

Aus dem Universitäts-Kinderspital beider Basel

Arbeit unter der Leitung von PD Dr. med. Frank-Martin Häcker

**Die konservative Therapie der Trichterbrust mit der Saugglocke nach E. Klobe
bei Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen**

Inauguraldissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der gesamten Heilkunde
vorgelegt der Medizinischen Fakultät der Universität Basel

von

Pract. med. Joanna Noemi Zuppinger, Bettingen BS

Von der Medizinischen Fakultät der Universität Basel genehmigt auf Antrag von

.....

Koreferent/in:

Tag der Promotion:

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	1
Einleitung	3
<i>Was ist eine Trichterbrust (Pectus excavatum)?</i>	3
Definition	3
Ätiologie	3
Klinik.....	4
<i>Die Saugglocke</i>	5
Entstehung der Saugglocke.....	5
Wie funktioniert die Saugglocke und wie wird sie angewendet?	6
Indikationen.....	7
Nebenwirkungen.....	7
Kontraindikationen	8
Vorteile gegenüber der Operation	8
<i>Andere Behandlungsmöglichkeiten der Trichterbrust</i>	9
Operation nach Ravitch	9
Minimal-invasive Korrektur nach Nuss (MIRPE)	10
Physiotherapie	11
Fragestellung	13
Methode	14
<i>Datenerhebung</i>	14
Resultate	15
<i>Geschlechter- und Altersverteilung</i>	16
<i>Trichtertiefe</i>	16
<i>Durchschnittliche Anwendungszeit und Therapiedauer</i>	17
<i>Nebenwirkungen</i>	18
<i>Follow-up</i>	18
<i>Abbruch</i>	19
Diskussion	20
Schlussfolgerung	23
Literaturverzeichnis (chronologisch)	24

Zusammenfassung

Die Trichterbrust ist mit einer Inzidenz von 1:300 die häufigste Thoraxwanddeformität. Bei über 80% der betroffenen Patienten ist die Fehlbildung bereits bei Geburt sichtbar. Ein späteres Auftreten wird vor allem bei Patienten mit einem Marfan-Syndrom beobachtet. Häufig nimmt die Fehlbildung im Verlauf des Längenwachstums, insbesondere während der Pubertät zu. Die Brust- und Rückenmuskulatur der betroffenen Patienten ist oft nur schwach ausgebildet. Neben der Brustwanddeformität zeigen vor allem Jugendliche zusätzlich eine Fehlhaltung der Wirbelsäule im Sinne einer Kyphose, oft in Kombination mit einer Skoliose.

Kleine Kinder fühlen sich subjektiv auf Grund ihrer Trichterbrust nur selten eingeschränkt und sind im Allgemeinen altersentsprechend normal körperlich belastbar. Im Adoleszentenalter können sich aber – insbesondere bei ausgeprägter Deformierung – Leistungseinschränkung, Engegefühl, Herzsensationen und andere Beschwerden einstellen. Für einige Patienten stellt die Trichterbrust darüber hinaus eine starke psychische Belastung dar.

Wenn eine ausgeprägte Trichterbrust vorliegt und subjektive Beschwerden auftreten, kann eine gezielte Therapie notwendig werden. Bei erfolgloser konservativer Behandlung mit gezielten sportlichen Aktivitäten, wie zum Beispiel Schwimmen und Krafttraining, und intensiver Physiotherapie kommt die operative Korrektur zur Anwendung, in früheren Jahren insbesondere die Verfahren nach Ravitch sowie heutzutage die minimal invasive Korrektur nach Nuss (MIRPE). 1998 beschrieb Donald Nuss erstmals eine neuartige Methode, bei der über kleine, seitliche Hautschnitte ein Metallbügel unter das Brustbein implantiert wird. Dieser individuell geformte Bügel hebt das Brustbein an und kann so den Trichter von innen korrigieren. Die MIRPE proklamierte ein gutes kosmetisches Ergebnis bei gleichzeitig minimalem Operationstrauma und berichtete von einer hohen Patientenzufriedenheit. Bereits die erste Auswertung von 251 Patienten in den USA zeigte, dass mit dieser Methode in über 90% der Fälle ein gutes bis exzellentes Korrekturergebnis zu erzielen ist. Zwischenzeitlich hat D. Nuss und sein Team mehr als 1500 Patienten operiert, und auch die Erfahrungen der letzten Jahre in verschiedenen europäischen Ländern bestätigen die guten Resultate. Allerdings haben sich mit zunehmender Anwendung einige, teils erhebliche Risiken und Komplikationen gezeigt.

Diese Komplikationen und die zunehmend restriktive Haltung der Kostenträger haben das Interesse an einem neu entwickelten, konservativen Verfahren geweckt: der Vakuumtherapie mittels Saugglocke. Dieses Verfahren stellt eine mögliche Alternative oder auch eine Ergänzung zur MIRPE dar. Die Methode wurde erstmals im Jahr 2003 im Rahmen eines Trichterbrust-Workshops von ihrem Erfinder, Herrn E. Klobe, vorgestellt.

Ziel dieser Therapie ist die Anhebung des Brustbeines sowie der sternokostalen Übergänge. Mit Hilfe einer Saugglocke, die von aussen auf den Brustkorb aufgesetzt wird, wird mittels einer Handpumpe ein Vakuum von ca. 15% unter Atmosphärendruck erzeugt. Während der Steigerung des ausgeübten Unterdrucks zeigt sich zumeist sofort eine spürbare Anhebung des Trichters. Die Behandlung kann in praktisch jedem Alter durchgeführt werden. Bei jüngeren Patienten lässt sich das Brustbein mit der Glocke leichter anheben. Allerdings ist unmittelbar nach Abnahme der Glocke ein schnelles, zumindest partielles Wiedereinsinken

des Brustbeines zu verzeichnen. Bei älteren Jugendlichen und Erwachsenen hält der Effekt nach Abnahme der Glocke über drei bis vier Stunden an. Anschliessend kommt es zu einem langsamen, partiellen Wiedereinsinken des Brustbeines.

Die Behandlung sollte unter ärztlicher Anleitung begonnen, anschliessend aber in Eigenregie durch die Patienten selbst durchgeführt werden. Eine tägliche Anwendungsdauer von zweimal 20-30 Minuten wird empfohlen. Der Patient selbst legt dies jedoch individuell fest und setzt es selbständig um. Seitens des Herstellers wird derzeit eine Behandlungsdauer von 15-18 Monaten empfohlen. Da es sich um ein noch relativ neues Therapieverfahren handelt, fehlten bisher die Langzeitergebnisse, um die Frage der notwendigen Behandlungsdauer endgültig klären zu können. Unter Berücksichtigung des individuellen Patientenalters stehen im Moment drei verschiedene Grössen sowie ein für adoleszente und erwachsene Patientinnen konzipiertes Modell zur Verfügung.

An Nebenwirkungen sind bisher petechiale Blutungen, lokale Hämatome, gelegentlich auftretende Rückenschmerzen sowie Dysästhesien der oberen Extremitäten beschrieben. Diese Nebenwirkungen sind jedoch nur vorübergehend und verschwinden meistens bei entsprechender Anpassung der täglichen Anwendung. Bei Patienten mit Skeletterkrankungen, Herzerkrankungen, Marfan-Syndrom oder Gerinnungsstörungen sollte das Verfahren bis auf weiteres nicht angewandt werden.

Von den 141 Patienten, welche in diese Studie eingeschlossen wurden, mussten 31 wegen unvollständiger Datenerhebung ausgeschlossen werden. Zwei der 31 Patienten litten an einer begrenzten Thoraxwanddeformität, was die genaue Messung der Trichtertiefe und somit des Therapieerfolges nicht ermöglichte. Zwei weitere waren Patienten aus dem Ausland und für Verlaufskontrollen nicht erreichbar. Insgesamt 25 Personen haben die Behandlung abgebrochen. Davon entschieden sich 15 für eine operative Behandlung ihrer Trichterbrust. Gründe für den Abbruch waren mangelnde Motivation und nicht zufriedenstellendes Ergebnis. 23 Patienten waren bei Abschluss der Datenerhebung noch unter Therapie. Die Trichtertiefe zu Beginn lag durchschnittlich bei 2.7 cm und verringerte sich bis zum Abschluss der Therapie um durchschnittlich 1.9 cm. Das Follow-up der 61 Patienten, welche die Saugglockentherapie erfolgreich abgeschlossen hatten, zeigte nach durchschnittlich 27.6 Monaten einen bleibenden Erfolg.

Einleitung

Die Trichterbrust ist mit einer Inzidenz von ca. 1:300 Kindern die häufigste angeborene Thoraxwanddeformität. Synonyme dafür sind: Pectus excavatum (lat: ausgehöhlte Brust), Pectus infundibiliforme (lat: trichterförmige Brust), Funnel chest (engl: funnel = Trichter) und Thorax en entonnoir (franz: entonnoir = Trichter).

Bei erfolgloser konservativer Behandlung, welche intensive Physiotherapie zur Haltungskorrektur und Muskelaufbautraining beinhaltet, kommt die operative Korrektur zur Anwendung. Früher wurde insbesondere das Verfahren nach Ravitch durchgeführt. Heutzutage wird vielerorts die minimal invasive Korrektur nach Nuss (MIRPE) angewandt. Das teilweise doch beträchtliche Komplikationsrisiko einer Operation und die gelegentlich nur geringe Ausprägung der Trichterbrust führte bei vielen Patienten zu einer grossen Zurückhaltung gegenüber den operativen Verfahren und weckte das Interesse an einer gleichwertigen, nicht-invasiven Alternative.

Eine solche Alternative und auch eine Ergänzung zur MIRPE stellt die Vakuumtherapie mittels Saugglocke nach E. Klobe dar, die in dieser Arbeit genauer behandelt wird.¹

Was ist eine Trichterbrust (Pectus excavatum)?

Das Zitat von Charles W. Lester beschreibt die ganze Problematik meiner Meinung nach treffend: „*Deformities of the anterior chest wall are widely recognized, poorly understood and generally neglected.*“^{2,3}

Definition

Die Trichterbrust ist eine angeborene, meist auf einer fehlerhaften Entwicklung des Brustkorbes beruhende trichterförmige Einsenkung des Brustbeins und der benachbarten Rippenanteile, die sich teils bis zur Pubertät verstärkt. Sie wurde erstmals 1600 vom berühmten Schweizer Anatom Johannes Bauhinus beschrieben.^{2,4} Das Sternum kann sich neben den parasternalen, chondralen Einziehungen auch vorwölben (sog. Kielbrust), wobei es symmetrische und asymmetrische Erscheinungsformen gibt. Wie bereits erwähnt, stellt die Trichterbrust mit je nach Quelle 1-4:1'000 Kindern die häufigste Fehlbildung des vorderen Brustkorbes dar. Jungen sind im Vergleich zu Mädchen etwa drei- bis fünfmal so häufig betroffen.^{5,6} Es gibt offensichtlich eine erbliche Disposition, da in etwa 35% der betroffenen Patienten eine familiäre Häufung besteht. Zudem wurden Assoziationen mit anderen Erkrankungen (u. a. Skoliose, Bindegewebserkrankungen wie Marfan-Syndrom, Ehlers-Danlos-Syndrom, Poland-Syndrom, fetales Alkoholsyndrom) beobachtet.^{2,7}

Ätiologie

Die Ätiologie der Deformität, die sich meist während des ersten Lebensjahres entwickelt und häufig mit dem Wachstum zunimmt, ist bisher weitgehend unbekannt. Es handelt sich dabei um eine Fehlbildung, bei welcher sich der individuelle Verlauf nicht vorhersagen lässt und wo keine spontane Rückbildung zu erwarten ist. Der Verlauf kann am besten mittels einer Fotodokumentation beurteilt werden.

