

Diplomarbeit

Pectus carinatum
**Wann ist der optimale Zeitpunkt zum Start der Pelottentherapie –
ein Literaturreview**

eingereicht von

Bastian Wittmann-Rath

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der gesamten Heilkunde

(Dr. med. univ.)

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt am

Universitätsklinikum für Kinder- und Jugendchirurgie

unter der Anleitung von

Dott. Univ. FA Paolo Gasparella

Assoz. Prof. Priv.-Doz. Dr. med. univ. Georg Singer

Graz am 06.11.2024

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Des Weiteren erkläre ich hiermit, dass, sofern bei der Erstellung dieser Arbeit Künstliche Intelligenz (KI) Werkzeuge zur Generierung und/oder Korrektur bestimmter Textpassagen verwendet wurden, dieser Einsatz unter Einhaltung ethischer Grundsätze, akademischer Integrität und den Vorgaben meiner Universität erfolgte, sowie in Folge dies transparent gemacht und in angemessener Weise gekennzeichnet wurde.

Graz, am 06.11.2024

Bastian Wittmann-Rath eh.

Danksagungen

Ich möchte mich hiermit bei Herrn Dott. Univ. FA Paolo Gasparella für die großartige Betreuung bei meiner Diplomarbeit bedanken. Durch sein Engagement und die vielen ausführlichen Besprechungen mit konstruktivem Feedback, war es mir erst möglich diese Arbeit zu schreiben. Mein Dank gilt ebenso Herrn Assoz. Prof. Priv.-Doz. Dr. med. univ. Georg Singer, der mir besonders beim Fertigstellen der Diplomarbeit zur Seite gestanden ist.

Weiters möchte ich mich herzlichst bei meinen Eltern bedanken, die mir dieses Studium ermöglicht haben.

Ganz besonderer Dank gebührt auch meiner Ehefrau Anna-Lisa. Du hast mich stets motiviert mein Bestes zu geben und bist mir zur Seite gestanden. Ich kann mich glücklich schätzen einen Menschen wie dich an meiner Seite zu haben.

Zusammenfassung in Deutsch

Einleitung:

Bei der Kielbrust handelt es sich um eine seltene Fehlbildung des knöchernen Thorax, die mit einer makroskopisch erkennbaren Vorwölbung des Sternums einhergeht. Die genaue Ursache ist jedoch bis heute unbekannt. Das optische Erscheinungsbild der Kielbrust führt bei Betroffenen häufig zu einem psychischen Leidensdruck mit niedrigem Selbstvertrauen. Neben der operativen Korrektur ist die Therapie der Wahl eine konservative Behandlung durch eine Kielbrustorthese. Das empfohlene Alter für den Beginn der Pelottentherapie ist in der Literatur nicht eindeutig definiert. Ziel dieser Diplomarbeit ist es durch einen Literaturreview Daten und Empfehlungen von Studien zu vergleichen, um den optimalen Zeitpunkt des Therapiebeginnes zu bestimmen.

Methoden:

In der Datenbank Pubmed wurde mittels einer Mesh Suche nach geeigneten Studien gesucht. Diese wurden nach dem PICO (Patient, Population, Intervention, Comparison, Outcome)Schema überprüft. Nach der Entfernung von Duplikaten wurden 14 Studien im Detail analysiert. Es wurden die Parameter wie Geschlecht, Symmetrie, Alter, PIC (pressure for initial correction), Behandlungsdauer, Tragedauer sowie die Ergebnisse ausgewertet und wenn möglich tabellarisch verglichen. Der Hauptfokus wurde gemäß der Forschungsfrage auf das optimale Alter für den Start der Pelottentherapie gerichtet.

Ergebnisse:

Es konnte kein allgemein gültiger Konsens, in welchem Alter eine Pelottentherapie begonnen werden sollte, gefunden werden. Bei 6 von 14 Studien wurde eine Altersempfehlung abgegeben. Die Spannweite der Altersempfehlungen beträgt 15 Jahre. Um eine gemeinsame Aussage bilden zu können, wurde ein Therapiebeginn im Alter von unter 14 Jahren definiert. Diese Empfehlung deckt sich mit 5 von 14 Studien. Weitere randomisierte kontrollierte Studien sind erforderlich, um dieses Thema besser zu erläutern.

Abstract in English

Introduction:

Pectus carinatum is a rare malformation of the chest that is associated with a macroscopically recognizable protrusion of the sternum. However, the exact cause is still unknown. The visual appearance of pectus carinatum often leads to psychological distress and low self-confidence in affected patients. In addition to surgical correction, the treatment of choice is conservative treatment with a dynamic compression bracing system. The recommended age for starting the dynamic compression bracing treatment is not clearly defined in the literature. The aim of this diploma thesis is to compare data and recommendations from studies through a literature review in order to determine the optimal time of start of treatment.

Methods:

The Pubmed database was searched for suitable studies using a mesh search. These were checked according to the PICO scheme (patient, population, intervention, comparison, outcome). After removing duplicates, 14 studies remained for further analysis. Parameters such as gender, symmetry, age, PIC (pressure for initial correction), treatment duration, wearing time and results were evaluated and compared in tabular form where possible. In accordance with the research question, the main focus was on the optimal age for starting pad therapy.

