

Zur Frage der "Zumutbarkeit"

a

Rückatmung von Kohlendioxid bei Verwendung von Operationsmasken als hygienischer Mundschutz an medizinischem Fachpersonal

Die Dissertation wurde am 29.11.2004 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 11.05.2005 angenommen.

b

Einsatz von Kohlendioxid (CO₂)-Feuerlöschern in Räumen

c

Versuche zur Kohlendioxid-Konzentration in der Atemluft unterhalb von Mund-Nasen-Schutzmasken

a

Auszug aus der angeführten Dissertation

Vollständige Version unter

<https://mediatum.ub.tum.de/602557>

Institut für Anaesthesiologie der Technischen Universität München Klinikum rechts der Isar
(Direktor: Univ.-Prof. Dr. E. Kochs)

Rückatmung von Kohlendioxid bei Verwendung von Operationsmasken als hygienischer Mundschutz an medizinischem Fachpersonal

Ulrike Butz

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Medizin genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. D Neumaier

Prüfer der Dissertation:

1. apl. Prof. Dr. M. Blobner

2. Univ.-Prof. Dr. E. Kochs

Die Dissertation wurde am 29.11.2004 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 11.05.2005 angenommen.

1

dass es zu einer CO₂-Akkumulation unter der Maske und infolgedessen zu einer CO₂-Rückatmung und einem daraus resultierenden Anstieg des Kohlendioxid im Blut kommt.

Maske 1 vom Typ 3M® OP-Maske 1810F

Maske 2 vom Typ SURGINE® 4238 Antifog-Gesichtsmaske, Mölnlyche Health Care

2 Verlaufsanalyse der Messwerte

2.1 Transkutanes CO₂

In den Studiengruppen B und C, d.h bei den Messungen mit den Masken 1 und 2 nahmen die transkutan gemessenen Partialdrucke des intrakapilären Kohlendioxid im Vergleich zu den Ausgangswerten signifikant zu. Im Vergleich dazu waren in Studiengruppe A, d. h bei den Betrachtungen ohne Maske, erwartungsgemäß keine Unterschiede zu verzeichnen. Sobald die Operationsmaske angelegt wurde, stiegen die Werte für transkutanes CO₂ kontinuierlich an. Nach Entfernung der Maske fielen die Messergebnisse wieder auf die Ausgangswerte bzw. bei Maske 1 teilweise unter die Ausgangswerte ab (Abb.6). Im Vergleich der beiden Studiengruppen miteinander zeigte sich, dass bei Maske 2 zu den Messzeitpunkten nach 3 min, 6 min und 9 min ein stärkerer Anstieg des CO₂-Partialdruckes zu beobachten war, als dies bei Maske 1 sowie bei der Versuchsreihe ohne Maske zu finden war. Alle Ergebnisse der mit Maske 1 durchgeführten Testreihe waren durchgehend niedriger, als die der vergleichenden Maske 2 und der Gruppe ohne Maske. Die beobachteten Unterschiede zwischen den Studiengruppen waren jedoch nicht signifikant.

2.2 Atemfrequenz

Die Atemfrequenz der untersuchten Probanden verhielt sich erwartungsgemäß in der Bandbreite der physiologischen Schwankungen (Tab.5). Eine signifikante Veränderung der Atemaktivität unter Verwendung der Operationsmaske 1 in Testreihe B im Vergleich zur Testreihe A ohne Maske wurde nicht bestätigt. Die Testversuche mit Maske 2 in Testreihe C ergaben geringfügig erhöhte Ausgangswerte, ein signifikanter Effekt war auch hier nicht zu finden

3 Beobachtungen der Kontrollparameter

3.1 Herzfrequenz

Die Herzfrequenz während der Versuche wurde als einer der Kontrollparameter erfasst. Sie unterlag der physiologischen Schwankung (Tab.6). Ein signifikanter Effekt hinsichtlich einer Erhöhung oder Verringerung der Herzfrequenz wurde während der gesamten Messzeit nicht beobachtet

3.2 Sauerstoffsättigung

Sauerstoffsättigung wurde als Kontrollparameter beobachtet und erfasst. Die gemessenen Werte lagen alle im Normbereich. Eine signifikante Änderung während der Tests war nicht zu beobachten.