Als Ursache wird eine genetisch determinierte Dysplasie im Bereich der sternocostalen Übergänge vermutet, wobei die medialen Rippenenden überschliessend in die Länge wachsen. Diese Vermutung mit dem überschliessenden Wachstum der Rippenknorpel wurde bereits 1873 von dem Medizinstudenten Flesch aufgestellt.^{2,8} Wenn die Rippenenden ungleichmässig, das heisst asymmetrisch, wachsen, kann dies zu einer Verkippung des Sternums führen, sodass der Trichter nicht mehr auf die Mittellinie zu liegen kommt, was einer asymmetrischen Form der Trichterbrust entspricht.⁹

Meistens, entsprechend etwa 85% der Trichterbrustpatienten, ist die Fehlbildung schon bei Geburt sichtbar.⁹ Eine spätere Manifestation kann vor allem bei Patienten beobachtet werden, die als Grunderkrankung an einem Marfan-Syndrom leiden.¹⁰ Während der Pubertät nimmt die Ausprägung der Trichterbrust erfahrungsgemäss noch zu, was mit dem Längenwachstum zu tun hat, und führt sehr oft zu einer pathologischen Fehlhaltung der Wirbelsäule. Dabei sind die Schultern nach vorne geneigt, ein Rundrücken entsteht und der Bauch tritt etwas mehr hervor. Dies ist vor allem durch die zumeist schwach ausgebildete Brust- und Rückenmuskulatur bedingt. Die Trichterbrust ist also häufig mit einer Wirbelsäulendeformität entsprechend einer Kyphose kombiniert, oft begleitet von einer Skoliose.^{6,11}

Klinik

Das klinische Bild der Patienten mit Trichterbrust variiert stark von vollkommen asymptomatischen bis zu im Alltag schwer beeinträchtigten Patienten. Zahlreiche präoperative Untersuchungen über den kardiopulmonalen Zustand von Trichterbrustpatienten ergeben sehr variable Resultate. In der nachfolgenden Tabelle sind einige Befunde in absteigender Häufigkeit aufgelistet:

Befund	Anteil
Verlagerung/Kompression des Herzens	91 %
Beeinträchtigung der Lungenfunktion	43 %
Mitralklappenprolaps	17 %
Skoliose	4-5 %
Marfan-Syndrom	3 %

Tabelle 1: Klinische Befunde^{6,12,13}

Die sogenannte paradoxe Atmung wurde ebenfalls häufig beobachtet und erstmals 1925 von Nageotte-Wilbouchewitch erwähnt.^{2,14} Auch die Kompression des Herzens wurde bereits 1928 radiologisch dokumentiert durch Pohl.^{2,15} Die Beeinträchtigung der Lungenfunktion bezog sich meistens vor allem auf eine Verminderung des Lungenvolumens im Sinne einer restriktiven Ventilationsstörung, welche sich häufig, zum Teil aber ausschliesslich, nur unter Belastung äusserte.¹⁶ Es ist ein linearer Zusammenhang zwischen dem Schweregrad der Trichterbrust und der Wahrscheinlichkeit einer restriktiven Lungenfunktionsstörung belegbar, welche 14.5 % der Trichterbrustpatienten betraf.¹⁷ Eine obstruktive Ventilationsstörung wurde in weniger als 2 % beschrieben. Die Zunahme der Symptome unter Belastung wurden durch die erhöhte Atemarbeit auf Grund der Brustwanddeformität erklärt, welche

bei höheren Atemzugsvolumina zunimmt.¹⁷ Zudem wurden auch bei scheinbar asymptomatischen Patienten wiederholt auftretende pulmonale Infektionen bzw. rezidivierende Infektionen der oberen Atemwege beobachtet.^{2,18} Ebenfalls schon früh beschriebene Symptome sind: Palpitationen, ausgeprägte Dyspnoe, Müdigkeit und dumpfer präkordialer Schmerz.^{2,3} Verschiedene Studien haben eine Einschränkung des kardialen Schlagvolumens gezeigt, v.a. in sitzender oder aufrechter Position. In liegender Position wurde keine signifikante Einschränkung der kardialen Funktion beobachtet.^{5,16,19,20} Wie bei den pulmonalen Einschränkungen sind viele Patienten in Ruhe beschwerdefrei, jedoch nur beschränkt belastbar.^{5,21} Vermutet wird eine Behinderung der diastolischen Füllung durch die Kompression von aussen.^{5,20,21,22}

Eine Koinzidenz mit einer Skoliose ganz unterschiedlichen Schweregrades ist bei 20-30 % der Trichterbrustpatienten dokumentiert. Es scheint jedoch keinen direkten Zusammenhang zum Auftreten einer Trichterbrust zu geben. Nur 4-5 % der Patienten mit einer anterioren Thoraxwanddeformität weisen eine so schwere Skoliose auf, dass die Vorstellung bei einem Wirbelsäulenspezialist notwendig ist.^{16,23} Die Assoziation zwischen der Thoraxwanddeformität und Skoliose ist am eindeutigsten bei Patienten mit einem Marfan-Syndrom. Patienten mit Marfan-Syndrom, welche eine Skoliose aufweisen, haben ein höheres Risiko für eine starke Progredienz der Thoraxwanddeformität und für ein Rezidiv nach initialer operativer Korrektur der Trichterbrust.^{16,24,25,26} Bei einigen Patienten mit Trichterbrust wird auch über einen gewissen Grad von Rippenhypoplasien berichtet, weshalb ein Hemithorax viel kleiner sein kann als der andere.¹⁶

Kleinkinder fühlen sich durch ihre Trichterbrust nur selten eingeschränkt und sind fast immer normal körperlich belastbar.⁹ Die subjektive Einschränkung beginnt meistens erst in der Pubertät, häufig begleitet von einer hauptsächlich psychosomatisch bedingten Leistungseinschränkung, einem thorakalen Engegefühl, Herzsensationen und vereinzelt sogar Atemnot. In ausgeprägten Fällen ist eine kardiopulmonale Beeinträchtigung durch die Einengung des Mediastinums möglich, eventuell begleitet von einer, wie oben beschriebenen, Herzverlagerung. Viele Patienten mit Trichterbrust stehen durch die Beeinträchtigung ihres Erscheinungsbildes unter einem hohen Leidensdruck, der sich erheblich auf ihre Lebensqualität auswirkt.

Durch das Vermeidungsverhalten in Bezug auf Gruppenaktivitäten, insbesondere auf Schwimmen oder andere Sportarten, kann die Trichterbrust zur sozialen Isolation und bis zur vollständigen Vereinsamung führen, was in einzelnen Fällen sogar ein erhöhtes Suizidrisiko zur Folge hat.² Die erhebliche psychische Belastung, welche meistens mit der Pubertät beginnt, kann sich bis ins Erwachsenenalter fortsetzen.

Die Saugglocke

Entstehung der Saugglocke

Ansätze zur nicht-chirurgischen Korrektur der Trichterbrust mittels Saugglocken sind seit knapp 100 Jahren bekannt.^{6,27} Bereits 1910 beschrieb der Münchener Orthopäde Dr. Fritz Lange die "sofortige Hebung des Trichters" unter der "Wirkung des luftverdünnten

Raumes". Bis etwa 1930 findet sich diese Aussage in verschiedenen medizinischen Nachschlagewerken und deren überarbeiteten Folgeauflagen, danach verschwindet sie wieder.

Herr Eckart Klobe ist Diplom-Chemieingenieur und arbeitete in der Verfahrensentwicklung und -optimierung viel mit Saugpumpen. Mit diesem Hintergrundwissen stellte er 1992, ohne das Wissen um die Versuche vor beinahe 100 Jahren, eine Saugglocke her, um damit seine eigene Trichterbrust zu behandeln. Von dem Erfolg überrascht, meldete er 1997 das Patent auf Verfahren und Gerätschaften zur nicht-chirurgischen Korrektur der Trichterbrust an.²⁸

Im Jahr 2000 erstellte er eine Website (www.trichterbrust.de) mit der Absicht, Ärzte mit Trichterbrustpatienten auf die Möglichkeit der Korrektur mittels Saugglocke aufmerksam zu machen. Anstelle der Ärzte meldeten sich die Patienten bei Herrn Klobe. 2001 teilte er deshalb einem Patienten mit, er würde ihm eine solche Saugglocke bauen, wenn er einen Arzt fände, der sie ihm verschriebe. Dieser Vorstoss war erfolgreich, was dazu führte, dass er 2002 das Patent auf seine ausgefeilte alltagstaugliche Saugglocke anmelden konnte, die natürlich ganz anders aussah als sein erstes Modell von 1992. Bald darauf trafen auch die ersten Nachfragen von ärztlicher Seite ein. Zur Weiterentwicklung führte er Patientenumfragen durch (s. Anhang Seite XII-XIII).

Darauf gründete Herr Klobe 2003 sein Unternehmen zur Entwicklung, Herstellung und Vermarktung der Saugglocken und vertreibt seither erfolgreich die Saugglocken zur Behandlung der Trichterbrust – natürlich nur auf Verschreibung des behandelnden Arztes.²⁸

Wie funktioniert die Saugglocke und wie wird sie angewendet?

Unter Berücksichtigung des individuellen Patientenalters, des Körperbaus und des Geschlechts stehen momentan drei verschiedene Grössen, ein Frauenmodell sowie ein wandverstärktes Modell mittlerer Grösse zur Verfügung (s. Anhang Seite I, Abb. 1 und 2). Die Saugglocke nach E. Klobe nutzt die Fähigkeit des Brustkorbs sich bis ins hohe Lebensalter ständig den inneren und äusseren Umständen anzupassen, was in einer relativ grossen Formbarkeit des Thoraxes resultiert. Im Gegensatz zu den starren unbequemen Saugglocken aus Glas von 1910 sind die neuen Modelle mit einem weichen Silikonrand durch ihre grosse Anpassungsfähigkeit viel angenehmer zu tragen und liegen der Brustwand dichter auf. Biomechanische Studien über aktive Kompressions-Dekompressions Geräte zur kardiopulmonalen Reanimation zeigten, dass die Kräfte, welche auf die lateralen Rippenbereiche einwirken, umso grösser sind je tiefer der Trichter ist.^{29,30} Durch die verschiedenen Grössen und Modelle ist die neue Saugglocke den unterschiedlichen Bedürfnissen der Patienten und deren Trichterformen angepasst. Durch die bessere Passform ist eine längere ununterbrochene Tragedauer möglich und der Unterdruck kann mit der Handpumpe genau dosiert und bis zu einem Vakuum entsprechend 15% unter dem atmosphärischen Druck erhöht werden.¹⁰

Die erste Anwendung der Saugglocke erfolgt unter ambulanten Bedingungen unter medizinischer Aufsicht.¹⁰ Die Saugglocke wird für eine kurze Zeit direkt auf den Brustkorb aufgelegt und der Patient wird über den Umgang mit der Saugglocke instruiert (s. Anhang Seite II, Abb. 3). Es ist wichtig, dass der Patient für den späteren Umgang mit der Saugglocke

zu Hause lernt, wie er sie aufsetzen muss, damit sie dicht sitzt und so bequem wie möglich ist. Zudem muss er lernen richtig dosiert zu pumpen, was dem Patient mit etwas Übung immer besser gelingen sollte. Bei diesem Probelauf dürfen keine Schmerzen auftreten.

