

Effekte der Vibraxanwendung (mechanische Vibration) auf die Blutgaswerte von Patienten auf der Intensivstation nach einem kardiochirurgischen Eingriff* Eine Pilotstudie

Effects of Vibrax (Mechanical Vibrations) on the Arterial Blood Gases of Patients in the Intensive Care Unit after Cardiac Surgery
A Pilot Study

Autoren

A. Fehrenbach¹, T. Werner¹, A. Demirci¹, P. K. Zahn², C. Grüneberg¹

Institute

¹ Hochschule für Gesundheit, Bochum

² Berufsgenossenschaftliches Universitätsklinikum Bergmannsheil, Bochum

eingereicht 10.3.2016

akzeptiert 1.6.2016

Bibliografie

DOI <http://dx.doi.org/10.1055/s-0042-109576>
Pneumologie 2016; 70: 595–604
© Georg Thieme Verlag KG
Stuttgart · New York
ISSN 0934-8387

Korrespondenzadresse

Anna Fehrenbach

Bachelor of Science,
Physiotherapie
Im Herrenberg 8
74653 Künzelsau
anna@fehreh.net

Zusammenfassung



Ziel der Studie: Die Atemphysiotherapie nimmt einen hohen Stellenwert auf Herz-Thorax-chirurgischen Intensivstationen ein. Dabei wird häufig die mechanische Vibration mit dem Vibraxgerät eingesetzt. In der vorliegenden Pilotstudie wurden die Effekte der Anwendung von Vibrax (mechanische Vibrationen) auf die Blutgaswerte von Patienten auf der Intensivstation am 1. oder 2. Tag nach einem kardiochirurgischen Eingriff untersucht.

Methodik: Es wurde eine kontrollierte randomisierte Pilotstudie mit 23 Patienten durchgeführt. Bei den Probanden der Kontrollgruppe (KG) wurde ein Herz-Kreislauftraining mit Mobilisation an die Bettkante und aktiven Atemübungen durchgeführt. Die Interventionsgruppe (IG) erhielt zusätzlich eine 5-minütige Vibraxanwendung. Als primärer Outcomeparameter wurde die Relation PaO₂/FiO₂ gemessen.

Ergebnisse: In der KG konnten keine signifikanten Veränderungen über die Zeit beobachtet werden (p≥0,06). Die IG zeigte einen signifikanten (p=0,009) Anstieg der Relation PaO₂/FiO₂ von vor Beginn der Physiotherapieeinheit (M=296,52, SE=34,94 mmHg) zu 60 Minuten nach Abschluss der Physiotherapieeinheit (M=331,39, SE=48,14 mmHg). Die Unterschiede zwischen der KG und der IG waren zu keinem Messzeitpunkt signifikant (p≥0,09).

Schlussfolgerung: Diese Pilotstudie zeigt Hinweise auf eine günstige Beeinflussung der Blutgaswerte durch die Anwendung von Vibrax bei Patienten auf der Intensivstation am 1. oder 2. Tag nach einem kardiochirurgischen Eingriff. Ob die Effekte klinisch relevant sind, konnte nicht geklärt werden.

Abstract



Objective: Respiratory physiotherapy is an integral part of the care of patients in intensive care units (ICU) after cardiac surgery. One of the most commonly used techniques in ICU to prevent pulmonary complications are mechanical vibrations, which can be applied with a tool called Vibrax.

The aim of this study was to investigate the effects of Vibrax (mechanical vibrations) on the arterial blood gases of patients in ICU during the 1. or 2. day after cardiac surgery.

Methods: A randomized controlled pilot study was conducted with 23 patients. The participants of the control group (CG) received a cardiovascular training with mobilization to the edge of the bed and active breathing exercises. On the patients of the intervention group (IG) additionally Vibrax was applied for 5 minutes. As primary outcome parameter the PaO₂/FiO₂ ratio was measured.

Results: In the CG no significant changes over time were observed (p≥0.06). The IG showed a significant (p=0.009) increase in the PaO₂/FiO₂ ratio from before the physiotherapy intervention (M=296.52, SE=34.94 mmHg) to 60 minutes after completion of the physiotherapy intervention (M=331.39, SE=48.14 mmHg). There was no significant difference between the CG and IG at any measuring time (p≥0.09).

Conclusion: The results of this pilot study indicate that the application of Vibrax has positive effects on the arterial blood gases of patients in ICU on the 1. or 2. day after cardiac surgery. But whether the effects are clinically relevant could not be clarified.

* Vortrag, Medica, Düsseldorf, 14.11.2014.

Einleitung

Die Zahl der Herzoperationen ist in den letzten Jahren stetig gestiegen. 2014 lag die Anzahl an kardiochirurgischen Eingriffen in Deutschland bei über 400 000 Operationen [1].

Eine Herzoperation kann zu einer Beeinträchtigung der pulmonalen Funktion führen [2–4]. Als Gründe werden die Beatmung, Anästhesie sowie das gewählte Operationsverfahren genannt [4–6]. In der postoperativen Phase beeinträchtigen unter anderem Thoraxdrainagen, Atelektasen, Immobilität sowie Schmerzen bei der Atmung und beim Husten die Blutgaswerte zusätzlich [2, 6]. Insgesamt konnte gezeigt werden, dass die Blutgaswerte nach einer Herzoperation auf 60–75% des präoperativen Status absinken [7].

Daraus ergibt sich, dass physiotherapeutische Maßnahmen wie die Atemtherapie und die Mobilisation einen hohen Stellenwert in der postoperativen Behandlung von kardiochirurgischen Patienten auf der Intensivstation und der Intermediate Care Station einnehmen. Eine der auf der Intensivstation am häufigsten eingesetzten Atemphysiotherapiemaßnahmen ist die Vibration [8–11]. Als Hilfsmittel wird dabei auf deutschen Intensivstationen am häufigsten das Vibraxgerät genutzt, welches mechanische Vibrationen erzeugt [12, 13].

Die Wirksamkeit der Intervention ist wenig erforscht. Drei Studien untersuchten die Effekte von mechanischen Vibrationen bei intensivmedizinisch betreuten Patienten [14–16], wobei nur die Studie von Hollody & Goldberg (1981) ein mit dem Vibrax vergleichbares Therapiergerät verwendete [15]. Die Evidenz zur Wirksamkeit von Vibrax auf der Intensivstation ist demnach als unzureichend einzustufen.

Das Ziel dieser Pilotstudie ist es, die Effekte der Vibraxanwendung auf die Blutgaswerte von Patienten auf der Intensivstation am 1. oder 2. Tag nach einem kardiochirurgischen Eingriff zu untersuchen. Die folgende Hypothese soll geprüft werden: Zusätzliche Anwendung von Vibrax hat einen positiven Effekt auf die Blutgaswerte von Patienten auf der Intensivstation am 1. oder 2. Tag nach einem kardiochirurgischen Eingriff.

Material und Methoden

Bei der vorliegenden Arbeit handelt es sich um eine randomisierte kontrollierte Pilotstudie, in der die Effekte von Vibrax (mechanische Vibration) auf die Blutgaswerte von Patienten auf der Intensivstation am 1. oder 2. Tag nach einem kardiochirurgischen Eingriff erforscht werden. In **Tab. 1** wird ein kurzer Überblick über das Studiendesign gegeben.

Probanden

Die Datenerhebung erfolgte vom 5.11.2013 bis 27.11.2013 auf der Herz-Thorax-chirurgischen Intensivstation des Berufsgenossenschaftlichen Universitätsklinikums Bergmannsheil, Bochum. Eingeschlossen wurden einwilligungsfähige Patienten ab 18 Jahren auf der Herz-Thorax-chirurgischen Intensivstation des Berufsgenossenschaftlichen Universitätsklinikums Bergmannsheil, Bochum, im Anschluss an eine Herzoperation, auf die keines der folgenden Ausschlusskriterien zutrifft: fehlende Einwilligung; Vorliegen von Kontraindikationen für die Anwendung von Vibrax (Rippenfraktur [9], Lungenembolie [9], Hautschäden im Anwendungsgebiet [14, 17], Schwangerschaft [12]); Patienten, die am 1. postoperativen Tag um 9:00 Uhr noch intubiert oder beatmet waren; Sitz an der Bettkante am 1. und 2. postoperativen Tag auf

Tab. 1 Überblick über das Studiendesign.