Results:

There is no generally valid consensus on the age at which pad therapy should be started; an age recommendation was made in 6 of 14 studies. The range of recommended ages is 15 years. In order to be able to form a common statement, the start of therapy was defined as under 14 years of age. This recommendation is consistent with 5 of 14 studies. More randomized controlled trials are needed to better clarify this topic.

Angaben von bereits erfolgten Veröffentlichungen

Inhaltsverzeichnis

ZUSAMMENFASSUNG IN DEUTSCH.....	IV
ABSTRACT IN ENGLISCH.....	V
ANGABEN VON BEREITS ERFOLGTEN VERÖFFENTLICHUNGEN.....	VI
ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	X
TABELLENVERZEICHNIS.....	X
1. EINLEITUNG.....	1
1.1 ANATOMIE DES KNÖCHERNEN THORAX.....	1
1.2 DEFINITION.....	2
1.3 EPIDEMIOLOGIE.....	3
1.4 ÄTIOLOGIE.....	3
1.5 PATHOGENESE.....	4
1.6 DIAGNOSE.....	5
1.6.1 HALLER-INDEX.....	6
1.7 SYMPTOME.....	7
1.8 THERAPIE.....	8
1.8.1 KONSERVATIV.....	8
1.8.1.1 PIC.....	10
1.8.2 OPERATIV.....	11
1.9 PROGNOSE.....	15
1.10 KOMPLIKATIONEN.....	15
1.11 ZIEL DER STUDIE.....	16
2. METHODEN.....	17
2.1 AUSWAHLKRITERIEN.....	17
2.2 INFORMATIONQUELLEN.....	17
2.3 SUCHE.....	17
2.4 AUSWAHL DER STUDIEN.....	18
3. ERGEBNISSE.....	20
3.1 STUDIEN.....	20
3.2 GESCHLECHT.....	21
3.3 SYMMETRIE.....	22
3.4 ALTER.....	23
3.5 WACHSTUMSSCHUB.....	25
3.6 BRUSTWANDSTEIFIGKEIT.....	26
3.7 PIC (PRESSURE OF INITIAL CORRECTION).....	26
3.8 BEHANDLUNGSDAUER.....	26
3.9 TRAGEDAUER.....	28
3.10 THERAPIEABSCHLUSS.....	30

3.11	ERGEBNIS DER PELOTTENTHERAPIE	31
3.12	GRÜNDE FÜR EINE REDUZIERTER COMPLIANCE	31
3.13	REZIDIVE	32
4.	<u>DISKUSSION</u>	33
4.1	STUDIEN.....	33
4.2	GESCHLECHT.....	33
4.3	SYMMETRIE	33
4.4	ALTER.....	33
4.5	WACHSTUMSSCHUB.....	34
4.6	BRUSTWANDSTEIFIGKEIT	34
4.7	PIC (PRESSURE OF INITIAL CORRECTION)	34
4.8	BEHANDLUNGSDAUER.....	35
4.9	TRAGEDAUER	35
4.10	THERAPIEABSCHLUSS	35
4.11	ERGEBNIS DER PELOTTENTHERAPIE	35
4.12	GRÜNDE FÜR EINE REDUZIERTER COMPLIANCE	36
4.13	REZIDIVE	37
4.14	CONCLUSIO.....	37
	<u>REFERENZEN.....</u>	38

Abkürzungen und deren Erklärung

et al.	<i>et alii, deutsch: und andere</i>
h	<i>Stunden</i>
MeSH.....	<i>Medical Subject Headings</i>
PIC	<i>pressure for initial correction</i>
PICO	<i>Patient, Population, Intervention, Comparison, Outcome</i>
PMC.....	<i>Pubmed Central</i>
psi.....	<i>pounds per square inch, deutsch: Pfund pro Quadratzoll</i>
TGF- β	<i>Transforming growth factor-β</i>
URL	<i>Uniform Resource Locator</i>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Brustkorb von ventral (Quelle: Prometheus Lernetlas der Anatomie: Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem).....	1
Abbildung 2: Kielbrust mit erkennbarer Protrusion des Sternums (Quelle: mit freundlicher Genehmigung der Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie).....	2
Abbildung 3: Haller Index (Quelle: Journal of Anatomy): Zur Berechnung des Haller-Index muss beim Thorax CT der innere transversale Durchmesser (A) und der innere anteroposteriore Durchmesser (B) vermessen werden, wobei der Quotient von A durch B den Haller-Index ergibt.....	6
Abbildung 4: Pelotte von ventral (Quelle: mit freundlicher Genehmigung der Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie).....	8
Abbildung 5: Pelotte von dorsal (Quelle: mit freundlicher Genehmigung der Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie).....	9
Abbildung 6: Messung des PIC (Quelle: Journal of Pediatric Surgery).....	11
Abbildung 7: Narbe nach Ravitch OP (Quelle: European Journal of Pediatric Surgery).....	12
Abbildung 8: Reversed-Nuss-Operation (Quelle: Biochemistry Research International).....	14
Abbildung 9: Auswahl der Studien.....	19
Abbildung 10: Alter zu Therapiebeginn in Relation zum erfolgreichen Abschluss der Therapie.....	24
Abbildung 11: Tragedauer in Relation zum erfolgreichen Abschluss der Therapie.....	28