Die weitere Behandlung erfolgt durch den Patienten zu Hause im Rahmen seiner eigenen zeitlichen Möglichkeiten mit langsamer Steigerung der Tragezeit. Die empfohlene Anwendungszeit sollte zwischen zweimal 30 Minuten bis zu mehreren Stunden täglich liegen.³¹ Unter Umständen ist zu Beginn eine mehrtägige Pause zwischen den Anwendungen erforderlich, da sich unter den ungewohnten Bedingungen Schmerzen im Brustkorb entwickeln können. Mit der Gewöhnung des Brustkorbs an die Anhebung des Trichters sind nur noch kürzere Pausen nötig und die Behandlung kann auf mehrere Stunden täglich ausgedehnt werden. Je nach Motivation und individueller Verträglichkeit der Saugglockenbehandlung findet die Steigerung der Tragezeit schneller oder eben langsamer statt.

Anfangs sind regelmässige ärztliche Kontrolltermine im Abstand von 3-4 Monaten notwendig, welche, sofern keine Komplikationen auftreten, im Verlauf der Behandlung nur noch einmal jährlich durchgeführt werden müssen.

Gemäss Herrn Klobe sollte die Saugglocke noch etwa ein Jahr weiter getragen werden, sobald der Trichter zwischen dem Absetzen der Saugglocke und dem Wiederaufsetzen am nächsten Tag nicht mehr zurückfällt, um die Stabilität des Thorax in der gewünschten Position wiederherzustellen.

Begleitende physiotherapeutische Übungen können deutlich zur Kräftigung der Muskulatur und zur korrekten Körperhaltung beitragen, was das gesamte Erscheinungsbild des Patienten verbessert und somit den Erfolg der Behandlung schneller sichtbar werden lässt. Eine Studie zeigte Änderungen der Körperhaltung alleine durch die Saugglockenanwendung.²⁹

Indikationen

Die Hauptindikation für die Anwendung der Saugglocke nach E. Klobe ist die konservative Therapie der Trichterbrust.

Ausserdem wird sie prä-, intra- und postoperativ bei der Operation nach Nuss angewandt.^{29,31} Die intraoperative Anwendung erleichtert das Einführen des sogenannten Schwertes und das Drehen des Metallbügels.

Nebenwirkungen

Wie bei fast jeder Behandlungsmethode weist auch die Saugglockenbehandlung ein gewisses Nebenwirkungsspektrum auf. Als Nebenwirkungen der Saugglocke können auftreten:^{9,10}

- Hämatome
- Petechiale Blutungen
- Schmerzen unter dem Saugglockenrand
- Schmerzen unter der Saugglocke
- Rückenschmerzen
- Dysästhesien
- Rippenfrakturen

Soweit bisher bekannt, sind die häufigsten der oben aufgeführten Nebenwirkungen vom Saugglockenrand bzw. vom Unterdruck verursachte Hauteinblutungen, welche sich als Hämatome oder petechiale Blutungen manifestieren können, sowie Schmerzen in den betroffenen Bereichen. Selten hingegen und vor allem zu Beginn der Behandlung wurden bisher Rückenschmerzen, Dysästhesien der oberen Extremität und nur in ganz seltenen Fällen Rippenfrakturen beobachtet.^{29,31} In unserem Patientenkollektiv wurde die letztgenannte Komplikation nicht gesehen.

Kontraindikationen

Skeletterkrankungen wie z.B. Osteogenesis imperfecta oder eine durchgemachte Rachitis gehören zu den wichtigsten Kontraindikationen.¹⁰ Eine solche ist auch das Marfan-Syndrom, welches gehäuft im Zusammenhang mit einer Trichterbrust auftritt. Natürlich gehören auch Herzerkrankungen und Koagulopathien zu den Kontraindikationen, da sich gerade durch Koagulopathien das Risiko von schweren Nebenwirkungen, wie ausgedehnten Hämatomen mit erheblichem Blutverlust, drastisch erhöht.⁹

Vor der ersten Anwendung werden einige Abklärungen durchgeführt, um sicherzustellen, dass der Patient unter keinen durch die Trichterbrust bedingten kardiopulmonalen Einschränkungen leidet, welche durch die Anwendung der Saugglocke beeinflusst werden könnten und um Kontraindikationen auszuschliessen. Dazu gehören eine ausführliche klinische Untersuchung, ein EKG sowie eine Echokardiographie.

Vorteile gegenüber der Operation

Die Vorteile einer nicht-invasiven Behandlung im Gegensatz zu einem, auch wenn nur minimal-invasiven, Eingriff liegen auf der Hand: es ist keine Narkose notwendig, womit auch die trotz allen Fortschritten nicht unerheblichen Narkoserisiken und die mit einer Narkose verbundenen Unannehmlichkeiten, wie z.B. postoperatives Shivering oder Gedächtnisstörungen, wegfallen. Es entsteht keine Wunde, das heisst keine Infektionsgefahr. Eine medikamentöse antibiotische oder analgetische Therapie, die immer einen Eingriff in den körpereigenen Metabolismus darstellt und die Gefahr einer allergischen Reaktion birgt, ist nicht nötig. Der Patient erlebt keinen Einschnitt in seinen Alltag, wie das bei einem zur Operation (bzw. zwei Operationen) nötigen Spitalaufenthalt gegeben ist, sondern kann ganz normal seine alltäglichen Tätigkeiten fortführen und die Behandlung seiner Trichterbrust in den Alltag einbauen.

Viele Aktivitäten können problemlos während der Saugglockenanwendung durchgeführt werden. Berichte von Patienten bestätigen die Anwendung während Tätigkeiten wie Büroarbeiten, über die Nacht zum Schlafen bis hin zu sportlicher Betätigung wie Radfahren. Probleme können auftreten bei schweisstreibenden Aktivitäten, da sich dann die Saugglocke gerne ablöst und möglicherweise schneller Hautirritationen auftreten.

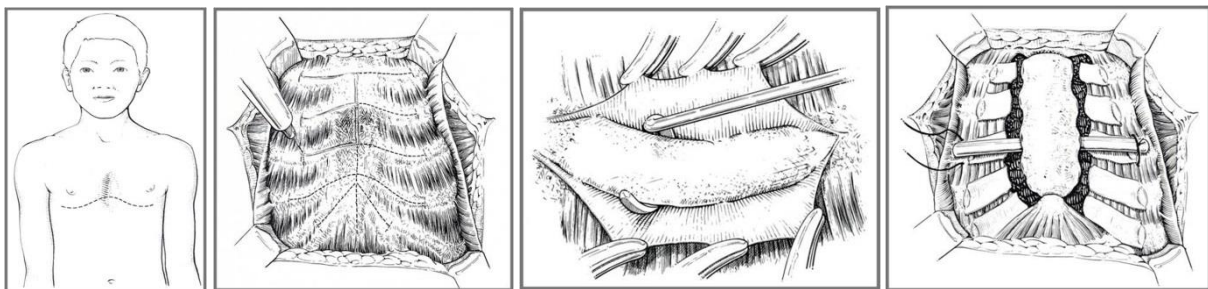
Die Empfehlung zur begleitenden physiotherapeutischen Behandlung mit Muskelaufbautraining und Rücken-/Haltungsschule ist bei allen Behandlungsmöglichkeiten gegeben.

Andere Behandlungsmöglichkeiten der Trichterbrust

Operation nach Ravitch

Schon aus historischen Gründen muss hier der Operation nach Ravitch Rechnung getragen werden. Durch die ständige Verbesserung der Operationsmethode ist die offene Operation tatsächlich auch heute noch konkurrenzfähig.⁸

Bei dieser Operation wird ein ca. 8 cm langer Schnitt am Unterrand des Sternums oder submamär gemacht. Durch diese Inzision wird der überstehende Teil der medialen Rippenenden und ebenso ein Teil des Sternums reseziert, was eine zumindest partielle Osteotomie des Sternums notwendig macht. Das Resultat wird zum Teil mit einem substernalen Mesh fixiert, welches das Sternum und die Rippenenden in der gewünschten Position hält.

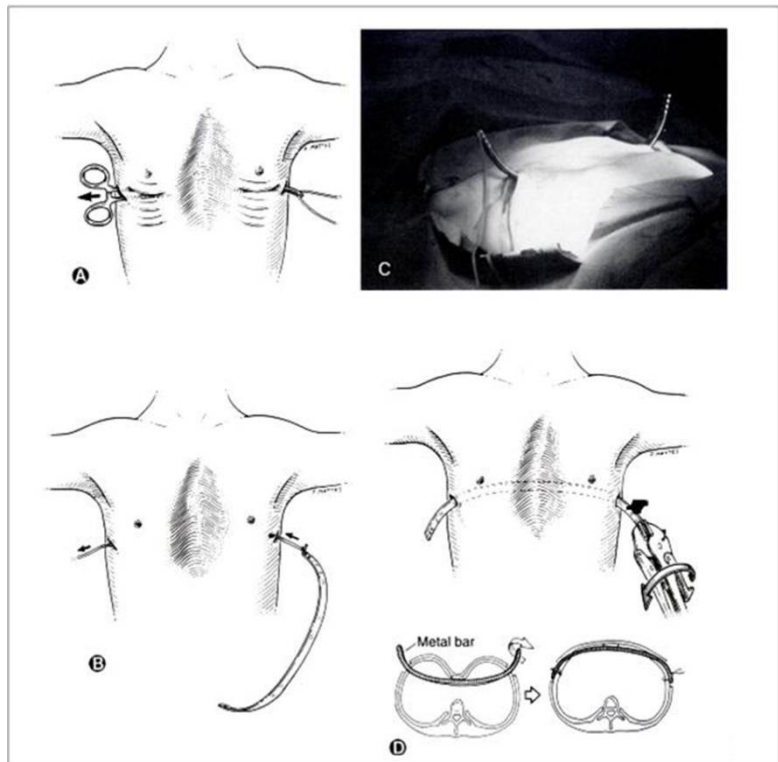


Bei der Operation nach Ravitch und all seinen Formen ist keine erneute Operation zur Metallentfernung notwendig und es verbleibt nur eine Narbe. Es treten jedoch häufiger Rezidive auf, welche dann meistens mit der minimal invasiven Methode nach Nuss korrigiert werden können. In einzelnen Fällen wurde über eine bleibende Brustwandkonstriktion berichtet, was vermutlich auf die Verletzung der Wachstumszonen zurückzuführen ist. Dadurch ist das Wachstum der Brustwand eingeschränkt und es kann eine restriktive Ventilationsstörung entstehen, was sich durch eine bis um 50% geringere forcierte Vitalkapazität und das forcierte expiratorische 1-Sekundenvolumen manifestieren kann.³²