Studiendesign	
Probanden	– Patienten nach kardiochirurgischen Eingriffen auf der HTC-Intensivstation am 1. und 2. Tag postoperativ
Anwendungen in der Kontrollgruppe	– Herz-Kreislauftraining im Bett – Mobilisation in den Sitz an der Bettkante – tiefe Atemzüge mit dem TriFlo®
Anwendungen in der Interventionsgruppe	– Anwendungen der Kontrollgruppe – zusätzlich 5-minütige Vibraxanwendung
Outcomeparameter	– arterielle Blutgasanalyse (Relation PaO ₂ /FiO ₂ ; PaCO ₂) – subjektive Parameter: NRS (0–10) für Dyspnoe und Schmerz

HTC = Herz-Thorax-chirurgische; PaO₂ = arterieller Sauerstoffpartialdruck; FiO₂ = Sauerstoffgehalt der eingeatmeten Luft; PaCO₂ = arterieller Kohlenstoffdioxidpartialdruck; NRS = Numeric Rating Scale

der Intensivstation nicht möglich; kein arterieller Zugang am Interventionstag.

Die Zuteilung der Patienten in die Interventions- oder Kontrollgruppe mit gleicher Gruppengröße erfolgte zufällig durch eine blockweise Randomisierung (Blockpermutation; vier Blöcke). Das Anlegen der Zufallstabelle und die Zuordnung der Studienteilnehmer wurde durch die Studienassistentin der Berufsgenossenschaftlichen Universitätsklinik Bergmannsheil, Bochum, durchgeführt. Sie war ansonsten nicht an der Untersuchung beteiligt.

Intervention

Die Intervention fand im Rahmen einer Physiotherapieeinheit am ersten oder zweiten postoperativen Tag auf der Intensivstation statt. Die Datenerhebung erfolgte jeweils in der ersten Therapieeinheit, in welcher der Sitz an der Bettkante eingenommen werden konnte.

Standardisierter Ablauf einer Physiotherapieeinheit

Begonnen wurde mit einem Herz-Kreislauftraining im Bett, gefolgt von einem passiven Transfer in den Sitz an der Bettkante. In dieser Ausgangsstellung fand in der Interventionsgruppe die fünfminütige Vibraxanwendung statt. Die Patienten der Kontrollgruppe verblieben während dieser Zeit ohne weitere Maßnahmen im Sitz an der Bettkante. Es folgten in beiden Gruppen tiefe Atemzüge mit dem TriFlo® Atemtrainer. Die abschließende Lagerung der Patienten wurde nach dem individuellen Lagerungsschema durchgeführt.

Das Herz-Kreislauftraining, die Vibraxanwendung und die tiefen Atemzüge mit dem TriFlo® Atemtrainer wurden durch Anwendungsschemata standardisiert (siehe digitale Anlagen).

In der Literatur gibt es keine standardisierten Richtlinien für die Anwendung von Vibrax auf der Intensivstation. Die Anwendungsschemata (inklusive Form und Dauer der Vibraxanwendung) dieser Studie wurden daher in enger Anlehnung an die derzeitige klinische Routine des Berufsgenossenschaftlichen Universitätsklinikums Bergmannsheil, Bochum, erstellt.

Die Vibraxanwendung erfolgte mit dem Gerät ‚Vibramat de luxe‘ (Firma Maspo, Dr. Kern GmbH). Es wurde der glatte Aufsatz verwendet (Moosgummischuh; Auflagefläche: circa 19 cm × 12 cm), und das Gerät wurde auf Stufe 1 (1400 Umdrehungen/Minute ≈ 23,3 Hz) eingestellt. Während der Vibraxanwendung wurden keine Kombinationsmaßnahmen durchgeführt.

Tab. 2 Outcomeparameter.

Betrachtete Aspekte	Outcomeparameter
Veränderung des Gasaustausches durch die Vibraxanwendung	– Relation PaO ₂ /FiO ₂ – PaCO ₂
Beeinflussung des subjektiven Empfindens der Patienten	– Dyspnoe-Intensität (NRS 0 – 10) – Schmerzintensität (NRS 0 – 10)
Umsetzbarkeit von Vibrax auf der Intensivstation bei Patienten am 1./2. Tag nach einer Herzoperation	Dokumentation von – Abbrüchen der Intervention – unerwünschten Ereignissen

PaO₂ = Sauerstoffpartialdruck; FiO₂ = Sauerstoffgehalt der eingeatmeten Luft;
PaCO₂ = Kohlenstoffdioxidpartialdruck; NRS = Numeric Rating Scale

Die Patienten wurden während der Physiotherapieeinheit kontinuierlich über das Monitoring (EKG, periphere Sauerstoff-Sättigung, arterielle Druckmessung) auf der Intensivstation überwacht. Es wurden folgende Kriterien für den Abbruch der Therapie festgelegt: Abbruchwunsch des Patienten; Angabe von starken Schmerzen; hämodynamische Instabilität (Tachykardie, Hypo-/Hypertonie, Arrhythmien); Tachypnoe.

Outcomeparameter

Als primärer Outcomeparameter wurde die Relation Sauerstoffpartialdruck zu Sauerstoffkonzentration der eingeatmeten Luft (PaO₂/FiO₂) gemessen. Als sekundäre Outcomeparameter wurden der Kohlenstoffdioxidpartialdruck (PaCO₂) sowie die Schmerz- und Dyspnoe-Intensität erhoben. Zudem wurden Abbrüche der Intervention und unerwünschte Ereignisse dokumentiert. Alle verwendeten Outcomeparameter sind in **Tab. 2** zusammengefasst.

Messverfahren

Zur Bestimmung des Sauerstoffpartialdrucks (PaO₂) und des PaCO₂ wurde eine arterielle Blutgasanalyse durchgeführt. Dazu wurden dem Patienten 1–2 ml Vollblut über eine bereits liegende arterielle Kanüle entnommen. Die Auswertung des Blutes fand mit dem Vollblut-Analysesystem („GEM® Premier 4000“; Firma Instrumentation Laboratory Deutschland GmbH) statt. Die Zeit zwischen der Blutabnahme und der Auswertung sollte unter 7 Minuten liegen, da die Veränderung der Blutgaswerte innerhalb der ersten 7 Minuten nach der Blutentnahme als vernachlässigbar gilt [19].

Zur Ermittlung des Sauerstoffgehaltes der eingeatmeten Luft (FiO₂) wurden die aktuelle Sauerstoffflussrate und die Form der O₂-Gabe (Nasenbrille oder Gesichtsmaske) dokumentiert. Zur Umrechnung der Sauerstoffflussrate in den FiO₂ wurde die Konversionstabelle aus der clinical practice guideline der American Association for Respiratory Care (1993) verwendet [21].

Die Sauerstoffflussrate wurde im Zeitraum zwischen 30 Minuten vor dem Start der Intervention bis nach dem letzten Messzeitpunkt nicht verändert. Ein Zeitraum von 30 Minuten ist ausreichend für die Stabilisierung der Blutgaswerte vor der ersten Blutentnahme [20].

Zur Messung der Intensität der Atemnot und der Schmerzintensität wurde die Numeric Rating Scale – NRS (0–10) verwendet.

Erhebungszeitpunkte

Die Datenerhebung fand in der Kontroll- und Interventionsgruppe jeweils zu folgenden Zeitpunkten statt: t1) vor Beginn der Physiotherapieeinheit; t2) nach Einnahme der Ausgangsstellung (Sitz an der Bettkante); t3) fünf Minuten nach Einnahme des Bettkantensitzes (Kontrollgruppe) bzw. nach der Vibraxanwendung (Interventionsgruppe); t4) 30 Minuten nach Abschluss der Physiotherapieeinheit; t5) 60 Minuten nach Abschluss der Physiotherapieeinheit.

Der Ablauf einer Physiotherapieeinheit mit den zugehörigen Messzeitpunkten ist in **Abb. 1** dargestellt.

Ethisches Clearing

Der Ethikantrag für die vorliegende Studie (Reg.-Nr.: 4857–13) wurde von der Ethikkommission der medizinischen Fakultät der Ruhr-Universität Bochum begutachtet und bewilligt.