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Studien.....	20
Tabelle 2: Geschlechterverteilung der Patient*innen.....	21
Tabelle 3: Thoraxsymmetrie.....	22
Tabelle 4: Alter der Patient*innen zu Therapiebeginn.....	23
Tabelle 5: Altersempfehlung für einen Therapieerfolg.....	25
Tabelle 6: Behandlungsdauer.....	27
Tabelle 7: Tragedauer.....	29
Tabelle 8: Pelottentherapie abgeschlossen.....	30
Tabelle 9: Ergebnisse.....	31
Tabelle 10: Rezidive.....	32

1. Einleitung

1.1 Anatomie des knöchernen Thorax

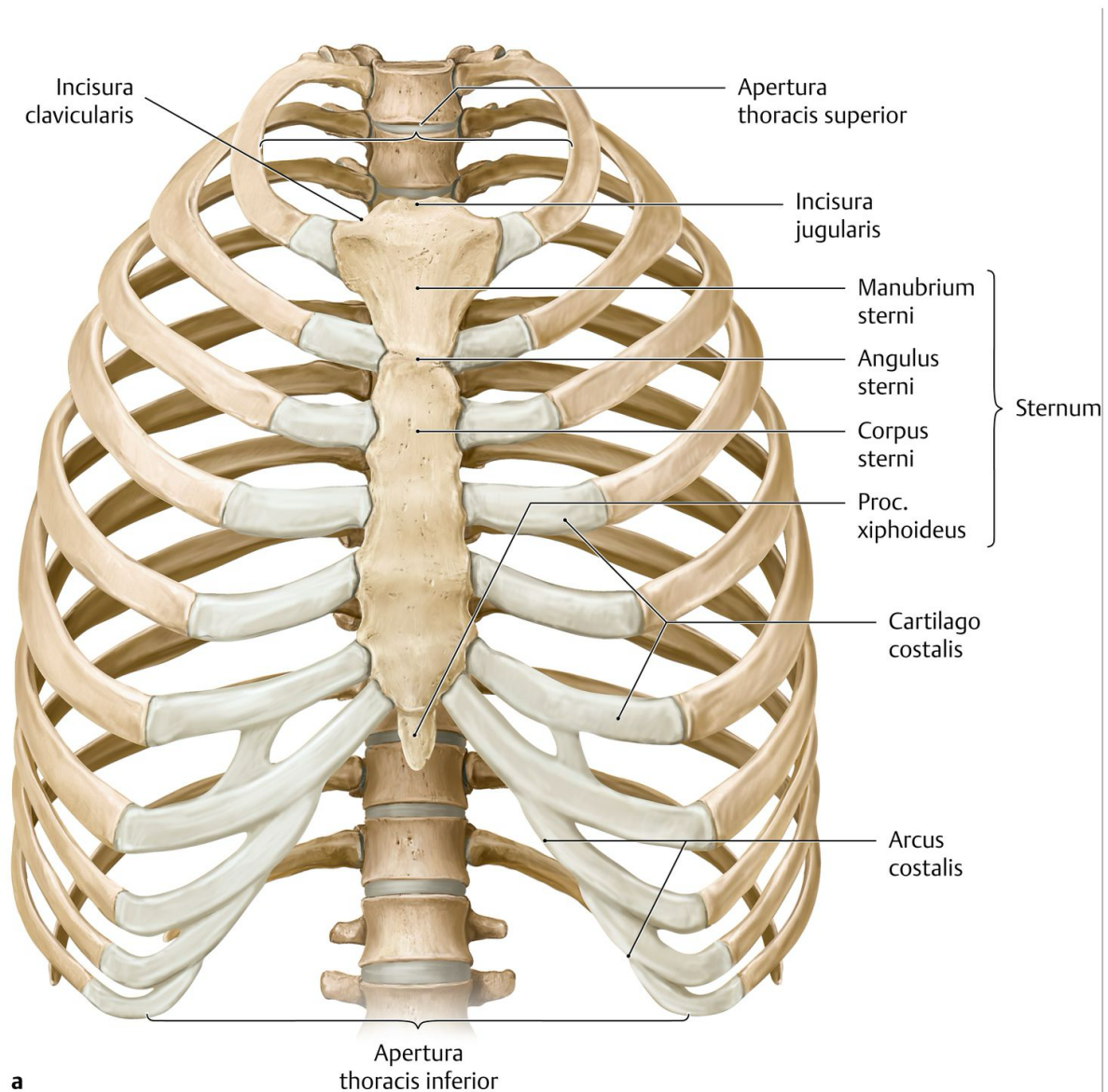


Abbildung 1: Brustkorb von ventral (Quelle: Prometheus Lernatlas der Anatomie: Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem¹)

Der knöcherne Thorax setzt sich aus 12 Brustwirbeln, 12 Rippenpaaren und dem unpaaren Sternum zusammen. Die 12 Rippenpaare kann man unterteilen in Costae verae, Costae spuriae und Costae fluctuantes. Die 7 paarigen Costae verae erreichen das Sternum und bilden von oben nach unten größer werdende Rippenringe. (Abbildung 1) Der bogenförmige untere Rand des