Minimal-invasive Korrektur nach Nuss (MIRPE)

Wie der Titel schon sagt, steht die Abkürzung MIRPE für „minimal invasive repair of pectus excavatum“. Diese Operationsform wurde von Donald Nuss 1997 am 29. Treffen der American Pediatric Surgical Association erstmals vorgestellt. Durch die erfreulichen Resultate wurde bald klar, dass es sich um eine effektive Alternative zur offenen Operation handelte. Es liegen jedoch noch keine prospektiv randomisierten Studien im Vergleich zur abgeänderten Operation nach Ravitch vor. Eine Metaanalyse aus 9 verschiedenen kleineren Studien zeigte jedoch, dass die beiden Operationsverfahren in geübten Händen etwa gleichwertige Resultate erzielen, sowohl bezüglich der Gesamtkomplikationsrate, der Länge des Spitalaufenthaltes wie auch bezüglich der Zufriedenheit der Patienten und der Chirurgen das kosmetische Resultat betreffend.^{33,34,35,36,37,38,39,40,41,42}

Durch die Elastizität des kindlichen oder jugendlichen Thorax ist es möglich, das Sternum unter Sicht mit eigens



dafür entwickelten Instrumenten von innen nach aussen anzuheben. Das dabei erzielte Resultat wird intraoperativ mit einem individuell angepassten Metallbügel fixiert, welcher entlang der vorderen Thoraxwand eingeführt wird und nach circa drei Jahren wieder entfernt werden kann. Der routinemässige Einsatz der Thorakoskopie hat das Risiko ernsthafter Komplikationen, wie Verletzungen des Herzens oder von Gefässen, beim Einführen des Bügels, deutlich reduziert.^{13,43,44} Hier im Universitäts-Kinderspital beider Basel wird zudem seit fünf bis sechs Jahren die Saugglocke routinemässig intraoperativ eingesetzt (s. Anhang Seite IV, Abb. 6-8).⁶

Durch die Fixation des Metallbügels mit nicht resorbierbaren Fäden wird ein Kippen des Bügels weitgehend verhindert, was ebenfalls zu einer deutlichen Verringerung der Komplikationsrate geführt hat. Zurück bleiben rechts und links eine jeweils etwa 2 cm lange Narbe in der mittleren Axillarlinie, welche meistens von den Armen verdeckt wird, sowie eine kleinere vom Thorakoskop. Bei sehr stark asymmetrischen Trichtern stösst diese minimal-invasive Methode jedoch an ihre Grenzen, was gelegentlich eine offene Operation nach Ravitch erforderlich machen kann.

Im Vergleich zur offenen Operation ist die Operation nach Nuss weniger traumatisch, da keine Resektion der medialen Rippenenden und keine Osteotomie notwendig ist.⁴⁵ Zudem

geht sie mit deutlich weniger Blutverlust einher.⁴⁶ Besonders bei bereits erwachsenen Patienten wurde jedoch manchmal über relativ starke postoperative Schmerzen durch die „umgebogenen“ Rippenenden im Bereich der Sternokostalgelenke berichtet, welche, im Gegensatz zur Operation nach Ravitch, nicht reseziert wurden. Dadurch entsteht aber keine pulmonale Konstriktion durch Erhalt der natürlichen Flexibilität. Ebenfalls wurde ein höheres Komplikationsrisiko bei erwachsenen Patienten beschrieben.^{43,47,48,49} Obwohl minimal-invasiv, muss auch bei diesem Verfahren mit Komplikationen und Risiken gerechnet werden:

Frühe postoperative Komplikationen	Anteil	Späte postoperative Komplikationen	Anteil
Pneumothorax	68.7 %	Bügeldislokation	5.7 %
- davon Drainage-bedürftig	3-4.0 %	- davon Revisions-bedürftig	2.5-4 %
Horner-Syndrom (reversibel)	15.5 %	Überkorrektur	3-3.7 %
Medikamentenunverträglichkeit	3.2 %	Bügelallergie	2-3.1 %
Epiduralkatheterprobleme	4.0 %	Rückfall	1.0 %
Wundinfektion	1.0 %	Bügelinfektion	0.5 %
Pneumonie	0.5 %	Thoracic outlet syndrome	<0.5 %
Hämatothorax	0.5 %	- davon frühere Entfernung nötig	0.3 %
Perikarditis	<0.5 %	Hämatothorax (posttraumatisch)	0.4 %
Pleuraerguss	0.3-1 %	Stabilisatorinfektion	0.4 %

Tabelle 2: Komplikationen Operation nach Nuss^{9,13,16,48,50,51,52,53,54}

Lebensbedrohliche Komplikationen wie Verletzungen der Herzhöhlen wurden nur vereinzelt berichtet.⁵⁵

Das postoperative Schmerzmanagement, welches zu Beginn eine grosse Herausforderung darstellte, wurde in den letzten zwanzig Jahren stetig verbessert. Vielerorts wird nun routinemässig eine Periduralanästhesie gelegt, welche die ersten postoperativen Tage bleibt. Sobald eine orale Schmerzmedikation ausreicht, kann der Patient entlassen werden, in der Regel nach vier bis sieben Tagen. Eine interessante Beobachtung ist, dass bei Kindern unter zwölf Jahren die oralen Analgetika meist nach 7-10 Tagen abgesetzt werden können, hingegen bei Jugendlichen und Erwachsenen eine längere Schmerzmedikation von mindestens 2-3 Wochen notwendig ist.^{13,56}

Nach etwa drei Jahren muss der implantierte Metallbügel wieder entfernt werden, was eine zweite Operation nötig macht.^{13,49} Eine zu frühe Entfernung des Metallbügels, vor 2 Jahren, erhöht das Risiko eines Rezidivs.²⁵ Mit der Operation nach Nuss kann in über 95% ein gutes bis exzellentes Ergebnis erzielt werden.^{13,45}

Physiotherapie

Die Physiotherapie ist ein wichtiger Bestandteil der Trichterbrusttherapie. Als alleinige Behandlung kommt sie nur bei sehr schwach ausgeprägter Trichterbrust in Frage, als Ergänzung zur Operation ist sie unentbehrlich.

Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Korrektur der Fehlhaltung. Wie oben erwähnt, führt die Trichterbrust häufig zu einer Fehlhaltung mit Rundrücken, schlaffer Bauchmuskulatur und etwas nach vorne hängenden Schultern. Somit ist die Korrektur dieser Fehlhaltung inklusive Stärkung der Brust-, Bauch- und Rückenmuskulatur sehr wichtig, was der Fehlbelastung des Achsenskeletts entgegenwirkt.⁵⁷

Zur postoperativen Behandlung gehört auch die Atemtherapie, da viele Patienten an einer, vor allem subjektiven, Einschränkung der Atmung und Leistungsfähigkeit leiden und lernen müssen, gerade auch wenn noch Schmerzen vorhanden sind, tief durchzuatmen und den neu vorhandenen Platz im Brustkorb voll auszunutzen.

Fragestellung

In dieser Arbeit geht es darum, die bisher vorhandenen Erfahrungen mit der Saugglocke nach E. Klobe als alleinige konservative Behandlung der Trichterbrust auszuwerten. Die wichtigste Frage lautet natürlich: Sind die schnell sichtbaren Erfolge anhaltend oder fällt der Trichter nach einer gewissen Zeit ohne Saugglockenanwendung wieder ein? Stellt die Saugglocke zur Behandlung der Trichterbrust nach E. Klobe tatsächlich eine konkurrenzfähige Alternative zur minimal-invasiven Korrektur nach Nuss dar? Kann sie auch im Langzeitvergleich mithalten? Wie lange muss die Glocke angewandt werden, sind es Monate, Jahre oder sogar Jahrzehnte? Wie viele Minuten oder gar Stunden am Tag?

Ein weiteres Interessensgebiet öffnet sich mit der Frage nach Nebenwirkungen der Saugglocke. Gibt es überhaupt Nebenwirkungen bei der korrekten Anwendung der Saugglocke nach E. Klobe? Wenn ja, wie gravierend sind die bekannten Nebenwirkungen und wie stark beeinträchtigen sie den Alltag der Trichterbrustpatienten?

Gibt es signifikante Altersunterschiede? Dies ist eine interessante Frage. Ist doch der kindliche Thorax noch viel anpassungsfähiger als der eines erwachsenen Patienten. Ob dies einen Vor- oder einen Nachteil darstellt, wird sich erst mit der Zeit zeigen und wenn ein ausreichend grosses Patientenkollektiv aller Altersgruppen zur Verfügung steht.

Am Rande behandeln wir noch die Frage nach der Wirksamkeit der Saugglocke bei unterschiedlichen Ausprägungen der Trichterbrust. Ist die Behandlung mit der Saugglocke bei allen Formen der Trichterbrust, sowohl symmetrischen als auch asymmetrischen, in gleicher Weise geeignet? Gibt es sichtbare Erfolgsunterschiede zwischen verschiedenen Schweregraden? Diese und andere Fragestellungen wollen wir mit dieser Arbeit beantworten.

Methode

Bei dieser Arbeit handelt es sich um eine retro- und zum Teil prospektive, unkontrollierte, nicht randomisierte Studie von Patientendaten, die im Zeitraum von 2002 bis 2010 die Saugglocke angewandt haben. Erfasst wurden Alter, Geschlecht, Trichtertiefe bei Beginn und nach Abschluss der Anwendung, Anwendungsdauer, Anwendungszeit pro Tag und beobachtete Nebenwirkungen oder Beschwerden. In diesem Kapitel werden vor allem die technischen Aspekte dieser Arbeit beleuchtet.

Datenerhebung

Als Grundlage für diese Arbeit wurden die Patientenakten jener Patienten verwendet, welche zu diesem Zeitpunkt noch in Behandlung standen oder sie schon beendet haben. Die Patientenkontakte entstanden durch Selbstzuweisung, über die Homepage des Herstellers oder durch Überweisung von niedergelassenen Ärzten. Das Patientenkollektiv bestand aus 140 Personen, 28 weiblichen und 112 männlichen, im Alter zwischen 2 und 60 Jahren (Median 15 Jahre). Der berücksichtigte Beobachtungszeitraum liegt zwischen 2002 und 2010. Die meisten zur Auswertung benötigten Daten konnten den Patientenakten des UKBB (Universitäts-Kinderspital beider Basel) entnommen werden. Noch fehlende Daten wurden soweit möglich mittels eines telefonischen Interviews mit den betreffenden Patienten oder deren Eltern erhoben. In einigen Fällen war die vollständige Datenerhebung, da es sich zu einem grossen Teil um eine retrospektive Studie handelt, nicht mehr möglich. Diese wurden von der Auswertung ausgeschlossen. Die berücksichtigten Parameter waren:

- Alter bei Behandlungsbeginn
- Geschlecht
- Trichtertiefe vor und nach der Behandlung
- Behandlungsdauer
- durchschnittliche Anwendungszeit pro Tag
- Follow-up-Zeit
- Nebenwirkungen

Die Trichtertiefe wurde in Rückenlage (flachliegend) in Expirationsstellung auf Höhe der Mamillen gemessen.