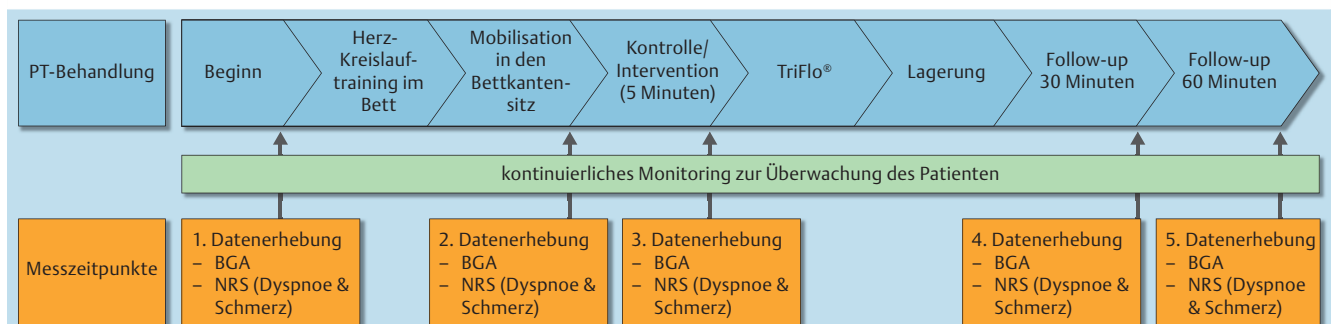
Statistische Auswertung

Alle Daten wurden in anonymisierter Form in Microsoft® Excel® für Mac 2011 Version 14.0.1 eingegeben. Die Datenanalyse erfolgte mithilfe des Statistikprogramms IBM® SPSS® Version 21.0. Das Signifikanzniveau wurde auf $p < 0,05$ festgelegt. Die Interpretation der Korrelationswerte erfolgte nach Elsner (2009) [22].

Ergebnisse

Probandenrekrutierung

Vom 5.11.2013 bis 27.11.2013 wurden insgesamt 44 Patienten im Berufsgenossenschaftlichen Universitätsklinikum Bergmannsheil, Bochum, einer Herzoperation unterzogen. Davon wurden 11 Patienten präoperativ ausgeschlossen. Postoperativ wurden 10 Patienten ausgeschlossen, da sie am 1. Tag post-OP noch intubiert/beatmet waren ($n=7$), am Interventionstag keine liegende arterielle Kanüle mehr hatten ($n=1$), der Sitz an der Bettkante am 1. und 2. Tag post-OP nicht möglich war ($n=1$) oder sie am 1. Tag post OP bereits vor der Intervention von der Intensivstation verlegt wurden ($n=1$), sodass Daten von 23 Patienten erhoben wurden. Die Einwilligungserklärung erfolgte schriftlich im Rahmen des präoperativen Aufklärungsgesprächs

**Abb. 1** Ablauf einer Physiotherapieeinheit und Messzeitpunkte.

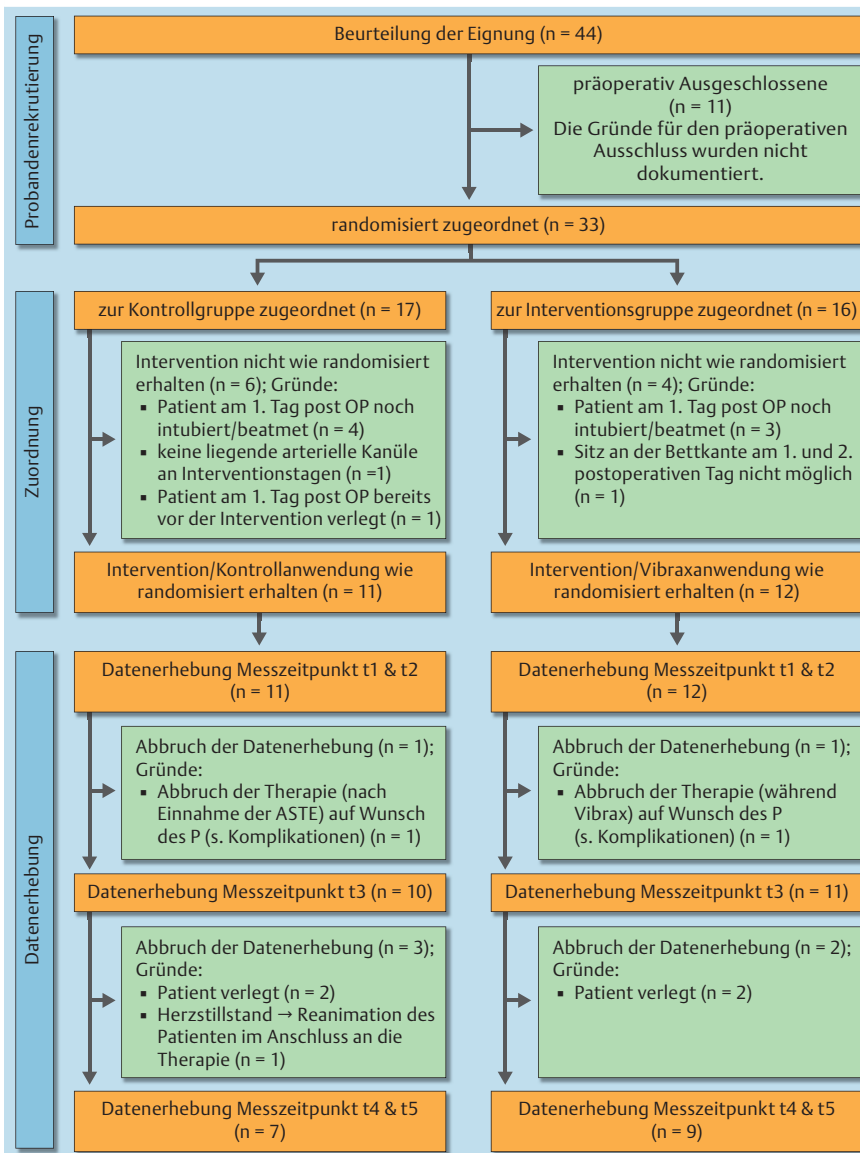


Abb. 2 Flussdiagramm der ein- und ausgeschlossenen Teilnehmer.

durch den aufnehmenden Arzt. Alle Patienten erhielten die Interventions-/Kontrollanwendung wie zugeordnet. Das Vorgehen der Probandenrekrutierung ist in [Abb. 2](#) dargestellt.

Probandencharakteristika

Das Durchschnittsalter der Patienten lag bei 64,39 Jahren (SE = 2,83 Jahre). In der Kontrollgruppe konnten mit einem Anteil von 72,7% deutlich mehr Männer als Frauen (27,3%) festgestellt werden. In der Interventionsgruppe lag hingegen der Frauenanteil mit 58,3% etwas über dem Männeranteil (47,7%). Das Geschlecht korrelierte signifikant mit dem Wert der Schmerzintensität (zum Messzeitpunkt t1); $r=0,47$, $p(2\text{-seitig})=0,03$. Es konnte ein signifikant höherer BMI in der Kontrollgruppe ($M=30,81$, $SE=2,14$ kg/m^2) im Vergleich zur Interventionsgruppe ($M=24,08$, $SE=1,17$ kg/m^2) identifiziert werden; $t(21)=2,82$, $p=0,01$. Die Werte des BMI korrelieren signifikant mit dem Outcomeparameter der Relation $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$; $r=0,42$, $p(2\text{-seitig})=0,049$. Alle weiteren Probandencharakteristika zeigten keine signifikanten Gruppenunterschiede. Die demografischen und klinischen Daten der eingeschlossenen Studienteilnehmer sind in [Tab. 3](#) zusammengefasst.

Outcomeparameter

Werte bei Eingangsmessung (t1)

In keinem der Outcomeparameter wurden signifikante Gruppenunterschiede bei der Eingangsmessung festgestellt; $p \geq 0,19$.

Die Relation $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ lag zum Zeitpunkt der Eingangsmessung durchschnittlich bei $M=267,19$ mmHg ($SE=24,33$ mmHg) ([Abb. 3](#)).

Der PaCO_2 lag zum Messzeitpunkt t1 bei durchschnittlich $M=38,83$ mmHg ($SE=1,10$ mmHg) ([Abb. 4](#)).