Brustkorbes wird durch die Costae spuriae, die mit den oberen Rippenpaaren knorpelig verbunden sind, und die frei endenden Costae fluctuantes. Das Sternum kann man grob in Corpus sterni, Manubrium sterni und Processus xiphoideus unterteilen.²

1.2 Definition

Die Kielbrust ist eine seltene Fehlbildung des knöchernen Thorax, die mit einem unphysiologisch nach ventral ragendem Sternum einhergeht (Abbildung 2). Die Vorwölbung des Sternums kann symmetrisch oder asymmetrisch sein.³ Bei einer asymmetrischen Vorwölbung ist das Sternum häufiger nach rechts geneigt. Wenn das Manubrium sterni deutlich hervorragt, wird die Kielbrust im englischsprachigen Raum auch als „pigeon breast“ bezeichnet. Häufiger ist das Corpus sterni mit den angrenzenden Rippenknorpelanteilen nach vorne gewölbt, was auch als „chicken breast“ oder Hühnerbrust bezeichnet wird.⁴



Abbildung 2: Kielbrust mit erkennbarer Protrusion des Sternums (Quelle: mit freundlicher Genehmigung der Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie)

1.3 Epidemiologie

Grundlegend kann man bei Thoraxdeformitäten zwischen der Kielbrust und der Trichterbrust unterscheiden. Bei der Trichterbrust verläuft die Verformung des Thorax nach dorsal. Von den beiden Deformitäten ist die Kielbrust im Verhältnis 1:5 die seltenere Erkrankung.⁵

Bei Teenagern liegt die Inzidenz der Kielbrust bei eins von 1000 und Jungen sind von der Kielbrust drei bis fünfmal häufiger betroffen als Mädchen.^{4,6} Bereits ab einem Alter von 10 Jahren kann die Kielbrust optisch präsent werden. Bei weiblichen Patientinnen gipfelt die Kielbrust bei 16 Jahren, während sie bei männlichen Patienten mit 18 Jahren am häufigsten ist.⁴ Da bildgebende Verfahren immer detailliertere Bilder erzeugen, können auch geringe Ausprägungen der Kielbrust radiologisch detektiert werden. Es wird mittlerweile davon ausgegangen, dass milde Formen der Kielbrust bei ca. 5% der Bevölkerung vorkommen.⁴

1.4 Ätiologie

Die genaue Ursache der Kielbrust ist unbekannt. Manche Autor*innen vermuten eine genetische Komponente als Auslöser der Erkrankung, da Thoraxdeformitäten familiär gehäuft beobachtet werden können.⁴ Andere Autor*innen sind der Auffassung, dass die Kielbrust eher erworben statt angeboren ist, da man sie bei Neugeborenen kaum findet.⁷

In einer Vergleichsstudie im Jahr 1999 konnte ein Zusammenhang zwischen dem sternalen Wachstum und dem Auftreten von Brustwanddeformitäten, insbesondere Pectus carinatum gezeigt werden.⁸

Die angeborene Kielbrust kann sich auch als Teil eines erblich bedingten Syndroms manifestieren. Hier sind das Marfan-Syndrom, das Currarino-Silverman Syndrom, das Poland-Syndrom und der Morbus Morquio zu nennen. Weiters kann sich die Kielbrust im Zuge einer Rachitis entwickeln. Wie sich die Kielbrust bei den oben genannten Erbsyndromen oder der Rachitis entwickelt ist in Kapitel 1.5 Pathogenese beschrieben.^{9,10,11,12,13}

1.5 Pathogenese

Bei der Pathogenese der Kielbrust vermutet man ein verändertes Knorpelwachstum im Bereich des Brustkorbes. Beim Knorpelgewebe handelt es sich um hyalinen Knorpel, wie es bei Gelenken typisch ist. Das Knorpelwachstum geschieht durch embryonales Bindegewebe, welches über verschiedene Schritte zu Knorpelgewebe wird. Dieses durchläuft eine Art Längen- und Dickenwachstum. In Tierversuchen (Ratte) sowie einer radiologischen Studie zum Wachstum des Brustbeins konnten bei Thoraxdeformitäten krankhafte Veränderungen in Zonen des Knorpelwachstums rund um das Brustbein festgestellt werden. Anderen Autor*innen zufolge entstehen Thoraxdeformitäten aufgrund übermäßigen Knorpelwachstums im Bereich des Brustkorbes.^{7,14}

1.5.1 Marfan-Syndrom

Beim Marfan-Syndrom handelt es sich um eine autosomal-dominant vererbte Bindegewebskrankheit bei der es zu einem Mangel an Fibrillin-1 und elastischen Fasern kommt, sowie einer erhöhten Ausschüttung von TGF- β (Transforming growth factor- β) kommt. Die vermehrte Ausschüttung von TGF- β führt zu starkem Hochwuchs mit Veränderungen des Brustkorbs in Form einer Kielbrust oder Trichterbrust.⁹