Diese Parameter stellten wir in insgesamt drei Tabellen im Microsoft Office Excel zusammen, um die spätere statistische Auswertung zu vereinfachen. Die erste Mappe ist ausführlicher und enthält für jeden Patient jeweils ein eigenes Tabellenblatt, die zweite ist mit der ersten verknüpft und enthält in einer einzigen Tabelle die wichtigsten Parameter zur Übersicht. Die dritte Tabelle enthält den gesamten definitiven Datensatz in Kurzform.

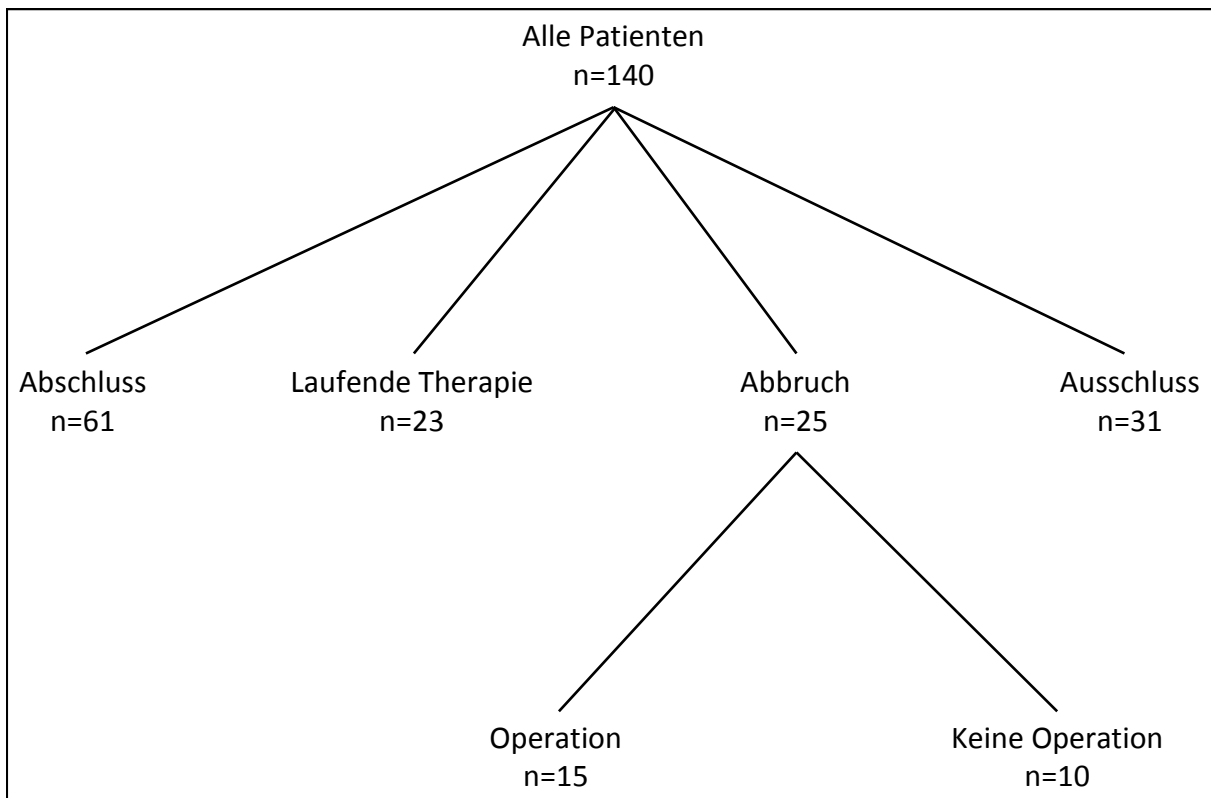
Hinzu kommen noch multiple Zusammenstellungen und Vergleiche der einzelnen Parameter in gesonderten Tabellen.

Vor Beginn und nach Abschluss der Therapie mit der Saugglocke wurden von einigen Patienten Fotos gemacht, welche den eindrücklichen Unterschied zum abschliessenden Resultat anschaulich darstellen. Somit besteht der Vorher-Nachher-Vergleich nicht nur in Zahlen, sondern auch in Bildern (s. Anhang Seite V-X, Abb. 9-18).

Resultate

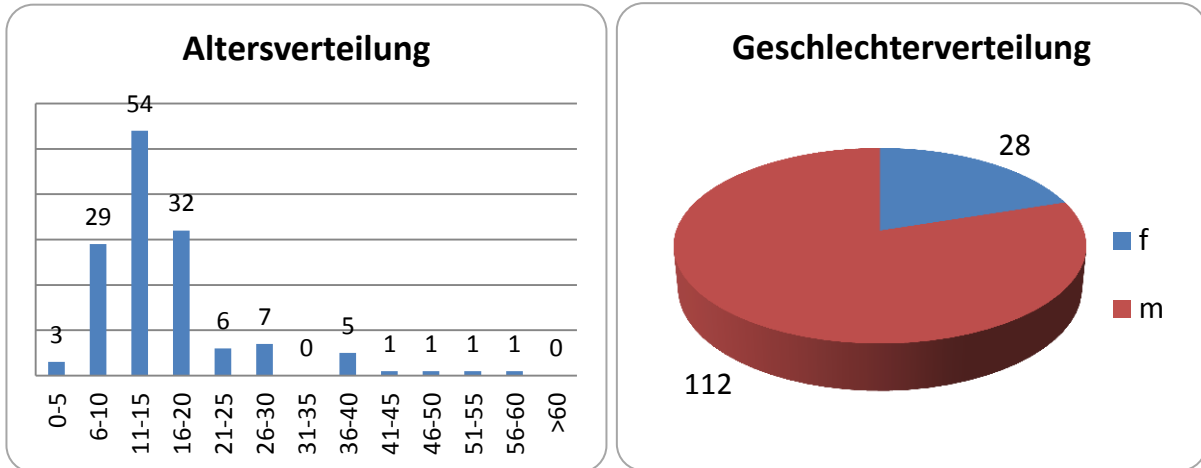
Im Universitäts-Kinderspital beider Basel (UKBB) werden im beobachteten Zeitraum 140 Patienten im Alter von 2 bis 60 Jahren, Durchschnittsalter 16.05 Jahre, mit der Saugglocke nach E. Klobe behandelt. Auf Grund unvollständiger Daten wurden 31 Patienten von der Gesamtauswertung ausgeschlossen. Zwei der 31 Patienten litten an einer begrenzten Thoraxwanddeformität, was die genaue Messung der Trichtertiefe und somit des Therapieerfolges nicht ermöglichte. Zwei weitere waren Patienten aus dem Ausland und für Verlaufskontrollen nicht erreichbar.

Die folgende Graphik zeigt eine Übersicht der Patientengruppen:



Geschlechter- und Altersverteilung

Die Tatsache, dass die Trichterbrust bei Jungen viel häufiger ist als bei Mädchen, schlägt sich auch in der Geschlechterverteilung unserer Studie nieder: es sind genau viermal so viele männliche wie weibliche Patienten, d.h. 80% männliche und 20% weibliche. In den folgenden Graphiken wird die Verteilung von Alter und Geschlecht graphisch dargestellt:

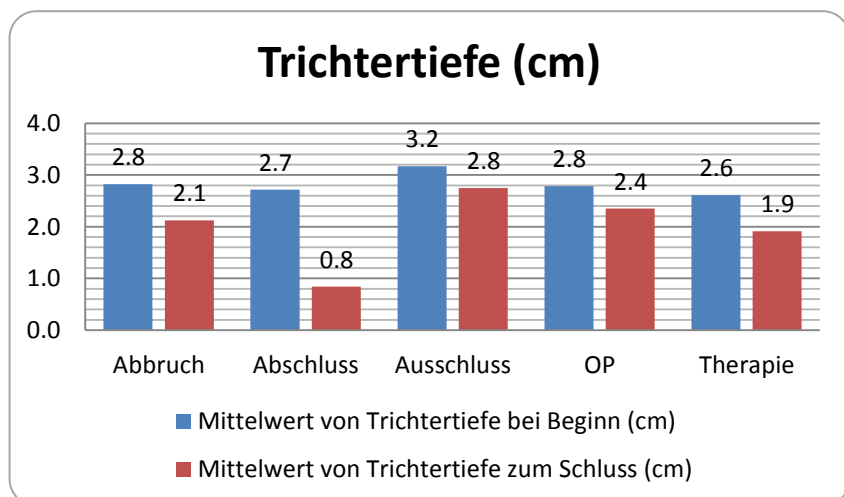


Trichtertiefe

Die Messung der Trichtertiefe zu Beginn ergab einen durchschnittlichen Ausgangswert des Patientengesamtkollektivs (Werte von 102 Personen vorhanden) von 2.7 cm (Werte zwischen 1 und 6.3 cm).

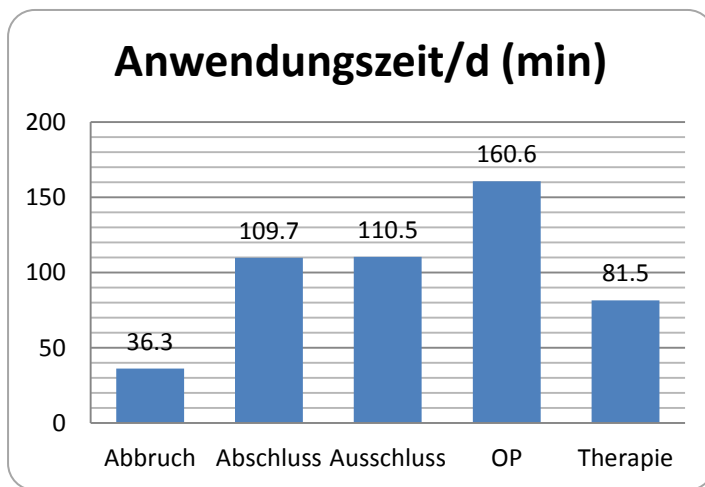
Die Patientengruppe, welche die Saugglockentherapie erfolgreich beendet hat, startete ebenfalls mit einem durchschnittlichen Ausgangswert von 2.7 cm (zwischen 1 und 5 cm). Bei Abschluss der Therapie lag der Durchschnittswert bei 0.8 cm (zwischen 0.3 und 2.5 cm). Die mittlere Differenz betrug 1.9 cm (zwischen 0.3 und 3.5 cm). Es waren von 57 der 61 Personen, welche die Therapie erfolgreich abgeschlossen hatten, auswertbare Daten vorhanden. Die Patienten

in der Therapiegruppe wiesen durchschnittlich schon eine Differenz von 0.7 cm auf (2.6 cm bei Beginn, 1.9 cm bei Studienende). Bei den Patienten, welche sich im Verlauf für eine operative Therapie ihrer Trichterbrust entschieden, betrug die durchschnittliche Ver-



besserung 0.5 cm (2.8 cm bei Beginn, 2.4 cm bei Abbruch der Therapie). In einem Fall nahm die Trichtertiefe sogar um 2 mm zu. Die Datenlage in der Ausschluss- und Abbruchgruppe ist zu unvollständig um einen verlässlichen Vergleich zu ziehen.