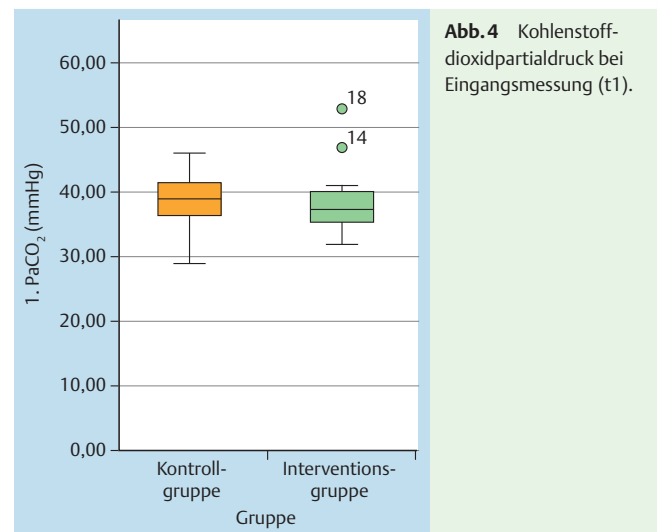
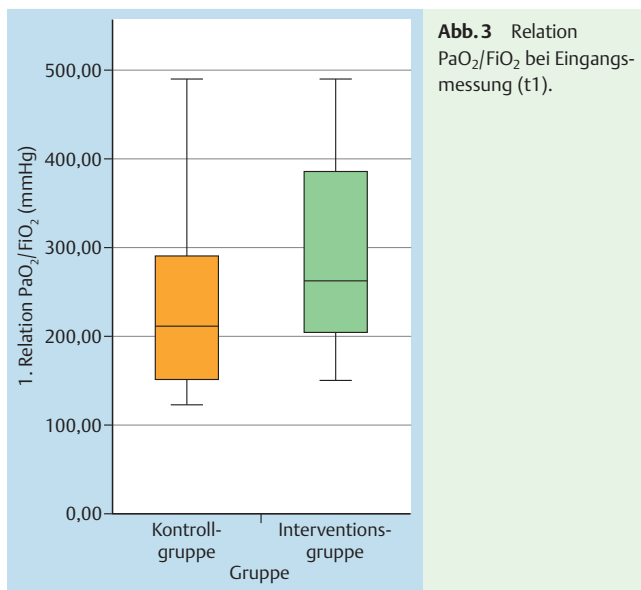
Die Dyspnoe-Intensität variierte stark zwischen den einzelnen Patienten. So konnten bei der Eingangsmessung gruppenübergreifend ein Minimum von 0 und ein Maximum von 8 beobachtet werden. Der Median lag in der Kontrollgruppe bei 2 und in der Interventionsgruppe bei 4 Punkten ([Abb. 5](#)).

Auch die Schmerzintensität zeigte mit dem geringsten Wert von 0 und einem Maximalwert von 10 Punkten eine hohe Variation bei der Eingangsmessung. Der Median lag in der Kontrollgruppe bei 2 und in der Interventionsgruppe bei 4 Punkten ([Abb. 6](#)).

Tab. 3 Demografische und klinische Daten der eingeschlossenen Patienten.

	Insgesamt		Kontrollgruppe		Interventionsgruppe	
	Mittelwert (SE)/ Anzahl	Gültige n	Mittelwert (SE)/ Anzahl	Gültige n	Mittelwert (SE)/ Anzahl	Gültige n
Anzahl gesamt		23		11		12
Alter (Jahre)	64,39 (2,83)	23	62,45 (4,76)	11	66,17 (3,36)	12
Geschlecht	männlich	13 (56,5%)	8 (72,7%)	11	5 (41,7%)	12
	weiblich	10 (43,5%)	3 (27,3%)	7 (58,3%)	12	
Größe (m)	1,71 (0,02)	23	1,72 (0,03)	11	1,70 (0,03)	12
Gewicht (kg)	80,43 (4,76)	23	92,27 (7,50)	11	69,58 (4,19)	12
BMI (kg/m ²)	27,30 (6,56)	23	30,81 (2,14)	11	24,08 (1,17)	12
OP-Verfahren	Bypass	13 (56,5%)	7 (63,6%)	11	6 (50%)	12
	Herzklappenersatz	10 (43,5%)	4 (36,4%)	6 (50%)	12	
Dauer der maschinellen Beatmung (min)	602,65 (48,15)	17	670,00 (87,60)	8	542,78 (42,82)	9
FiO ₂ (%)	42,00 (1,62)	23	43,27 (2,06)	11	40,83 (2,50)	12
Euro SCORE	0 – 2 Punkte	2 (11,1%)	1 (11,1%)	9	1 (11,1%)	9
	3 – 5 Punkte	5 (27,8%)	3 (33,3%)	2 (22,2%)	12	
	> 5 Punkte	11 (61,1%)	5 (55,6%)	6 (66,7%)	12	
Zeitpunkt der Datenerhebung	1. Tag post OP	21 (91,3%)	9 (81,8%)	11	12 (100%)	12
	2. Tag post OP	2 (8,7%)	2 (18,2%)	0 (0%)	12	

SE = Standardfehler des Mittelwertes; n = Anzahl der Probanden; m = Meter; kg = Kilogramm; BMI = Body Mass Index; OP = Operation; min = Minute; FiO₂ = Sauerstoffanteil der eingeatmeten Luft; EuroSCORE: Punktesystem zur Einschätzung der 30-Tage-Letalität nach Herzoperation
 Angegeben ist der Mittelwert (Standardfehler des Mittelwertes) für metrische Daten. Bei nominalen Daten ist die Häufigkeit (prozentualer Anteil der jeweiligen Gruppe) dargestellt.



Veränderungen der Outcomeparameter im zeitlichen Verlauf

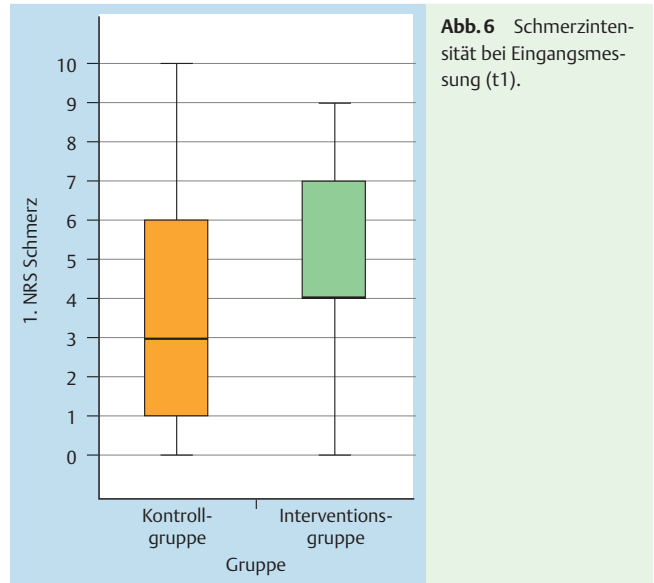
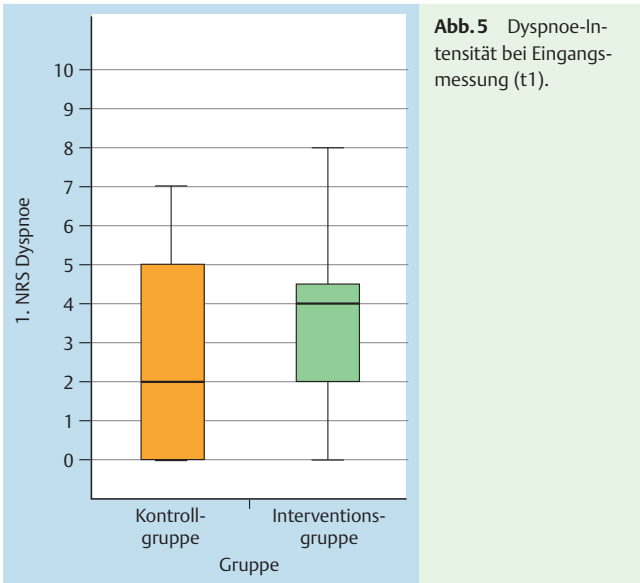
Innerhalb der Kontrollgruppe konnten in keinem Outcomeparameter signifikante Veränderungen im zeitlichen Verlauf beobachtet werden ($p \geq 0,06$).

Die Veränderungen im zeitlichen Verlauf für die Interventionsgruppe sind in **Tab. 4** dargestellt.

In der Interventionsgruppe stieg die Relation PaO₂/FiO₂ von t4 zu t5 signifikant an; $t(8) = -4,39$, $p = 0,003$. Auch im Vergleich zu der Eingangsmessung (t1) ist die Relation PaO₂/FiO₂ zu t5 signifikant angestiegen; $t(8) = -3,438$, $p = 0,009$. Die Differenz der Relation PaO₂/FiO₂ von t1 zu t5 beträgt 11,8% des Wertes bei der Eingangsmessung (siehe **Abb. 7**).

Der PaCO₂ und die Dyspnoe-Intensität zeigten keine signifikanten Veränderungen im zeitlichen Verlauf.