1.5.2 Currarino-Silverman Syndrom

Das Currarino-Silverman Syndrom ist eine seltene Erberkrankung, bei der es durch eine vorzeitige Fusion der Symphysis manubriosternalis und der sternalen Segmente zu einem Pectus carinatum kommen kann. Häufig ist dieses Syndrom mit angeborenen Herzfehlern assoziiert.¹⁰

1.5.3 Poland-Syndrom

Das Poland-Syndrom ist eine seltene erbliche Entwicklungsstörung, bei der es neben Aplasie oder Hypoplasie der Brustmuskulatur, Fehlen der Brustwarze und Veränderungen der Brustwand kommen kann.¹¹ Van Braak et al. haben in Ihrer Studie 2 (0,3% der untersuchten Studienteilnehmer*innen) Patient*innen mit Kielbrust beschrieben, bei denen ein Poland-Syndrom vorliegt.¹⁵

1.5.4 *Rachitis*

Bei der Rachitis handelt es sich um eine Erkrankung des Kindesalters, bei der es durch einen Vitamin-D-Mangel oder eine Störung des Vitamin-D-Stoffwechsels zur ungenügenden Mineralisation der Knochen kommt. Die ungenügende Knochenmineralisation führt zur Verformung der Knochen. Aung H et al. haben in ihrer Studie 29 Patient*innen mit Rachitis beschrieben. Darunter befanden sich 18 Kinder (62%), bei denen sich als Folge der Rachitis eine Kielbrust oder eine Trichterbrust entwickelt hat.¹²

1.5.5 *Morbus Morquio*

Beim Morbus Morquio (auch Mucopolysaccharidose Typ IVA genannt) handelt es sich um eine seltene autosomal rezessive Erkrankung, bei der es durch einen Mangel des Enzyms N-Acetyl-Galaktosamin-6-Sulfat-Sulfatase zur unzureichenden Spaltung von Glukosaminoglykanen kommt. Die Glukosaminoglykane akkumulieren daraufhin in den Lysosomen, was zu verschiedensten Dysfunktionen von Organen führen kann. Die Ausprägung dieses Erbsyndroms ist sehr heterogen, jedoch wird die Kielbrust neben Minderwuchs und Genu valgum als eine sehr häufige Ausprägung beschrieben.¹³

1.6 Diagnose

Die Diagnose Pectus carinatum ist eine klinische Diagnose, welche bei der Inspektion durch eine auffällige Protrusion des Sternums und der Rippen gestellt werden kann. Zur Diagnosesicherung kann eine laterale Thoraxröntgenaufnahme oder eine Bildgebung mittels Computertomographie erfolgen. Bei der Computertomographie wird durch das Verhältnis zwischen transversalem Durchmesser und größtem anteroposterioren Durchmesser des Thorax der Haller Index ermittelt.⁴

1.6.1 Haller-Index

Beim Haller-Index (benannt nach dem amerikanischen Kinderchirurgen Jacob Alex Haller) handelt es sich um eine Berechnung zur Quantifizierung von Thoraxdeformitäten. Berechnet wird der Haller-Index durch den Quotienten aus innerem transversalen Durchmesser (Abbildung 3A) und anteroposteriorem Durchmesser (Abbildung 3B). Grundsätzlich wird der Haller-Index zur Beurteilung der Trichterbrust verwendet, wobei ein Wert von unter 2,0 als normal angesehen wird.¹⁶ Der Haller-Index kann ebenso zur Ermittlung des Schweregrads der Kielbrust verwendet werden.³

An der Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie in Graz kommt der Haller-Index hauptsächlich zur präoperativen Beurteilung einer Trichterbrust zum Einsatz. Zur Diagnose einer Kielbrust wird er nicht verwendet.