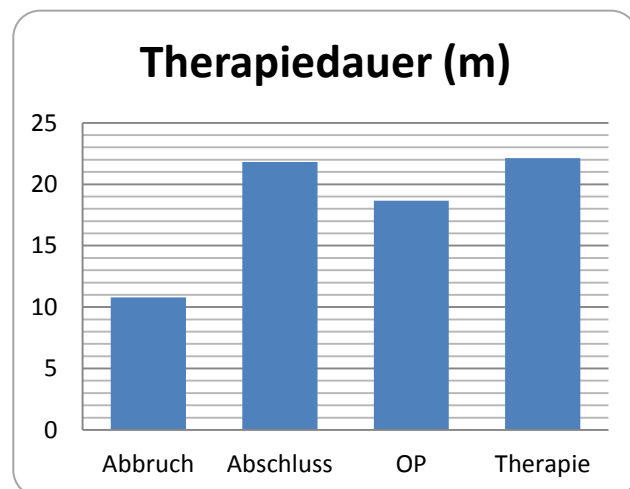
Durchschnittliche Anwendungszeit und Therapiedauer



Die durchschnittliche Anwendungszeit pro Tag, alle Gruppen eingeschlossen, betrug 107.9 Minuten am Tag (minimal 10, maximal 480 Minuten/Tag). Die Anwendungszeit der erfolgreich abgeschlossenen Therapien belief sich auf durchschnittlich 109.7, die der noch laufenden Therapien auf durchschnittlich 81.5 Minuten pro Tag (Daten von 49 bzw. von 10 Patienten vorhanden). Die durchschnittliche

Anwendungszeit pro Tag der Gruppe, welche die Therapie abgebrochen hatte, lag mit 119.2 Minuten (160.6 Minuten in der OP-Gruppe vs. 36.3 Minuten in der Therapieabbruchgruppe) deutlich höher. Dabei ist zu beachten, dass wir bei allen Patienten, welche angaben, die Saugglocke nachts während dem Schlafen zu tragen und die genaue Tragezeit wegen unbemerktem Lösen der Saugglocke nicht wussten, mit 300 Minuten (entsprechend 5 Stunden) pro Nacht rechneten.

Die Therapiedauer des Patientenkollektivs betrug 20.5 Monate. Die Patienten der Abschlussgruppe hatten die Saugglockenanwendung nach durchschnittlich 21.8 Monaten erfolgreich abgeschlossen (nach minimal 6 und maximal 69 Monaten), während die Therapiegruppe die Saugglocke schon für durchschnittlich 22.1 Monaten anwandte. Ein Therapieabbruch wurde nach durchschnittlich 15.7 Monaten, Patienten mit OP nach 18.7, Patienten ohne OP nach 10.8 Monaten, durchgeführt (frühestens nach 2, spätestens nach 42 Monaten).



Nebenwirkungen

Nebenwirkungen traten vor allem zu Beginn der Saugglockenbehandlung auf. Es wurde über folgende berichtet (mehrere Nebenwirkungen beim gleichen Patient möglich):

Nebenwirkung	Anteil
Hautirritationen (z.B. Rötung)	13.6 %
Schmerzen im Sternumbereich oder unter dem Saugglockenrand	12.1 %
Petechiale Blutungen oder Hämatome	7.1 %
Rückenschmerzen	3.6 %
Blasenbildung unter dem Saugglockenrand oder Bläschenbildung unter der Saugglocke	2.9 %
Brustwarzenveränderung (z.B. Schwellung)	2.1 %
Dysästhesien der oberen Extremität	0.7 %
Gastroösophageale Refluxbeschwerden	0.7 %
Herzrhythmusstörungen	0.7 %
Juckreiz	0.7 %

Tabelle 3: Nebenwirkungen Saugglockenanwendung

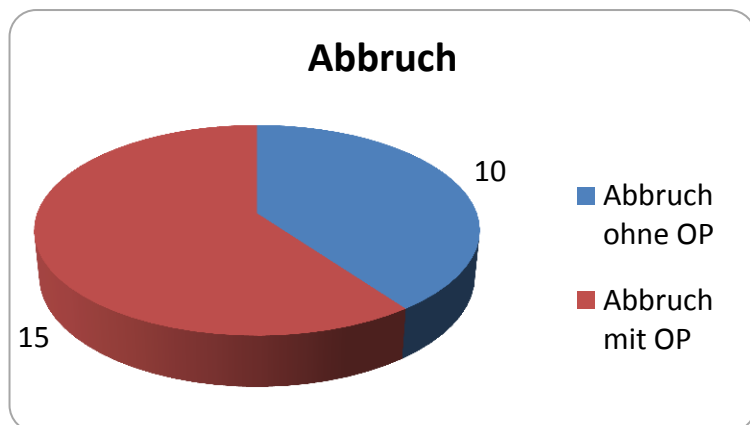
Die Nebenwirkungen waren alle vorübergehender Natur. Am häufigsten traten mit 13.6 % lokale Hautreizungen auf (s. Anhang Seite III, Abb. 4-5). Die zweithäufigste Nebenwirkung waren mit 12.1 % Schmerzen im Sternum-/Trichterbereich oder unter dem Saugglockenrand. Ebenfalls ziemlich häufig kam es zu petechialen Blutungen oder Hämatomen, vor allem bei Anwendung mit hohem Unterdruck. Ein Patient berichtete über Einblutungen bei starker Aknemanifestation im Bereich unter der Saugglocke. Ebenfalls häufig kam es nach Entfernung der Saugglocke zu kurzzeitigen Schmerzen im Rippen-/Sternumbereich. Keiner der befragten Patienten sah sich gezwungen, auf Grund der durch die Anwendung der Saugglocke entstandenen Schmerzen Analgetika einzunehmen. Dysästhesien der oberen Extremität wurden nur vereinzelt, bei sehr langen Tragezeiten der Saugglocke, berichtet.

Follow-up

Das Follow-up der 61 Patienten mit erfolgreich abgeschlossener Therapie fand durchschnittlich 27.6 Monate statt. Es findet sich eine grosse Spannweite von 6 Patienten, welche die Therapie bei Studienende erst gerade abgeschlossen hatten (0 Monate), bis hin zu schon lange beendeten Therapien (maximal 73 Monate).

Abbruch

Von den 109 in die Auswertung einbezogenen Patienten brachen 25 die Therapie mit der Saugglocke nach E. Klobe ab, wobei sich 15 davon für eine operative Korrektur der Trichterbrust entschieden.



Gründe für den Abbruch waren:

- Mangelnde Motivation
- Nicht zufriedenstellendes Resultat (s. Anhang Seite XI, Abb. 19)

Die mangelnde Motivation zeigte sich zum Teil darin, dass die Patienten es nicht schafften, die regelmässige Anwendung der Saugglocke in ihren Alltag zu integrieren. Teilweise ist auch ein Zusammenhang zwischen der mangelnden Motivation mit nur wenig und unregelmässiger Anwendung und dem nicht zufriedenstellenden Resultat zu vermuten. Allerdings lässt sich das nicht verallgemeinern. Zwölf Patienten führten die Saugglockenanwendung sehr gewissenhaft und regelmässig durch, und trotzdem zeigte sich nicht der gewünschte Erfolg.

Vermehrte Nebenwirkungen wurden nicht als Abbruchgrund genannt. Es wurden jedoch mit 48.0% öfter über Nebenwirkungen, insbesondere über Hautirritationen und Schmerzen zu Beginn der Therapie, Hämatome und petechiale Blutungen, berichtet als in der Abschluss- und Therapiegruppe mit 35.7%.

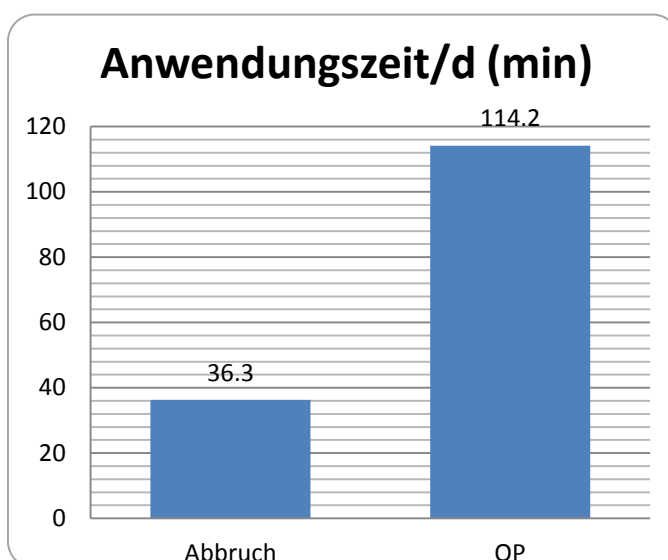
Es lässt sich ebenfalls kein Zusammenhang mit dem Alter feststellen, da das Durchschnittsalter dieser Patientengruppe mit 17.1 Jahren nicht signifikant von dem der anderen Gruppen mit 16.05 Jahren abweicht.

Diskussion

In den Resultaten dieser Arbeit zeigte sich die für das Auftreten der Trichterbrust typische Geschlechterverteilung von 4:1 (m:f), welche auch aus der Literatur bekannt ist (je nach Quelle m:f=3-5:1).^{2,16} Die Altersverteilung war für Trichterbrustpatienten eher untypisch, da auch einige, schon ältere, Erwachsene vertreten sind. In den bisher vorhandenen Studien zur (operativen) Behandlung der Trichterbrust wurden vor allem Kinder und Jugendliche eingeschlossen, bei welchen die Thoraxwand noch beweglicher und formbarer ist, wie bei Erwachsenen.

Die Trichtertiefe zu Beginn lag bei durchschnittlich 2.7 cm. Dieser Ausgangswert ist kaum vergleichbar mit anderen Studien, da diese als Vergleichswert für den Ausprägungsgrad der Trichterbrust meist den Haller-Index (transversaler Thoraxdurchmesser dividiert durch den anteroposterioren Thoraxdurchmesser) verwenden, welcher meist anhand eines CT des Thoraxes ausgerechnet wird.^{16,17} Was sich jedoch nicht leugnen lässt, ist die Regredienz der Trichtertiefe unter der Therapie mit der Saugglocke nach E. Klobe von 1.9 cm im Durchschnitt. Wie aussagekräftig dieses im ersten Augenblick eindeutige Ergebnis ist, ist schwierig zu sagen angesichts der relativ kleinen Patientengruppe, welche bei Studienende die Therapie bereits erfolgreich abgeschlossen hatte (61 Personen, ausreichende Daten von 57 Personen).