Bezüglich der Schmerzintensität konnte in der Interventionsgruppe eine signifikante Veränderung von Messzeitpunkt t2 (vor der Vibraxanwendung) zu t3 (nach der Vibraxanwendung) ermittelt werden. Die Schmerzintensität nahm bei allen Patienten der Interventionsgruppe von Messzeitpunkt t2 zu t3 ab. Mit einem Median von 4 wurde die Schmerzintensität vor der Vibraxanwendung signifikant höher bewertet als nach der Vibraxanwendung ($Mdn = 3$); $z = -2,585$, $p = 0,008$. Im Vergleich zur Schmerzintensität bei der Eingangsmessung (t1) konnten keine signifikanten Unterschiede zur Messung nach der Vibraxanwendung (t3) festgestellt werden; $z = -0,365$, $p = 0,328$. Von t3 (nach der Vibraxanwendung) zu t4 (30 Minuten nach Abschluss der Physiotherapieeinheit) nahm die Schmerzintensität in der Interventionsgruppe zu. Dieser Anstieg war nicht signifikant ($p = 0,266$) (siehe **Abb. 8**).



Tab.4 Veränderung im zeitlichen Verlauf in der Interventionsgruppe.

Zeitpunkt	t1	t2	t3	t4	t5				
	Mean (SE)/ Median (Range)	Mean (SE)/ Median (Range)	P (Ver- änderung t1 zu t2)	Mean (SE)/ Median (Range)	P (Ver- änderung t2 zu t3)	Mean (SE)/ Median (Range)	P (Ver- änderung t3 zu t4)	Mean (SE)/ Median (Range)	P (Ver- änderung t4 zu t5)
Relation PaO ₂ /FiO ₂ (mmHg)	296,5 (34,9)	301,07 (28,46)	0,768	281,82 (32,88)	0,100	263,70 (37,11)	0,759	311,39 (48,14)	0,003 ¹
PaCO ₂ (mmHg)	38,92 (1,68)	39,08 (1,76)	0,891	38,73 (1,82)	0,153	39,00 (2,10)	0,380	38,67 (2,35)	0,831
Dyspnoe NRS (0–10)	4 (0–8)	5 (1–10)	0,141	3,5 (0–8)	0,188	4 (0–7)	1,00	3,5 (0–7)	0,750
Schmerz NRS (0–10)	4 (0–9)	4 (0–10)	0,469	3 (0–10)	0,008 ¹	4,5 (0–9)	0,266	3,5 (0–8)	0,125

SE=Standardfehler des Mittelwertes; t1: Vor Beginn der Physiotherapieeinheit; t2: Nach Einnahme der Ausgangsstellung (Sitz an der Bettkante); t3: 5 Minuten nach Einnahme des Bettkantensitzes (Kontrollgruppe) bzw. nach der Vibraxanwendung (Interventionsgruppe); t4: 30 Minuten nach Abschluss der Physiotherapieeinheit; t5: 60 Minuten nach Abschluss der Physiotherapieeinheit; PaO₂=Sauerstoffpartialdruck; FiO₂=Sauerstoffgehalt der eingeatmeten Luft; PaCO₂=Kohlenstoffdioxidpartialdruck; NRS=Numeric Rating Scale
¹ p<0,05

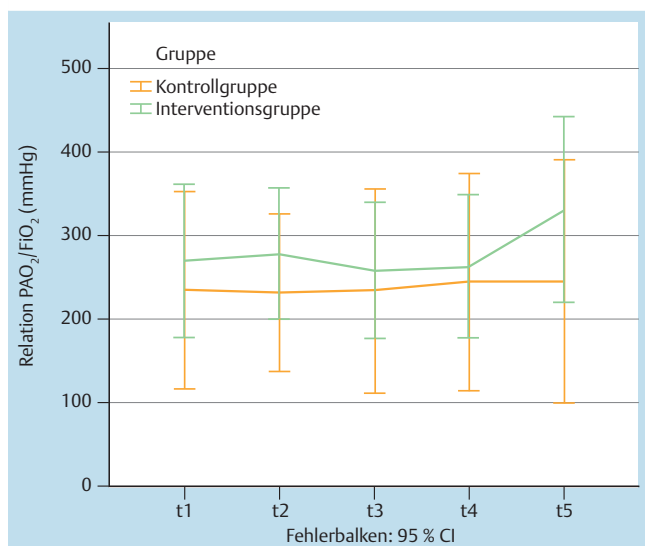


Abb.7 Relation PaO₂/FiO₂ im zeitlichen Verlauf.

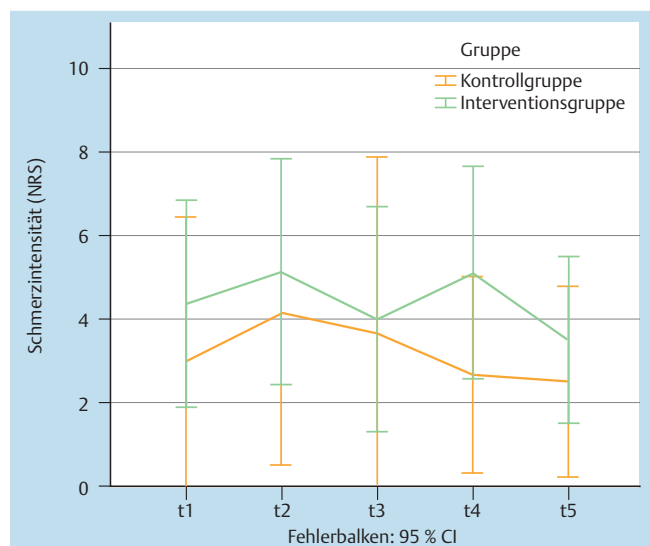


Abb.8 Schmerzintensität im zeitlichen Verlauf.

Unterschiede zwischen der Kontroll- und Interventionsgruppe

Zu keinem Messzeitpunkt konnten in den erhobenen Outcomeparametern signifikante Unterschiede zwischen der Kontrollgruppe und der Interventionsgruppe festgestellt werden ($p \geq 0,09$). Auch die Veränderungen vom Ausgangswert (t_1) zu allen Folgemessungen (t_2 , t_3 , t_4 und t_5) wiesen in keinem gemessenen Outcomeparameter signifikante Gruppenunterschiede auf ($p \geq 0,08$).

Unerwünschte Ereignisse

Bei 35,8% ($n=8$) der eingeschlossenen Patienten traten unerwünschte Ereignisse auf. Davon traten fünf unerwünschte Ereignisse bei Patienten der Kontrollgruppe und drei bei Patienten der Interventionsgruppe auf.

Das am häufigsten aufgetretene unerwünschte Ereignis ($n=4$) war die Angabe von Schwindel. Dies trat bei drei Patienten der Kontrollgruppe und bei einem Patienten der Interventionsgruppe auf. Bei allen trat der Schwindel direkt nach dem Transfer in den Sitz auf. Es mussten keine Gegenmaßnahmen eingeleitet werden, und die Therapie konnte ohne Veränderungen fortgesetzt werden.

Je ein Patient der Kontroll- und der Interventionsgruppe äußerten aufgrund von starken Schmerzen den Wunsch, die Therapie abzubrechen. Bei dem Patient der Kontrollgruppe traten die Schmerzen kurz nach der Einnahme der Ausgangsstellung auf, und der Patient äußerte den Wunsch sich wieder hinzulegen. Daraufhin wurde die Behandlung abgebrochen. Der Patient der Interventionsgruppe äußerte den Abbruchwunsch kurz nach Beginn der Vibraxanwendung. Der Patient gab an, die Vibraxanwendung als „sehr unangenehm“ zu empfinden. Der Patient sah einen Zusammenhang mit einer zurückliegenden Bandscheibenoperation. Die Vibraxanwendung wurde abgebrochen, und der Patient wurde nach Anwendung des TriFlo[®] gelagert.

Ein Patient der Interventionsgruppe musste sich während der Physiotherapieeinheit übergeben. Das Erbrechen trat während der abschließenden Lagerung kurz nach der Anwendung des TriFlo[®] ein. Der Patient wurde daraufhin fertig gelagert. Die Therapeuten sahen keinen direkten Zusammenhang zwischen dem Erbrechen und der Vibraxanwendung.

Ungefähr 5 Minuten nach Abschluss der Physiotherapieeinheit trat bei einem Patienten der Kontrollgruppe ein Herzstillstand auf. Der Patient wurde daraufhin reanimiert.