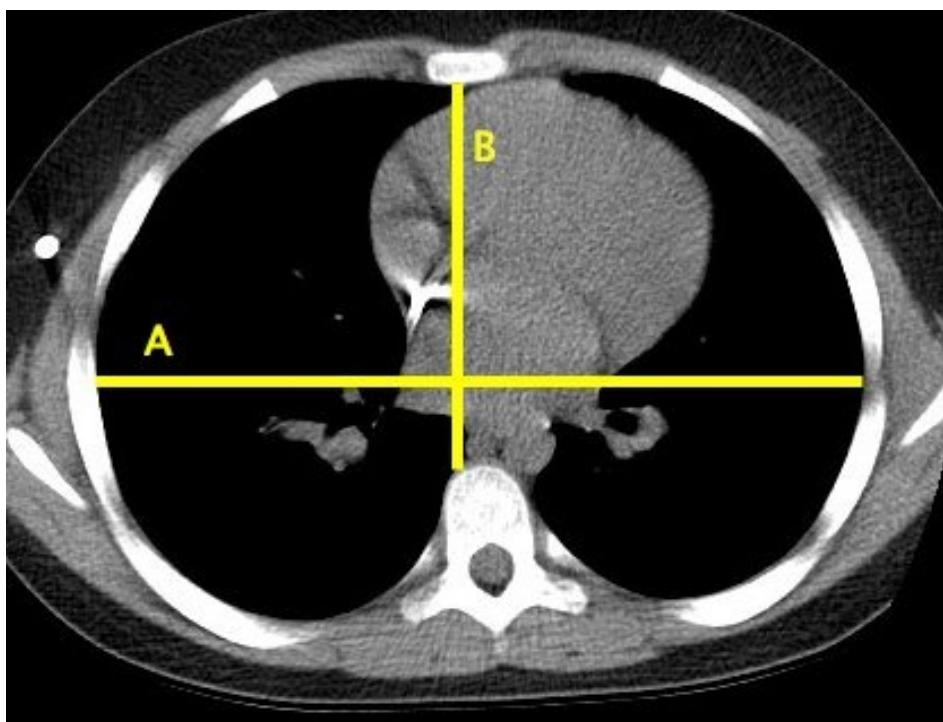


Abbildung 3: Haller Index (Quelle: Journal of Anatomy¹⁷): Zur Berechnung des Haller-Index muss beim Thorax CT der innere transversale Durchmesser (A) und der innere anteroposteriore Durchmesser (B) vermessen werden, wobei der Quotient von A durch B den Haller-Index ergibt.

1.7 Symptome

Meist durchleben Betroffene besonders einen psychischen Leidensdruck, der mit zurückhaltenden Verhaltensweisen und niedrigem Selbstvertrauen einhergeht, wobei auf somatischer Ebene keine gravierende Einschränkung besteht.⁷

Die Thoraxorgane sind in der Regel normal entwickelt. Patient*innen mit Pectus carinatum haben nur im Falle von sehr schwerer Thoraxdeformität physische Beschwerden.⁵ Mögliche physische Symptome einer Kielbrust sind Palpitationen, Dyspnoe sowie Pfeifen oder Giemen. Diese werden besonders bei körperlicher Anstrengung gehäuft beobachtet.⁷

1.8 Therapie

1.8.1 Konservativ

Die Therapie der Wahl ist konservativ und sieht die Behandlung mittels Pelotte vor, da zufriedenstellende Ergebnisse ohne chirurgische Intervention erreichbar sind.⁴ Die Pelotte (Abbildungen 4 und 5), auch Kielbrustorthese genannt, ist eine der individuellen Deformität angepasste Platte, die mithilfe von gepolsterten Gurten kontinuierlich einen Druck auf die Kielbrust ausübt. Durch den kontinuierlichen Druck wird ähnlich wie bei einer Zahnsperre die Deformität im Zuge des natürlichen Körperwachstums korrigiert. Bei rund 90% der Patient*innen kann mittels Pelotte ein, subjektiv und für Außenstehende (Eltern, untersuchende Ärzt*innen) betrachtet, sehr gutes Ergebnis erzielt werden.^{6,18}



Abbildung 4: Pelotte von ventral (Quelle: mit freundlicher Genehmigung der Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie)



Abbildung 5: Pelotte von dorsal (Quelle: mit freundlicher Genehmigung der Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie)

In der Literatur variieren Empfehlungen zur Tragedauer der Pelotte. Die allgemeine empfohlene Tragedauer liegt zwischen 14 und 24 Stunden am Tag.⁴ Es gibt eine Studie, die sich mit dem Thema beschäftigt, ob bei einer Tragedauer zwischen 8 und 12 Stunden täglich ebenso gute Ergebnisse erreichbar sind, bei gleichzeitig verbesserter Patient*innen-Compliance. Laut dieser Studie ist ein tägliches Tragen über 12 Stunden nicht unbedingt notwendig. Eine Tragedauer von 8 bis 12 Stunden pro Tag bringt gute Ergebnisse hervor und verbessert die Compliance.¹⁸

An der Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie Graz wird eine tägliche Tragedauer von mindestens 20 Stunden empfohlen.

Beim Tragen von Orthesen kann es zu Komplikationen kommen. Durch mangelnde Passform oder mangelnde Compliance des Patienten kann sich ein insuffizienter Wirkeffekt einstellen. Eine mangelnde Passform, eine falsche Position der Orthese oder unkontrollierte Kraft- oder Fehldruckwirkung können zu Hautirritationen, Rötung, Druckstellen, Mazeration oder Ulzeration führen. Bei Unverträglichkeit des Pelottenmaterials kann es zu einer Kontaktdermatitis kommen. Grundsätzlich ist im Vorfeld auf Erkrankungen zu achten, welche Hautschäden durch die Orthese begünstigen können, wie beispielsweise Diabetes mellitus oder neurologische Defizite.¹⁹

Bei Patient*innen, die älter als 19 Jahre alt sind, erscheint die Pelottentherapie als weniger sinnvoll, da die Flexibilität der Thoraxwand bereits stark abgenommen hat und sich diese nicht mehr mittels Orthese verformen lässt.⁴ Bei einer starken Asymmetrie der Brustwand ist die Pelottentherapie ebenfalls weniger geeignet. Hierbei ist es schwierig, das Brustbein mittels Orthese in die korrekte Position zu bringen.²⁰

1.8.1.1 PIC

Um die Brustwand mittels Pelotte komplett in eine physiologische Position zurückzubringen, ist je nach Ausmaß der Kielbrust ein gewisser Druck nötig. Dieser wird in der Literatur als „pressure for initial correction“ oder „PIC“ beschrieben. Der PIC wird vor Anwendung der Pelotte in stehender Position mit einem Messgerät erfasst, während der Patient/die Patientin sich mit dem Rücken gegen eine Wand lehnt (Abbildung 6). Die Einheit lautet „pounds per square inch“ (Pfund pro Quadratzoll) oder „psi“.²¹

Der PIC beziehungsweise dessen Messung wird an der Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie Graz nicht verwendet. In der Literatur kommt er ebenso nicht in allen Studien vor. Wenn verwendet, dient der PIC als Maß für die Brustwandsteifigkeit, weshalb ein zu hoher PIC bei manchen Studien auch ein Ausschlusskriterium zur Pelottentherapie darstellt.