3.3

CO₂ - Konzentration unter der Operationsmaske Die Konzentration des Kohlendioxids unter der Operationsmaske ergab Partialdrucke von 21,33 mmHg bis 24,13 mmHg. Die Kumulation setzte rasch nach dem Anlegen der Maske ein. Nach Entfernen der Maske fielen die Werte wiederum rasch auf den Ausgangswert ab

3.4

Subjektiver Komfort Bei allen Testpersonen wurde eine Befragung nach dem subjektiv empfundenen Komfort beim Tragen der beiden Einwegmasken durchgeführt. Alle Probanden gaben einstimmig an, Maske 1 als angenehmer zu empfinden als die

vergleichende Maske 2. Als Begründung wurde der subjektiv niedriger empfundene Temperaturunterschied und die subjektiv als besser beurteilte Belüftung der OP-Maske angegeben.

Das Ergebnis dieser Studie zeigt bei beiden untersuchten Maskentypen einen signifikanten Anstieg des Partialdruckes für Kohlendioxid im Blut der Probanden. Die transkutan gemessenen arteriellen CO₂-Werte nahmen bis zu 5,5 mmHg zu. Dieser Anstieg wurde durch die eingeschränkte CO₂-Permeabilität der Masken verursacht. Das ausgeatmete CO₂ konnte nur teilweise durch die OP-Masken entweichen, dadurch kam es unter den Masken zu einer Akkumulation von CO₂. Dieser Effekt führte zu dem Ergebnis, dass die Probanden Luft einatmeten, deren CO₂-Gehalt höher war als derjenige, der umgebenden Raumluft. Dies wiederum führte zu einem Anstieg der Kohlendioxid-Konzentration im Blut der Versuchspersonen, welcher sich unmittelbar nach Anlegen der Operationsmaske zeigte. Die Konzentrationsänderung wurde durch die transkutan gemessenen CO₂-Partialdrucke erfasst. In Vergleich der beiden Masken war bei Maske 2 ein schnellerer Anstieg des transkutan gemessenen CO₂-Partialdruckes zu verzeichnen. Insgesamt wurden bei der untersuchten Maske 2 höhere Blutwerte für PCO₂ gefunden. Dieser Unterschied zwischen den beiden Masken war jedoch nicht signifikant.

4.3

Klinische Relevanz der Ergebnisse In der vorliegenden Studie wurde die Hypothese der Akkumulation von CO₂ bei der Verwendung von chirurgischen Operationsmasken bewiesen. Die Akkumulation führte zu einer verstärkten Rückatmung von CO₂ und dies führte wiederum zu einem signifikanten Anstieg von CO₂ im Blut der getesteten Probanden. Die Messzeit von 30 Minuten und der bestehende Versuchsaufbau führten zu keiner signifikanten Steigerung der Atmung im Sinne einer kompensatorischen Hyperventilation. Es darf jedoch angenommen werden, dass die Effekte in der täglichen Klinikroutine ausgeprägter ausfallen würden: Die Operationsmasken werden häufig sehr viel länger getragen als dies in der vorliegenden Studie geschah. Des Weiteren wurde die Studie an normal atmenden Personen im Ruhezustand gemessen. Bei körperlicher Arbeit und psychischer Anspannung wird die Atmung aktiviert, was zu einer stärkeren Rückatmung von CO₂ und wiederum zu einer Erhöhung der CO₂-Konzentration im Blut des OP-Personals führen könnte. Eine Änderung der Blutgase kann Ursache eingeschränkter kognitiver Fähigkeiten sein. Van der Post beschreibt eine Zunahme der Reaktionszeiten bei Hypoxämie (64). Noble, Jones und Davis untersuchten ebenfalls die kognitive Leistung unter moderater Hypoxämie und berichten von einer Abnahme psychomotorischer Fähigkeiten, einer Steigerung der Reaktionszeit und einer insgesamt eingeschränkten kognitiven Leistungsfähigkeit (48). Fothergill untersuchte den Effekt eines erhöhten CO₂-Partialdruckes auf das Nervensystem und bewies eine Abnahme der Geschwindigkeit und der Genauigkeit beim Lösen von psychomotorischen Aufgaben.