Schlussfolgerung



Eingeschlossene Patienten

Die ermittelten Probandencharakteristika entsprechen den Durchschnittswerten von Patienten nach einer Herzoperation. In den Probandencharakteristika Geschlecht und BMI konnten signifikante Gruppenunterschiede festgestellt werden. Diese korrelierten auch teilweise signifikant mit den erhobenen Outcomeparametern. Der lineare Zusammenhang kann jedoch als gering eingestuft werden ($r \leq 0,47$). In keinem der gemessenen Outcomeparameter lagen bei Eingangsmessung signifikante Unterschiede zwischen der Kontroll- und der Interventionsgruppe vor ($p \geq 0,19$), wodurch der geringe lineare Zusammenhang bestätigt werden kann. Aufgrund dieser geringen Korrelation kann davon ausgegangen werden, dass die signifikanten Gruppenunterschiede in Geschlecht und BMI in der Interpretation der weiteren Ergebnisse vernachlässigt werden können. In keinem der anderen

erhobenen Probandencharakteristika gab es signifikante Unterschiede zwischen der Interventions- und Kontrollgruppe.

Outcomeparameter bei Eingangsmessung

Die herabgesetzten Blutgaswerte von Patienten nach Herzoperation können anhand der Ergebnisse dieser Studie bestätigt werden. Der ermittelte Durchschnittswert für den PaO_2 lag bei der Eingangsmessung mit $M=106,09$ mmHg ($SE=7,11$ mmHg) etwas über dem Normbereich von 70–95 mmHg [23]. Der PaO_2 alleine hat jedoch nur eine geringe Aussagekraft über die Lungenfunktion, da er stark abhängig von dem Sauerstoffanteil der eingeatmeten Luft ist. Der PaO_2 sollte daher stets in Relation mit dem FiO_2 interpretiert werden [24–25]. Die Relation des $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ lag bei der Eingangsmessung durchschnittlich bei $M=267,19$ mmHg ($SE=24,33$ mmHg). Dieser Wert liegt unter dem Normbereich von 400–500 mmHg [26]. Die unter dem Durchschnitt liegende Relation des $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ war trotz des überdurchschnittlichen PaO_2 zu erwarten, da alle eingeschlossenen Patienten eine Erhöhung des FiO_2 erhielten.

Der PaCO_2 betrug vor der Physiotherapieeinheit durchschnittlich $M=38,83$ mmHg ($SE=1,10$ mmHg) und lag damit im normalen Bereich (Normwerte PaCO_2 : 35–45 mmHg) [23].

Die eingangs gemessene Schmerzintensität mit einem Median von 4 Punkten ist als moderate Schmerzintensität einzustufen [26]. Die große Variabilität in den Schmerzangaben der Patienten könnte unter anderem auf die individuellen Schmerzwahrnehmung, bestehende Komorbiditäten oder die aktuelle Schmerzmedikation zurückzuführen sein.

Direkte Effekte der Vibraxanwendung

Direkte Effekte der Vibraxanwendung (signifikante Veränderungen in der Interventionsgruppe zwischen der Messung direkt vor der Vibraxanwendung (t_2) im Vergleich zu direkt nach der Vibraxanwendung (t_3)) konnten lediglich für das Outcomeparameter Schmerzintensität aufgezeigt werden.

Die mittlere Abnahme der Schmerzintensität in der Interventionsgruppe von t_2 zu t_3 lag bei einem Punkt auf der NRS. Diese Veränderung ist nicht als klinisch relevant zu betrachten [27].

In allen anderen gemessenen Outcomeparametern konnten keine signifikanten Veränderungen zwischen der Messung direkt vor der Vibraxbehandlung (t_2) im Vergleich zu direkt nach der Anwendung (t_3) aufgezeigt werden. Dies deutet darauf hin, dass durch die Vibraxanwendung keine direkten Effekte bezüglich Oxygenierungsstatus auftreten.

Effekte der Vibraxanwendung 30 und 60 Minuten nach der Therapieeinheit

In der Kontrollgruppe konnten in keinem der gemessenen Outcomeparameter signifikante Veränderungen im zeitlichen Verlauf festgestellt werden. Aus diesem Grund ist anzunehmen, dass signifikante Veränderungen in der Interventionsgruppe über die Zeit auf die Vibraxanwendung zurückzuführen sind.

In dem Zeitraum zwischen der Eingangsmessung (t_1) und der Messung eine halbe Stunde nach der Physiotherapieeinheit (t_4) kam es in keinem der Outcomeparameter zu signifikanten Veränderungen ($p \geq 0,13$). Erst eine Stunde nach der Physiotherapieeinheit (t_5) konnte in der Interventionsgruppe ein signifikanter Unterschied der Relation $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ im Vergleich zu der Eingangsmessung festgestellt werden.

Physiologische Erklärungsmodelle der gemessenen Veränderungen

Zur Erklärung von Veränderungen des Gasaustausches durch mechanische Vibrationen werden in der Literatur zwei grundlegende Erklärungsmodelle angeführt:

1. Durch die mechanische Vibration könnte es zu einer Erhöhung der Gasaustauschfläche kommen, indem zuvor nicht belüftete Lungenabschnitte belüftet werden. Dies könnte zum Beispiel durch eine Entspannung der Thoraxmuskulatur und Steigerung der Atmungstiefe erreicht werden [15, 28]. Allerdings ist festzuhalten, dass dieser Wirkmechanismus wahrscheinlich nicht der Grund für die Veränderung der Blutgaswerteparameter nach einer Stunde darstellt, da diese Effekte während oder direkt im Anschluss an die Vibraxanwendung zu erwarten wären.
2. Wie in der Literatur häufig beschrieben, könnte die Vibraxanwendung eine Sekretmobilisation bewirken [9–11, 15, 28, 29], wobei die Evidenzlage keine abschließende Bewertung ermöglicht. Für die sekretmobilisierende Wirkung einer Vibrationsanwendung werden in der Literatur mehrere Erklärungsmodelle beschrieben. Da Mukus thixotrop ist, könnte es, aufgrund der anhaltenden mechanischen Beanspruchung durch die Vibraxanwendung, zu einer Abnahme der Viskosität kommen [15, 28]. Auch eine Anregung der Zilientätigkeit wird in der Literatur diskutiert [28].

Durch eine Sekretmobilisation könnten zuvor verlegte Lungenbereiche wieder eröffnet und damit auch ventiliert werden, was eine Erhöhung der Gasaustauschfläche zur Folge haben könnte. Da der Sekrettransport eine zeitliche Verzögerung mit sich bringt, könnte dies auch einen Erklärungsansatz dafür liefern, warum die signifikanten Effekte in dem Parameter Relation $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ erst 60 Minuten nach der Physiotherapieeinheit auftraten.

Auf Basis der in dieser Studie erhobenen Daten können die physiologischen Wirkmechanismen hinter den aufgezeigten Effekten nicht beurteilt werden.

Bezüglich des Outcomeparameters PaCO_2 konnten keine signifikanten Veränderungen über die Zeit gemessen werden. Dies könnte darauf zurückgeführt werden, dass die Werte des PaCO_2 bereits bei der Eingangsmessung im Normwertebereich lagen.

Vergleich mit externer Evidenz

Der signifikante Anstieg des PaO_2 eine Stunde nach der Vibraxanwendung deckt sich mit den Ergebnissen von Holody & Goldberg (1981). Allerdings wurde dort im Gegensatz zu der vorliegenden Arbeit bereits 30 Minuten nach der Vibraxanwendung ein signifikanter Unterschied des PaO_2 ermittelt. Eine mögliche Erklärung dafür könnte in der Dauer der Anwendung gesehen werden. Holody & Goldberg (1981) applizierten mechanische Vibrationen über 30 Minuten, während in diesem Studiendesign in Anlehnung an die klinische Anwendung die gewählte Behandlungszeit 5 Minuten betrug. Es kann also festgehalten werden, dass in der Studie von Holody & Goldberg (1981) der Beginn der Intervention zum Zeitpunkt der Follow-Up Messung nach 30 Minuten bereits 60 Minuten zurücklag [15].

Das Ergebnis dieser Studie bezüglich der nicht signifikanten Veränderung des PaCO_2 deckt sich ebenfalls mit den Resultaten aus der Studie von Holody & Goldberg (1981) [15].

Gruppenunterschiede

Obwohl nur in der Interventionsgruppe signifikante Veränderungen in einzelnen Outcomeparametern über die Zeit aufgetreten sind, gab es zu keinem Messzeitpunkt signifikante Gruppenunterschiede. Dies könnte dadurch erklärt werden, dass ein Vergleich innerhalb einer Gruppe sensitiver ist als der Vergleich zweier unabhängiger Gruppen. Ein weiterer Grund könnte die geringe Fallzahl der Pilotstudie sein.