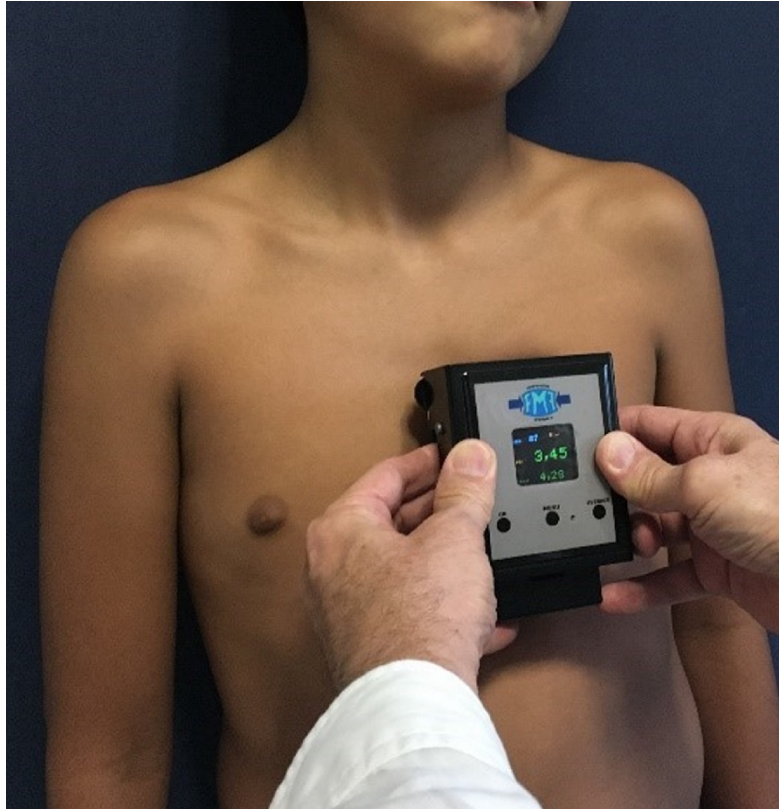


Abbildung 6: Messung des PIC (Quelle: Journal of Pediatric Surgery²¹)

1.8.2 Operativ

Die Indikationen für eine operative Korrektur der Kielbrust variieren in der Literatur. Shang Z et al.²² haben definiert, dass für eine operative Indikation zwei der folgenden vier Kriterien erfüllt sein müssen:

- 1) Haller-Index $< 2,30$
- 2) Pathologische Veränderungen in Lungenfunktionstests oder Echokardiographie erkennbar
- 3) Voranschreitende Thoraxdeformität mit dadurch ausgelösten Symptomen
- 4) Patient*innen akzeptieren die optische Erscheinung des Thorax nicht²²

1.8.2.1 Operation nach Ravitch

Bei der Operation nach Ravitch handelt es sich um ein offen-chirurgisches Verfahren basierend auf der Resektion von Knorpelgewebe des Brustkorbes. Der für die Operation notwendige Querschnitt am Brustkorb führt zu einer deutlichen Narbenbildung in diesem Bereich (Abbildung 7: Narbe nach Ravitch OP).²³ In der heutigen Zeit ist die Operation nach Ravitch

allerdings nicht mehr die operative Therapie der Wahl, da sich mit der Reversed-Nuss-Operation ein weniger invasives Verfahren etabliert hat.⁴

Zu möglichen Komplikationen der Operation nach Ravitch zählen intercostale Dysästhesien, Blutungen, Pleuraverletzungen, Serombildung, Pneumothorax, Schaden an Herz oder Lungen und ein rezidivierender Pectus carinatum.^{23,24}