Die tägliche Anwendungszeit variierte sehr stark, von 10 Minuten bis zu 8 Stunden, bei einer durchschnittlichen Anwendungszeit von 107.9 Minuten. Die nur wenig höhere Anwendungszeit von durchschnittlich 109.7 Minuten in der Abschlussgruppe zeigt, dass eine erfolgreiche Therapie bereits mit einem vertretbaren Zeitaufwand von nicht einmal zwei Stunden am Tag erreichbar ist. Bei den Therapieabbrechern, welche keine Operation durchführen liessen, liegt die durchschnittliche Anwendungszeit pro Tag mit 36.3 Minuten deutlich tiefer, was allenfalls an ein Motivationsproblem denken lässt. Hingegen haben diejenigen, welche sich anschliessend für eine Operation entschieden haben, die Saugglocke durchschnittlich 160.6 Minuten am Tag angewendet – also fast drei Stunden. Dies spricht möglicherweise dafür, dass die Saugglockentherapie für gewisse Patienten trotz hoher Motivation und guter Compliance einfach nicht geeignet ist. Nun stellt sich nur noch die Frage, ob und wie eine Evaluation solcher Patienten vor Therapiebeginn möglich ist. Der deutlich höhere Wert in der Gruppe der Therapieabbrecher könnte durch die kleinere Datenmenge und den verhältnismässig hohen Anteil (25.0 %) an Patienten mit nächtlicher Saugglockenanwendung erklärt werden – im Gegensatz zu 10.1 % in der Abschluss- und



Therapiegruppe. Eine andere Interpretationsmöglichkeit der hohen täglichen Anwendungszeit bei den anschliessend operierten Patienten ist eine Fehleinschätzung der tatsächlichen Anwendungszeit, da diese Daten in Patienteninterviews ermittelt wurden. Schlussendlich kommt als dritte Möglichkeit auch ein eventuell falsch hohes Ergebnis durch die teils unvollständige Datenlage in Frage.

Die Patientengruppe mit erfolgreich abgeschlossener Therapie wandte die Saugglocke nach E. Klobe während durchschnittlich 21.8 Monaten an. Dies entspricht fast zwei Jahren, wobei die Anwendungsdauer von 6 bis 69 Monaten variiert. Die Personen, welche die Therapie noch fortführen, haben die Saugglocke im Durchschnitt ebenfalls schon 22.1 Monate lang angewandt, wobei diese hohe Zahl durch einige wenige Zustände kommt, welche die Therapie schon während sehr langer Zeit durchführen. 16 der 23 Patienten dieser Gruppe führen die Therapie noch deutlich weniger lange durch. Die Mehrheit der Patienten mit Therapieabbruch haben die Saugglockenanwendung nach weniger als 1.5 Jahren abgebrochen. Nach Durchsicht dieser Daten drängen sich vor allem zwei Fragen auf: Erstens, ob eine Therapiedauer von länger als zwei Jahren, ausser in Ausnahmefällen, überhaupt Sinn macht und zweitens, ob einige der Therapieabbrüche durch bessere Motivation mit konsequenterer Anwendung hätten verhindert werden können. Zur Beantwortung dieser Fragen, um dann wirklich fundierte Empfehlungen aussprechen zu können, braucht es wahrscheinlich noch einige Studien zu diesem Thema.

Das Nebenwirkungsspektrum der in dieser Arbeit untersuchten Therapie war relativ klein und im Gegensatz zu den z.T. schwerwiegenden, wenn auch seltenen, Komplikationen der operativen Therapiemöglichkeiten, vergleichsweise harmlos. Alle Nebenwirkungen, auch die am häufigsten beobachteten, wie Hautirritationen, petechiale Blutungen oder Hämatome sowie Schmerzen im Sternumbereich oder unter dem Saugglockenrand, wurden hauptsächlich zu Beginn der Therapie beobachtet und waren nur vorübergehend. Wenn man die möglichen Nebenwirkungen sowohl der offenen Korrektur der Trichterbrust wie auch der MIRPE bedenkt, wozu Pneumothoraxes, Bügelverschiebungen mit notwendiger Reoperation, Wundinfektionen und vieles mehr gehören, erscheinen die Nebenwirkungen der Saugglockentherapie als Bagatellen. Es wurden keine Analgetika auf Grund der Saugglockentherapie eingesetzt, wie uns alle Patienten bestätigten. Dies ist auch ein immenser Vorteil gegenüber den operativen Therapiemöglichkeiten, welche selbstverständlich eine gute postoperative Analgesie indizieren.

Ein Follow-up der Patienten nach Therapieabschluss von durchschnittlich über 2 Jahren (27.6 Monate) mit bleibend zufriedenstellendem Resultat scheint ein gutes Ergebnis zu sein, wenn man bedenkt, dass dieser Durchschnitt nur annähernd die grosse Streubreite beschreibt. 18 Patienten wurden beim Abschluss der Datensammlung schon über 3 Jahre nach Therapieende begleitet und sind immer noch mit dem Resultat zufrieden, davon 6 Patienten, welche die Therapie schon vor über 5 bzw. 6 Jahren abgeschlossen haben. Für einen noch so jungen Therapieansatz stellt dies ein richtungsweisendes Ergebnis dar, welches auch die Krankenkassen von der Nützlichkeit und Zweckmässigkeit der Therapie überzeugen sollte – nicht zu sprechen von der Wirtschaftlichkeit im Gegensatz zu den operativen Ansätzen.

Die Saugglockentherapie wurde von 25 der 109 Patienten abgebrochen. Als Gründe wurden Motivationsprobleme bezüglich der regelmässigen Durchführung der Therapie sowie ein nicht zufriedenstellendes Resultat angegeben. Gemäss unseren Beobachtungen besteht wahrscheinlich bei einigen Patienten ein Zusammenhang zwischen den beiden oben genannten Abbruchgründen. Eine interessante Tatsache scheint das in dieser Gruppe häufigere Auftreten von Nebenwirkungen (48 vs. 36%), was ebenfalls als möglicher Abbruchgrund in Frage kommt, welcher jedoch von den Patienten nicht ausdrücklich als solcher genannt wurde.

Da es sich um eine retrospektive Studie handelt, welche Daten aus einer Periode von 8 Jahren beinhaltet, sind vor allem aus der Anfangsphase nur unvollständige Daten vorhanden. Die Untersuchungen vor Beginn der Therapie haben sich in der Zeit verändert, was die Homogenität der Ausgangsdaten stark einschränkt, insbesondere die Messung der Trichtertiefe. Die unvollständige Datenlage machte eine statistische Auswertung schwierig. Hinzu kam, dass es sich bei den meisten Daten nicht um eine Normalverteilung handelte, weshalb wir uns auf eine rein deskriptive Statistik beschränkten. Trotzdem zeigte sich bei den meisten Patienten sowohl subjektiv wie auch objektiv, soweit beurteilbar, eine deutliche Verbesserung des Befundes bei gut erträglichem Nebenwirkungsprofil.

Diese Studie hat gezeigt, dass die Anwendung der Saugglocke nach E. Klobe als alleinige Therapie der Trichterbrust durchaus eine effektive Alternative ist zu den bisher bekannten operativen Korrekturverfahren der Trichterbrust. Die Anwendung war nicht in allen Fällen erfolgreich. Die hohe Erfolgsquote von 70.9% spricht jedoch sehr für den vermehrten Einsatz der im Vergleich zu einer Operation risikoarmen und kostengünstigen Therapie mit der Saugglocke. Elementare Grundlage für den Therapieerfolg ist die sorgfältige Auswahl der Patienten. Nicht jeder Befund lässt sich mit dieser Methode erfolgreich korrigieren. Ein wichtiger drastischer Nachteil besteht darin, dass die Kostenträger bis jetzt nach entsprechendem psychiatrischem Gutachten zwar für die Kosten einer Operation aufkommen, jedoch leider nicht für die viel kostengünstigere und patientenfreundlichere Methode, die Saugglocke nach E. Klobe.

Als ergänzende Behandlung zur Operation nach Nuss wird die Saugglocke schon seit geraumer Zeit prä- und auch intraoperativ eingesetzt, um den substernalen Raum zu vergrössern, die Verletzungsgefahr der intrathorakalen Organe, genauer gesagt der Lunge und des Herzens, zu minimieren und somit die Einlage des Metallbügels zu erleichtern.

Für die operativen Korrekturmöglichkeiten der Trichterbrust wurden Studien über die Veränderungen der pulmonalen und kardialen Funktion sowohl in Ruhe wie auch unter Belastung durchgeführt, welche für beides eine signifikante Verbesserung zeigte, v.a. unter Belastung.¹³ Präoperativ zeigte sich meist eine restriktive Ventilationsstörung und eine Einschränkung der rechtsventrikulären Funktion.^{2,16,17,19,58,59,60,61} Studien, welche die Veränderung der pulmonalen und kardialen Funktion durch die Saugglockentherapie untersuchen, fehlen noch.

Schlussfolgerung

Insgesamt wirft diese Studie ein positives Licht auf die noch relativ junge Therapieform. In der vorliegenden Studie haben mit 55.9 % die Mehrzahl der Patienten diese nicht-invasive Therapie der Trichterbrust erfolgreich abgeschlossen, wie man im Anhang z.B. in Abbildung 14 gut sehen kann, während 21.1 % die Therapie noch fortführen. Die Patienten, welche die Therapie abgeschlossen haben, konnten somit eine risikoreichere – und nicht zuletzt auch kostenintensivere – invasive Therapie ihrer Trichter-brust vermeiden. Nur 13.8 % der Patienten haben sich schlussendlich trotzdem für eine operative Therapie entschieden. Der Zeitaufwand über die gesamte Anwendungsdauer hinweg ist deutlich höher als bei einer Operation, wofür man jedoch durch die Vorteile einer nicht-invasiven Therapie, ohne die Risiken einer Operation, entschädigt wird. Die Akzeptanz dieser Methode und damit die Patientenzufriedenheit unter den Anwendern ist sehr hoch.

Literaturverzeichnis (chronologisch)