Da der Gruppenunterschied zu keinem Messzeitpunkt signifikant war, ist allerdings die klinische Relevanz der Veränderung durch die Vibraxanwendung in Frage zu stellen.

Umsetzbarkeit von Vibrax und unerwünschte Ereignisse

Alle Patienten der Interventionsgruppe erhielten die Physiotherapieeinheit im Rahmen dieser Studie am ersten postoperativen Tag. Bei 91,67% (n=11) der Patienten der Interventionsgruppe war die Vibraxanwendung nach dem vorgegebenen Anwendungsschema klinisch umsetzbar. Bei einem Patient musste die Vibraxanwendung abgebrochen werden.

Bei diesem Patient wurde ein Zusammenhang zwischen einer zurückliegenden Bandscheibenoperation und den bei der Vibraxanwendung aufgetretenen Schmerzen vermutet. In der Gebrauchsanweisung des Vibraxgerätes wurde dies nicht als Kontraindikation angegeben [12]. Auch bei der weiteren Literaturrecherche wurde in keiner Quelle ein Bandscheibenvorfall als Kontraindikation für die Vibraxanwendung aufgeführt. Bei der Recherche bezüglich der Kontraindikationen für die Anwendung von Vibrax konnte festgestellt werden, dass derzeit keine einheitlichen Angaben dazu vorliegen [9, 12, 14, 17].

Inwiefern eine Bandscheibenproblematik als Kontraindikation für die Anwendung von Vibrax zu sehen ist und welche weiteren absoluten und relativen Kontraindikationen vor einer Vibraxanwendung abgeklärt werden sollten, bleibt unklar.

Dieses Ergebnis deckt sich nicht mit den Ergebnissen anderer Studien, die eine Anwendung von mechanischer Vibration bei Patienten auf der Intensivstation untersucht haben. In keiner der Studien wurde von unerwünschten Ereignissen durch die Anwendung berichtet [14–16].

Um die Anzahl unerwünschter Ereignisse durch die Vibraxanwendung zu minimieren, wäre die Erforschung und Festlegung spezifischer Kontraindikationen der Vibraxanwendung notwendig.

Bei 7 weiteren Patienten traten unerwünschte Ereignisse während oder kurz nach der Physiotherapieeinheit auf. Einer der Patienten der Interventionsgruppe musste bei der Lagerung im Anschluss an die TriFlo® Anwendung erbrechen. Die Therapeuten sahen keine Verbindung zwischen dem Erbrechen und der Vibraxanwendung, sondern führten das unerwünschte Ereignis auf den Lagewechsel in Kombination mit Nebenwirkung der Schmerzmedikation zurück. Ein Zusammenhang kann in diesem Fall dennoch nicht definitiv ausgeschlossen werden. Alle weiteren unerwünschten Ereignisse traten in der Kontrollgruppe oder vor der Vibraxanwendung auf, wodurch ein Zusammenhang nicht in Frage kommt.

Bei Patienten auf der Intensivstation kann ein Lagewechsel, wie zum Beispiel der Transfer von Rückenlage in den Sitz an die Bettkante, unerwünschte hämodynamische Reaktionen hervorrufen [30]. Dies könnte eine Erklärung für die unerwünschten Ereignisse Schwindel, Erbrechen sowie Herzstillstand sein. Bezüglich des Herzstillstandes im Anschluss an die Physiotherapieeinheit bleibt offen, inwiefern dieser im Zusammenhang mit der Be-

handlung stand oder unabhängig von der Therapie aufgetreten ist.

Limitationen der Studie

Es konnte kein Anwendungsschema für die Durchführung von Vibrax in der Literatur gefunden werden. Aus diesem Grund wurde das in dieser Studie verwendete Anwendungsschema in Kooperation mit den auf der Intensivstation des Berufsgenossenschaftlichen Universitätsklinikums Bergmannsheil, Bochum, tätigen Physiotherapeuten erstellt.

Da die Studie auf der Intensivstation durchgeführt wurde, fanden, neben der standardisierten Physiotherapieeinheit, zahlreiche weitere Therapien statt. Darunter fallen pflegerische und ärztliche Maßnahmen wie zum Beispiel die Anpassung der Medikation, Verbandswechsel, Lagerung und Kontrolluntersuchungen. Diese Maßnahmen fielen teilweise in den Zeitraum der Datenerhebung und konnten im Rahmen der Studie nicht standardisiert werden. Maßnahmen, von denen eine erhebliche Beeinflussung der Outcomeparameter zu vermuten wäre (z. B. Veränderung des FiO_2 oder weitere Vibraxanwendungen), wurden im Zeitraum der Datenerhebung kontrolliert oder nicht durchgeführt.

Der letzte gewählte Messzeitpunkt (t_5) lag in dieser Studie eine Stunde nach Abschluss der Physiotherapieeinheit. Zu diesem Messzeitpunkt konnten erstmals signifikante Veränderung der Lungenparameter in der Interventionsgruppe festgestellt werden. Da zu keinem späteren Messzeitpunkt Daten erhoben wurden, bleibt unklar, wie lang die ermittelten Effekte angehalten haben und ob sich die Werte in der Zeit nach der letzten Datenerhebung weiter verändert haben. Um dies zu klären, wäre ein längeres Follow-up im Anschluss an die Behandlung notwendig. Diese Studie untersuchte die Anwendung von Vibrax bei Patienten am 1. oder 2. Tag auf der Intensivstation nach einem kardiochirurgischen Eingriff. Eine Übertragung der in dieser Studie ermittelten Ergebnisse bezüglich der Wirkung von Vibrax auf andere medizinische Situationen ist nur begrenzt möglich.

Fazit



In der Interventionsgruppe kam es zu einer signifikanten Reduktion der Schmerzintensität im Zeitraum zwischen der Messung direkt vor der Vibraxanwendung (t_2) und direkt nach der Vibraxanwendung (t_3). Die Differenz von einem Punkt auf der NRS ist jedoch nicht als klinisch relevant einzustufen.

60 Minuten nach der Vibraxanwendung konnte in der Interventionsgruppe ein signifikanter Anstieg der Relation $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ im Vergleich zu den eingangs gemessenen Werten festgestellt werden. Diese Pilotstudie zeigt Hinweise auf eine günstige Beeinflussung der pulmonalen Funktion durch die Anwendung von Vibrax bei Patienten auf der Intensivstation am 1. oder 2. Tag nach einem kardiochirurgischen Eingriff. Auf welche physiologischen Wirkmechanismen die Veränderungen zurückgeführt werden könnten und wie lang die Effekte anhalten, kann im Rahmen dieser Studie nicht abschließend beantwortet werden.

Zu keinem Messzeitpunkt konnten signifikante Gruppenunterschiede aufgezeigt werden. Aus diesem Grund ist auch die klinische Relevanz der signifikant gestiegenen Relation $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ durch die Vibraxanwendung in Frage zu stellen.

In dieser Studie konnte festgestellt werden, dass Vibrax bei einem Großteil der Patienten (91,67%) nach dem vorgegebenen Anwendungsschema bereits am 1. postoperativen Tag durchgeführt

werden kann. Gruppenübergreifend lag die Rate unerwünschter Ereignisse bei 35,8%. Von den insgesamt 8 aufgetretenen unerwünschten Ereignissen wurde bei einem ein Zusammenhang mit der Vibraxanwendung vermutet. Um die Anzahl unerwünschter Ereignisse durch die Vibraxanwendung zu minimieren, wäre die Festlegung spezifischer Kontraindikationen der Vibraxanwendung notwendig.

Klinische Implikationen der Ergebnisse

Vibrax kann, bei Patienten mit Normalverlauf nach einer Herzoperation, als physiotherapeutische Maßnahme auf der Intensivstation in Betracht gezogen werden. In der vorliegenden Studie konnten signifikante Effekte der Vibraxanwendung auf die Blutgaswerte aufgezeigt werden. Ob diese klinisch relevant sind, konnte jedoch nicht abschließend geklärt werden. Weitere mögliche Effekte der Vibraxanwendung, wie zum Beispiel die Tonusregulierung oder der „Wohlfühlfaktor“ wurden in dieser Studie nicht untersucht, sollten aber bei der Auswahl der Therapiemaßnahmen mit berücksichtigt werden. Das in dieser Studie verwendete Anwendungsschema stellte sich als klinisch umsetzbar heraus. Es könnte dazu dienen, die Anwendung von Vibrax im klinischen Alltag zu standardisieren.