Weiterhin sollte eine kritische Diskussion über den Einsatzbereich der OP-Masken angeregt werden, um unnötig lange Tragezeiten zu vermeiden.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Die Akkumulation von Kohlendioxid unter chirurgischen Operationsmasken wird bei normal atmenden Personen durch die beeinträchtigte Permeabilität der Masken verursacht. Diese Effekte wurden an zwei verschiedenen Masken und 15 gesunden, männlichen Probanden getestet. Es wurden drei verschiedene Testreihen durchgeführt, wobei eine Testreihe mit dem Maskentyp 1 (3M® OP-Maske 1810 F),

eine zweite Testreihe mit Maskentyp 2 (Surgine® 4238 Antifog Gesichtsmaske) sowie eine dritte Testreihe ohne chirurgische Operationsmaske vollzogen wurde. Jeder Proband nahm an jeder Testreihe in zufälliger Reihenfolge teil. Vor dem Aufsetzen der Maske, zu acht Zeitpunkten während 30 min Tragedauer und 5 min nach Entfernen der Maske, wurden der transkutane Kohlendioxid-Partialdruck, die Atemfrequenz, die Herzfrequenz und die pulsoxymetrische Sauerstoffsättigung gemessen. Die Akkumulation von Kohlendioxid (22,49 mmHg, STEV 2,30) unter jeder untersuchten chirurgischen Operationsmaske erhöhte den transkutan gemessenen Kohlendioxid-Partialdruck (5,60 mmHg, STEV 2,38). Eine kompensatorische Erhöhung der Atemfrequenz oder ein Abfall der Sauerstoffsättigung wurde dabei nicht nachgewiesen. Da Hyperkapnie verschiedene Hirnfunktionen einschränken kann, soll diese Studie Hersteller von chirurgischen Operationsmasken aufrufen, Filtermaterialien mit höherer Permeabilität für Kohlendioxid zu verwenden. Dies sollte dazu führen, dass eine verminderte Akkumulation und Rückatmung von Kohlendioxid bei medizinischem Fachpersonal gewährleistet wird. Solange muss der Einsatzbereich der OP-Masken kritisch diskutiert und definiert werden, um unnötige Tragezeiten zu vermeiden.

b

Maximaler Grenzwert von 5 Vol.-% CO₂:

Bei Kohlendioxid ist z.B. ab einer Konzentration von 5 Vol.-% CO₂ mit Gesundheitsschäden zu rechnen und ab einer Konzentration von mehr als 8 Vol.-% CO₂ besteht Lebensgefahr

aus: **Einsatz von Kohlendioxid (CO₂)-Feuerlöschern in Räumen**

<https://publikationen.dguv.de/widgets/pdf/download/article/3573>

c

Versuche zur Kohlendioxid-Konzentration in der Atemluft unterhalb von Mund-Nasen- Schutzmasken.

<https://vimeo.com/457543475>

Abklärung ob und wenn „ja“, wie hoch die Kohlendioxid-Konzentration in der Atemluft unter Nasen-Mund-Schutzmasken ist. Weiters war abzuklären, ob die gemessenen Konzentrationen gesundheitsschädlich sein können.

Versuchsleiter: Ing. Dr. Helmut Traindl, Traindl-consult (Ing-Büro für Technischen Umweltschutz, Technische Chemie und Erdwissenschaften, allgemein beeideter und gerichtlich zertifizierter Sachverständiger, Sicherheitsfachkraft.)

Versuchs-„Aufbau“: Die Testperson positionierte nach Aufsetzen der MNS-Maske einen Schlauch unter die MNS-Maske. Danach wurde die Luft mit 0,5 l/Min. unterhalb der MNS-Maske abgesaugt, wobei darauf geachtet wurde, dass die Absaugung im Ein-/Ausatmungsbereich zwischen Mund (Oberlippe) und Nase erfolgte. Verwendetes Gasmessgerät: Gasanalysator BM 5000 (Geotechnical Instruments Ltd.)