- ¹ Häcker F.-M., Zuppinger J., Bielek J., Mayr J: Therapie der Trichterbrust mittels Saugglocke. Orthopädische Nachrichten. Kongressausgabe 2008 2(4); 10.
- ² Robicsek F., Watts L. T: Surgical Correction of Pectus Excavatum. How Did We Get Here? Where Are We Going? Thoracic Cardiovascular Surgery 2011. 59;5-14.
- ³ Lester C. W: Surgical treatment of funnel chest. Ann Surg 1946. 126;1003-1007.
- ⁴ Bauhinus J: Sterni cum costis ad interna reflexio native, spirandi difficultatis causes. Frankfurt: Johannes Schenck von Grafenberg 1594.
- ⁵ Lesbo M., Tang M., Nielsen H. H., Frokiaer J., Lundorf E. Pilegaard H. K., Hjortdal V. E: Compromised cardiac function in exercising teenagers with pectus excavatum. Interactive CardioVascular and Thoracic Surgery 2011. 13;377-380.
- ⁶ Häcker F.-M: Die Saugglocke nach E. Klobe zur konservativen Therapie der Trichterbrust: die Glocke als Alternative zum Bügel? Orthopädische Praxis 2009 45(4); 183-189.
- ⁷ www.trichterbrust.ch/aerzte.htm
- ⁸ Flesch M: Ueber eine seltene Missbildung des Thorax. Virchow Arch f path Anat 1873. 57;289-294.
- ⁹ Häcker F.-M., Bielek J: Neue Wege in der Behandlung der Trichterbrust. regio pädiatrica 2005 3; 10-12.
- ¹⁰ Häcker F.-M., Mayr J: The vacuum bell for treatment of pectus excavatum: an alternative to surgical correction? European journal of cardio-thoracic surgery 2006 29; 557-561.
- ¹¹ Niethard F. U., Pfeil J: Thieme. Duale Reihe Orthopädie. Teil C.: 2.2. Trichterbrust. 386-388.
- ¹² Nuss D: Minimally invasive surgical repair of pectus excavatum. Seminars in Pediatric Surgery 17(3). August 2008; 209-217.
- ¹³ Kelly R. E. Jr, Goretsky M. J., Obermeyer R., Kuhn M. A., Redlinger R., Haney T. S., Moskowitz A., Nuss D: Twenty-One Years of Experience With Minimally Invasive Repair of Pectus Excavatum by the Nuss Procedure in 1215 Patients. Annals of Surgery December 2010; 252 (6); 1072-1081.
- ¹⁴ Nageotte-Wilbouchewitch M: Malformations des cotes de thorax e charniere. Bull Soc Pediatr de Paris 1933. 31;280-284.
- ¹⁵ Pohl R: Trichterbrust und Herzform. Wien Klein Wschr 1928. 412;39-42.
- ¹⁶ Hebra A: Minimally Invasive Repair of Pectus Excavatum. Semin Thoracic and Cardiovascular Surgery 2009. 21;76-84.
- ¹⁷ Lawson M. L., Mellins R. B., Paulson J. F., Shamberger R. C., Oldham K., Azizkhan R. G., Hebra A. V., Nuss D., Goretsky M. J., Sharp R. J., Holcomb G. W., Shim W. K. T., Megison S. M., Moss L., Fecteau A. H., Colombani P. M., Moskowitz A. B., Hill J., Kelly R. E. Jr: Increasing Severity of Pectus Excavatum is Associated with Reduced Pulmonary Function. The Journal of Pediatrics 2011. 159; 256-261.
- ¹⁸ Adkins P. C., Gwathmey O: Pectus excavatum: an appraisal of surgical treatment. Journal Thoracic Surgery 1958. 16;714-728.
- ¹⁹ Quigley P. M., Haller J. A., Jelus K. L. et al: Cardiorespiratory function before and after corrective surgery in pectus excavatum. Journal Pediatr 1996. 128;638-643.
- ²⁰ Zhao L., Feinberg M. S., Gaides M. Ben-Dov I: Why is exercise capacity reduced in subjects with pectus excavatum? J Pediatr 2000. 136;163-167.
- ²¹ Rowland T., Moriarty K., Banever G: Effect of pectus excavatum deformity on cardiorespiratory fitness in adolescent boys. Arch Pediatr Adolesc Med 2005. 159;1069-1073.
- ²² Guntheroth W. G., Spiers P. S: Cardiac function before and after surgery for pectus excavatum. Am J Cardiol 2007. 99;1762-1764.
- ²³ Frick S. L: Scoliosis in children with anterior chest wall deformities. Chest Surg Clin North Am 2000. 10;427-436.
- ²⁴ Grimes S. J., Acheson L. S., Matthews A. L. et al: Clinical consult: Marfan syndrome. Prim Care 2004. 31;739-742.
- ²⁵ Redlinger R. E. Jr., Kelly R. E. Jr., Nuss D., Kuhn M. A., Obermeyer R. J., Goretsky M. J: One hundred patients with recurrent pectus excavatum repaired via the minimally invasive Nuss technique – effective in most regardless of initial operative approach. Journal of Pediatric Surgery 2011. 46;1177-1181.
- ²⁶ Am P. H., Scherer L. R., Haller J. A. et al: Outcome of pectus excavatum in patients with Marfan syndrome and in the general population. Journal Pediatr 1989. 115(6);954-958.

-
- ²⁷ Länge F: Thoraxdeformitäten. In: Pfaundler M., Schlossmann A: Handbuch der Kinderheilkunde, Vol V. Chirurgie und Orthopädie im Kindesalter. Leipzig, FCW Vogel 1910. 157.
- ²⁸ www.trichterbrust.de (Website des Erfinders)
- ²⁹ Schier F., Bahr M., Klobe E: The vacuum chest wall lifter: an innovative, nonsurgical addition to the management of pectus excavatum. *Journal of Pediatric Surgery* 2005. 48;496-500.
- ³⁰ Haid C., Rabl W., Baubin M: Active compression-decompression resuscitation: the influence of different chest geometries on the force transmission. *Resuscitation* 1997. 35;83-85.
- ³¹ Haecker F.-M: The vacuum bell for conservative treatment of pectus excavatum: the Basle experience. *Pediatr Surg Int* 2011. 27;623-627.
- ³² Robicsek F., Hebra A: to nuss or not? Two opposing views. *Sem Thoracic Cardiovasc Surg* 2009. 21(1); 85-88.
- ³³ Nasr A., Fecteau A., Wales P. W: Comparison of the Nuss and the Ravitch procedure for pectus excavatum repair: a meta-analysis. *Journal of Pediatric Surgery* 2010. 45;880-886.
- ³⁴ Jo W. M., Choi Y. H., Sohn Y. S. et al: Surgical treatment for pectus excavatum. *Journal Korean Med Sci* 2003. 18;360-364.
- ³⁵ Miller K. A., Woods R. K., Sharp R. J. et al: Minimally invasive repair of pectus excavatum: a single institution's experience. *Surgery* 2001. 130;652-657.
- ³⁶ Fonkalsrud E. W., Beanes S., Hebra A. et al: Comparison of minimally invasive and modified Ravitch pectus excavatum repair. *Journal Pediatr Surg* 2002. 37;413-417.
- ³⁷ Boehm R. A., Muensterer O. J., Till H: Comparing minimally invasive funnel chest repair versus the conventional technique: an outcome analysis in children. *Plast Reconstr Surg* 2004. 114;668-673.
- ³⁸ Antonoff M. B., Erickson A. E., Hess D. J. et al: When patients choose: comparison of Nuss, Ravitch and Leonard procedures for primary repair of pectus excavatum. *Journal Pediatr Surg* 2009. 44;1113-1118.
- ³⁹ Inge T. H., Owings E., Blewett C. J. et al: Reduced hospitalization cost for patients with pectus excavatum treated using minimally invasive surgery. *Surg Endosc* 2003. 17;1609-1613.
- ⁴⁰ Lam M. W., Klassen A. F., Montgomery C. J. et al: Quality-of-life outcomes after surgical correction of pectus excavatum: a comparison of the Ravitch and Nuss procedures. *Journal Pediatr Surg* 2008. 43;819-825.
- ⁴¹ Molik K. A., Engum S. A., Rescorla F. J. et al: Pectus excavatum repair: experience with standard and minimal invasive techniques. *Journal Pediatr Surg* 2001. 36;324-328.
- ⁴² Kelly R. E. Jr., Cash T. F., Shamberger R. C. et al: Surgical repair of pectus excavatum markedly improves body image and perceived ability for physical activity: multicenter study. *Pediatrics* 2008. 22;1218-1222.
- ⁴³ Yeung-Leung C., Shih-Chun L., Tsai-Wang H., Ching-Tang W: Efficacy and safety of modified bilateral thoracoscopy-assisted Nuss procedure in adult patients with pectus excavatum. *European Journal of Cardio-thoracic Surgery* 2008. 34;1057-1061.
- ⁴⁴ Bufo A. J., Stone M. M: Addition of thoracoscopy to Nuss pectus excavatum repair. *Pediatr Endosurg Innovative Tech* 2001. 5;159-162.
- ⁴⁵ Nuss D., Kelly R. E. Jr, Croitoru D.P., Kat M. E. A 10-year review of a minimally invasive technique for the correction of pectus excavatum. *Journal of pediatric surgery* 1998 33(4); 545 -552
- ⁴⁶ Masaoka A., Kondo S., Sasaki S., Hara F., Mizuno T., Yamakawa Q., Kobayashi T., Fujii Y: Thirty years' experience of open-repair surgery for pectus excavatum: development of a metal-free procedure. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery* 2011.
- ⁴⁷ Kim D. H., Hwang J. J., Lee M. K., Lee D. Y., Paik H. C: Analysis of the Nuss procedure for pectus excavatum in different age groups. *Ann Thorac Surg* 2005. 80(3);1073-1077.
- ⁴⁸ Hebra A., Swoveland B., Egbert M., Tagge E. P., Georgeson K., Othersen H. B. Jr., Nuss D: Outcome analysis of minimally invasive repair of pectus excavatum: review of 251 cases. *Journal Pediatr Surg* 2000. 35(2);252-257.
- ⁴⁹ Croitoru D. P., Kelly R. E. Jr., Goretsky M. J., Lawson M. L., Swoveland B., Nuss D: Experience and modification update for the minimally invasive Nuss technique for pectus excavatum repair in 303 patients. *Journal Pediatr Surg* 2002. 37(3);289-295.
- ⁵⁰ Engum S., Rescorla F., West K. et al: Is the grass greener? Early results of the Nuss procedure. *Journal Pediatr Surg* 2000. 35;246-251.
- ⁵¹ Nuss D., Croitoru D. P., Kelly R. E. et al: Review and discussion of the complications of minimally invasive pectus excavatum repair. *Eur J Pediatr Surg* 2002. 12;230-234.
- ⁵² Marusch F., Gastinger I: Lifethreatening complication of the Nuss-procedure for funnel chest. A case report. *Zentralbl Chir* 2003. 128;981-984.
- ⁵³ Rushing G. D., Goretsky M. J., Gustin T. et al: When it is not an infection: Metal allergy after the Nuss procedure for repair of pectus excavatum. *Journal Pediatr Surg* 2007. 42;93-97.
- ⁵⁴ Shin S., Goretsky M., Kelly R. E. et al: Infectious complications after the Nuss repair in a series of 863 patients. *Journal Pediatr Surg* 2007. 42;87-92.

-
- ⁵⁵ Becmeur F., Ferreira C. G., Häcker F.-M., Schneider A., Lacreuse I: Pectus Excavatum Repair According to Nuss: Is It Safe to Place a Retrosternal Bar by a Transpleural Approach, Under Thoracoscopic Vision? *Journal of Laparoendoscopic & advanced Surgical Techniques* 2011(8). 21;757-761.
- ⁵⁶ Petersen C., Ure B. M: Minimal-invasive Operationsverfahren: Trichterbrust: Was hat sich mit Einführung der MIRPE verändert? *pädiatrie hautnah* 2006. 1; 23-26.
- ⁵⁷ <http://de.wikipedia.org/wiki/Trichterbrust>
- ⁵⁸ Kelly R., Shamberger R., Hebra A., et al: Prospective multicenter study of surgical correction of pectus excavatum: Design, perioperative complications, pain, and baseline pulmonary function facilitated by internet-based data collection. *Journal Am Coll Surg* 2007. 205;205-216.
- ⁵⁹ Peterson R. J., Young W. G., Godwin J. D., et al: Noninvasive assessment of exercise cardiac function before and after pectus excavatum repair. *Journal Thoracic Cardiovascular Surgery* 1985. 90;251-260.
- ⁶⁰ Weg J. G., Krumholz R. A., Harkleroad L. E: Pulmonary dysfunction in pectus excavatum. *Am Rev Respir Dis* 1967. 96;936-945.
- ⁶¹ Shamberger R. C., Welch K. J: Mitral valve prolapse with pectus excavatum. *Journal Pediatr* 1987. 111;404-406.