Da es keine einheitlichen Kontraindikationen für die Anwendung von Vibrax gibt, sollten klinikinterne Kontraindikationen definiert und interdisziplinär kommuniziert werden. Während der Therapie sollte auf Veränderungen des Patienten geachtet werden, und die Vitalwerte sollten stets via Monitor kontrolliert werden, um eventuelle Komplikationen frühzeitig erkennen zu können.

Ausblick für die Forschung

In dem Bereich der Anwendung von Vibrax bei Patienten nach einer Herzoperation auf der Intensivstation besteht weiterhin Forschungsbedarf.

Um die Anzahl unerwünschter Ereignisse durch die Vibraxanwendung zu minimieren, wäre Grundlagenforschung bezüglich der absoluten und relativen Kontraindikationen der Vibraxanwendung notwendig.

Es existiert kein Standard zur Applikation von Vibrax. Für die Entwicklung eines evidenzbasierten Anwendungsschemas fehlen Studien, die a) Effekte von Vibrax untersucht und ihr Anwendungsschema publiziert haben und b) die Effektivität verschiedener Anwendungsweisen miteinander vergleichen. Zu untersuchende Aspekte stellen unter anderem die Anwendungsdauer, die zu verwendende Geräteeinstellung sowie das zu behandelnde Gebiet und die Bewegungsrichtung auf dem Thorax des Patienten dar.

Die bisher in Studien aufgezeigten Effekte durch die Vibraxtherapie sollten in folgenden Studien mit höheren Fallzahlen weiter untersucht werden, um die Ergebnisse zu prüfen. Ein längeres Follow-up wäre notwendig, um Auskunft über die Langzeitwirkung der Anwendung zu erhalten.

Ein weiterer Forschungsaspekt wäre die Subgruppenbildung. So könnte zum Beispiel festgestellt werden, ob Patienten mit komplikativen Verläufen stärker von der Vibraxanwendung profitieren als Patienten mit Normalverlauf. Zudem sollten die physiologischen Wirkmechanismen der Effekte erforscht werden.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass weitere randomisierte, kontrollierte Studien benötigt werden, um detaillierte Aussagen bezüglich der Effekte und der physiologischen Wirkmechanismen von Vibrax geben zu können.

Interessenkonflikt



Die Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Danksagung



Wir möchten Frau Siebel und Herrn Lehmann für die wichtige Unterstützung bei der Durchführung unserer Studie herzlich danken. Auch danken wir allen Patienten für die Teilnahme an dieser Studie.

Anhang

Zusatzmaterial zu diesem Beitrag (Anwendungsschemata Vibrax, Herz-Kreislauf-Training und TriFlo) finden Sie online unter:

<http://dx.doi.org/10.1055/s-0042-109576>

Literatur

- 1 Gesundheitsberichterstattung des Bundes (GBE). Operationen und Prozeduren der vollstationären Patientinnen und Patienten in Krankenhäusern. Gliederungsmerkmale: Jahre, Behandlungsort, Alter, Geschlecht (22.09.2015). Im Internet: <https://www.gbe-bund.de> [Stand: 06.05.2016]
- 2 Arcêncio L, Souza MDD, Bortolin BS et al. Pre- and postoperative care in cardiothoracic surgery: a physiotherapeutic approach. *Rev Bras Cir Cardiovasc* 2008; 23: 400–410
- 3 Brasher PA, McClelland KH, Denehy L et al. Does removal of deep breathing exercises from a physiotherapy program including pre-operative education and early mobilisation after cardiac surgery alter patient outcomes? *Aust J Physiother* 2003; 49: 165–173
- 4 Yanez-Brage I, Pita-Fernandez S, Juffe-Stein A et al. Respiratory physiotherapy and incidence of pulmonary complications in off-pump coronary artery bypass graft surgery: an observational follow-up study. *BMC Pulm Med* 2009; 9: 36
- 5 Larsen R, Ziegenfuß T. *Beatmung: Grundlagen und Praxis*. Heidelberg: Springer; 2009
- 6 Westerdahl E, Lindmark B, Eriksson T et al. The immediate effects of deep breathing exercises on atelectasis and oxygenation after cardiac surgery. *Scand Cardiovasc J* 2003; 37: 363–367
- 7 Westerdahl E, Lindmark B, Almgren SO et al. Chest physiotherapy after coronary artery bypass graft surgery – a comparison of three different deep breathing techniques. *J Rehabil Med* 2001; 33: 79–84
- 8 Chaboyer W, Gass E, Foster M. Patterns of chest physiotherapy in Australian Intensive Care Units. *J Crit Care* 2004; 19: 145–151
- 9 Ciesla ND. Chest physical therapy for patients in the intensive care unit. *Phys Ther* 1996; 76: 609–625
- 10 Stiller K. Physiotherapy in intensive care: towards an evidence-based practice. *Chest* 2000; 118: 1801–1813
- 11 McCarren B, Alison JA. Physiological effects of vibration in subjects with cystic fibrosis. *Eur Respir J* 2006; 27: 1204–1209
- 12 Kern GmbH D. *Vibratam de luxe – Gebrauchsanweisung*. GmbH DK;
- 13 Freiling PM. Ist-Zustand der Physiotherapie auf deutschen Intensivstationen. *Med Klin Intensivmed Notfmed* 2004; 41: 54–63
- 14 Chen YC, Wu LF, Mu PF et al. Using chest vibration nursing intervention to improve expectoration of airway secretions and prevent lung collapse in ventilated ICU patients: a randomized controlled trial. *J Chin Med Assoc* 2009; 72: 316–322
- 15 Holody B, Goldberg HS. The effect of mechanical vibration physiotherapy on arterial oxygenation in acutely ill patients with atelectasis or pneumonia. *Am Rev Respir Dis* 1981; 124: 372–375
- 16 Poelaert J, Lannoy B, Vogelaers D et al. Influence of chest physiotherapy on arterial oxygen saturation. *Acta Anaesthesiol Belg* 1991; 42: 165–170
- 17 Harden B, Cross J, Broad M et al. *Respiratory physiotherapy: An on-call survival guide*. 2nd edn. Churchill Livingstone China: Elsevier Ltd; 2009
- 18 Gangopadhyay S, Acharjee A, Nayak SK et al. Immediate extubation versus standard postoperative ventilation: Our experience in on pump open heart surgery. *Indian J Anaesth* 2010; 54: 525
- 19 Grebstad J, Svendsen L, Gulsvik A. Precision of arterial blood gases and cutaneous oxygen saturation in healthy non-smokers. *Scand J Clin Lab Invest* 1989; 49: 265–268
- 20 Malley WJ. *Clinical blood gases*. Elsevier Health Sciences; 2005
- 21 [Anonym] AARC clinical practice guideline. In-vitro pH and blood gas analysis and hemoximetry. *Respir Care* 1993; 38: 505–510
- 22 Elsner F. *Statistische Datenanalyse mit SPSS für Windows*(26.02.2009). Universität Osnabrück- Rechenzentrum. Im Internet: <http://www.home.uni-osnabrueck.de/elsner/Skripte/spss.pdf> [Stand: 27.09.2015]
- 23 Bardenheuer HJ, Forst H, Rossaint R et al., Hrsg. *Weiterbildung für den Anästhesisten 2004*. Heidelberg: Springer Medizin Verlag; 2005
- 24 Barthwal M. Analysis of arterial blood gases – a comprehensive approach. *J Assoc Physicians India* 2004; 52
- 25 Rowe KJ, Arrowsmith JE. Interpretation of arterial blood gases. *Surg* 2007; 25: 375–379
- 26 Gerbershagen H, Rothaug J, Kalkman C et al. Determination of moderate-to-severe postoperative pain on the numeric rating scale: a cut-off point analysis applying four different methods. *Br J Anaesth* 2011; 107: 619–626
- 27 Oesch P, Hilffiker R, Keller S et al. *Assessments in der muskuloskelettalen Rehabilitation*. Bern: Hans Huber Verlag; 2007
- 28 Eisenschink AM, Missbach HB, Kirchner E. *Kinästhetische Mobilisation: Wie Pflegekräfte die Genesung unterstützen können – eine Studie am Universitätsklinikum Ulm*. Hannover: Schlütersche; 2003
- 29 Clini E, Ambrosino N. Early physiotherapy in the respiratory intensive care unit. *Respir Med* 2005; 99: 1096–1104
- 30 Adler J, Malone D. Early mobilization in the intensive care unit: a systematic review. *Cardiopulm Phys Ther J* 2012; 23: 5