriosclerosis. *J Gerontol* 1958; 13: 153–162
- 14 Mancia G, De Backer G, Dominiczak A et al. 2007 Guidelines for the management of arterial hypertension. *Eur Heart J* 2007; 28: 1462–1536
- 15 Mancia G, Bertinieri G, Grassi G, Parati G, Pomidossi G, Ferrari A, Gregorini L, Zanchetti A. Effects of blood pressure measurement by the doctor on patient's blood pressure and heart rate. *Lancet* 1983; 2: 695–698
- 16 McCombie DB, Reisner AT, Asada HH. Motion based adaptive calibration of pulse transit time measurements to arterial blood pressure for an autonomous, wearable blood pressure monitor. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2008; 2008: 989–992
- 17 Naschitz JE, Bezobchuk S, Mussafia-Priselac R. Pulse transit time by R-wave-gated infrared photoplethysmography. *J Clin Monit Comput* 2004; 18: 333–342
- 18 Pickering TG, Hall JE, Appel LJ et al. Recommendations for blood pressure measurement in humans and experimental animals: Part 1: blood pressure measurement in humans. *Circulation* 2005; 111: 697–716
- 19 Pitson DJ, Sandell A, van den Hout R, Stradling JR. Use of transit time as a measure of inspiratory effort in patients with obstructive sleep apnoea. *Eur Respir J* 1995; 8: 1669–1674
- 20 Smith RP, Argod J, Pepin JL, Levy PA. Pulse transit time: An appraisal of potential clinical applications. *Thorax* 1999; 54: 452–457
- 21 Teng XF, Zhang YT. An Evaluation of a PTT-based method for noninvasive and cuffless estimation of arterial blood pressure. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2006; 1: 6049–6052
- 22 Tönnemann U. Arousal-reaction and changes of body-position cause deviations of the 24h-RR-blood-pressure-records during sleep. *Hypertension Congress, 2007 (Bochum). Poster.* www.somnomedics.de/index.php?eID=tx_nawsecuredl&u=0&file=fileadmin/SOMNomedics/downloads/Publikationen/SOMNOScreen/germ/ptt_gegen_rr.pdf&t=1273887268&hash=8904e837a627b97410df0a42ec6b7972 (letzter Zugriff: 14. Mai 2010)
- 23 Verrij E, van Montfrans G, Bos JW. Reintroduction of Riva-Rocci measurements to determine systolic blood pressure? *Neth J Med* 2008; 66: 480–482
- 24 Weltmann G. The continuous measurement of arterial pulse wave velocity. *Med Electron Biol Eng* 1964; 2: 145–154
- 25 Wong MY, Pickwell-MacPherson E, Zhang YT. The acute effects of running on blood pressure estimation using pulse transit time in normotensive subjects. *Eur J Appl Physiol* 2009; 107: 169–175
- 26 Young CC, Mark JB, White W et al. Clinical evaluation of continuous noninvasive blood pressure monitoring: accuracy and tracking capabilities. *J Clin Monit* 1995; 11: 245–252