Spezifikation:

Dauer der Versuche: Jeweils ca. 5 Minuten.

Parameter Kohlendioxid Messbereich: 0-100 Vol. % Genauigkeit: +/- 0,5 Vol %

Sensor-Typ: Infrarot-Sensor

Parameter Sauerstoff Messbereich: 0-25 Vol. % Genauigkeit: +/- 1,0 Vol. %

Sensor-Typ: Elektrochemischer Sensor

Die ersten erhöhten Kohlendioxid-Konzentrationen waren bereits wenige Sekunden nach Beginn der Messungen festzustellen. In der Zeitspanne davor wurde die atmosphärische Luft im Messsystem, im Wesentlichen dem Absaugschlauch, abgesaugt. Die jeweils einige Minuten andauernden kontinuierlichen Messungen zeigten bei allen Versuchspersonen erhöhte Kohlendioxid-Messwerte in einem Konzentrationsbereich von ca. 3 - 5 Vol.% auf gleichbleibendem Niveau.

Beurteilungsgrundlagen:

Grenzwerteverordnung 2018 i.d.g.F. Grenzwerteverordnung 2020 (aktuelle Fassung, Kundmachung 02.09.2020)

Versuchspersonen / Alter / Kohlendioxid:

Versuchsperson 1: Valentina Brötzner Alter: 13 J. Kohlendioxid: 3,4 Vol. % - 5,0 Vol. %

Versuchsperson 2: Edith Brötzner Alter: 36 J. Kohlendioxid: 2,8 Vol. % - 3,6 Vol. %

Versuchsperson 3: Ing. Dr. Helmut Trainkl Alter: 65 J. Kohlendioxid: 4,2 Vol. % - 5,0 Vol. %

Beurteilung:

Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft. Kohlenstoffdioxid als Lüftungsparameter. Hrsg.: Arbeitskreis Innenraumluft am Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW), 1010 Wien. 2017.

Die gemessenen Kohlendioxid-Konzentrationen unter den MNS-Masken lagen zwischen 2,8 Vol.% und 5,0 Vol. %. Die teilweise leicht unterschiedlichen Größenordnungen könnten auf individuelle Unterschiede der Versuchspersonen oder die Art der verwendeten MNS-Masken zurückzuführen sein.

Allen Testergebnissen ist gemeinsam, dass die Kohlendioxid-Konzentration in der Atemluft unter den MNS-Masken weit über den gesetzlich vorgegebenen maximalen Arbeitsplatzkonzentrationen (MAK-Werte) von 5.000ppm, entsprechend 0,5 Vol.% (Tagesmittelwert) bzw. 10.000ppm, entsprechend 1,0 Vol. % (Kurzzeitwert) liegen. Der Vergleich mit den Grenzwerten der Grenzwerteverordnung 2020 ist allerdings nur für erwachsene, gesunde Personen zulässig (Beurteilungszeitraum: 8 Std./Tag, 40 Std./Woche). In der Grenzwerteverordnung 2020 werden als Personenkreis, für den MAK-Werte gelten „gesunde Personen im erwerbsfähigen Alter“ vorgegeben. Für alle anderen Personen wären die Empfehlungen des Arbeitskreises Innenraumluft zur maximalen Kohlendioxid-Konzentration in Innenräumen als Referenz gerechtfertigt. Bei diesen Empfehlungen wird als allgemeiner Richtwert für Innenräume für den dauerhaften Aufenthalt von Personen eine Kohlendioxid-Konzentration von < 1.400ppm (entsprechend 0,14 Vol.%) angegeben. Konzentrationen von > 5.000ppm sind für die Nutzung durch Personen nicht akzeptabel.

Auf Grund der massiven Überschreitungen der MAK-Grenzwerte der Grenzwerteverordnung 2020 i.d.g.F. bzw. der für Innenräume, entsprechend der Atemluft in Innenräumen, empfohlenen maximalen Kohlendioxid-Konzentration kann die Atemluft unterhalb der MNS-Maske als gesundheitsschädlich betrachtet werden.