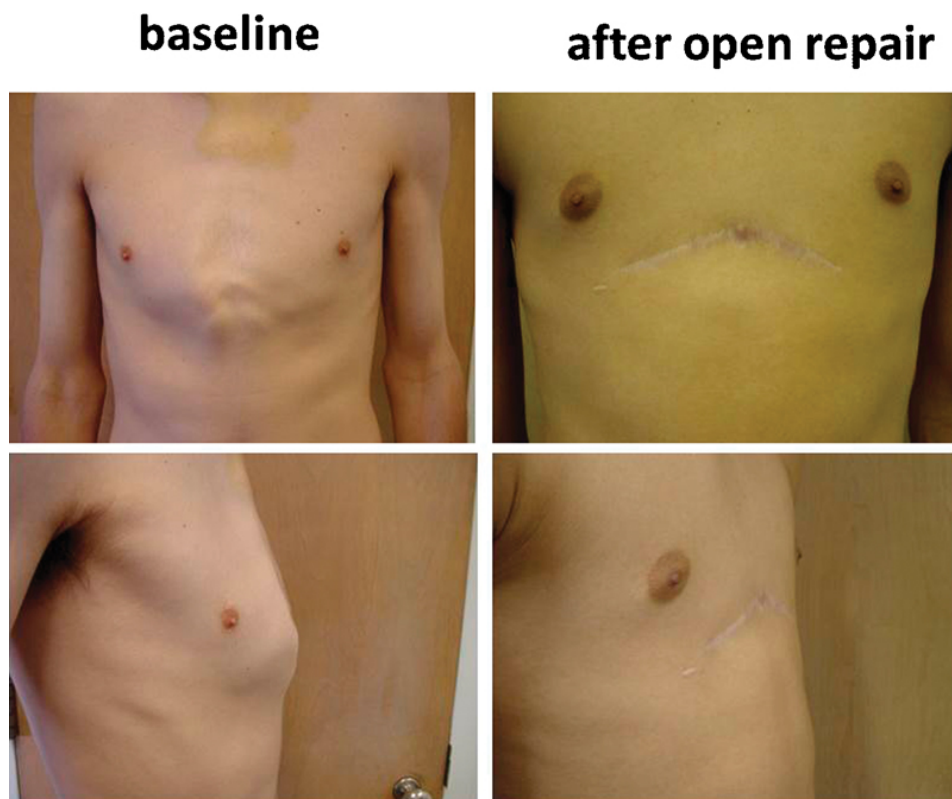


Abbildung 7: Narbe nach Ravitch OP (Quelle: European Journal of Pediatric Surgery²³)

Oben links: Thorax von frontal vor dem operativen Eingriff

Oben rechts: Thorax von frontal nach dem operativen Eingriff mit der deutlich erkennbaren Narbe

Unten links: Thorax von lateral mit dem gut erkennbaren Ausmaß der Kielbrust

Unten rechts: Thorax von lateral mit der deutlich erkennbaren Narbe sowie einer deutlichen Reduktion der Kielbrust

1.8.2.2 Reversed Nuss Operation

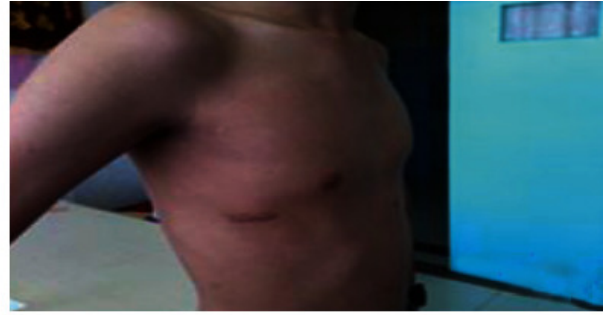
Hierbei handelt es sich um ein minimalinvasives Verfahren, bei dem wie bei der Operation nach Nuss zur Behandlung der Trichterbrust ein individuell angepasster Metallbügel unter thorakoskopischer Sicht in die Vorderwand des Thorax eingebracht wird. Anders als bei der Operation nach Nuss wird bei der Reversed Nuss Operation der Metallbügel vor dem Sternum platziert, damit dieser von dort einen kontinuierlichen Druck nach dorsal aufbringen kann. Nach 3 Jahren wird der Bügel wieder operativ entfernt.⁶ Der Bügel wird in der Abbildung 8 dargestellt.

Intraoperativ kann es zu einem Hämatothorax oder Pneumothorax kommen.²⁵

Nach erfolgtem Eingriff können Komplikationen wie eine Dislokation des Bügels oder Wundinfektionen auftreten. Bei Kindern und Jugendlichen sind kardiopulmonale Notfälle selten. Doch im Falle einer notwendigen kardiopulmonalen Reanimation ist die Herzdruckmassage aufgrund des Bügels unmöglich. Die Elektroden des Defibrillators sollen anterior-posterior geklebt werden, damit es zu keinem Stromfluss durch den Metallbügel kommt.⁵



(a)



(b)



(c)



(d)

Abbildung 8: Reversed-Nuss-Operation (Quelle: Biochemistry Research International²²)

a: präoperative Erscheinung

b: postoperative Erscheinung

c: postoperatives Thoraxröntgen anteroposterior

d: postoperatives Thoraxröntgen lateral

1.9 Prognose

Patient*innen mit Pectus carinatum haben eine exzellente Prognose, da die Erkrankung nur selten zu Komplikationen führt. Betroffene sind meist symptomlos. Die konservative oder operative Behandlung dient kosmetischen Zwecken, da die Kielbrust häufig mit einem psychischen Leidensdruck einhergeht.⁴

1.10 Komplikationen

Wesentliche Komplikationen der Kielbrust sind die negativen Auswirkungen auf das psychische Wohlbefinden der Patient*innen. Diese können in schweren Einschränkungen der Lebensführung resultieren. Die Kielbrust manifestiert sich häufig in der Pubertät und damit in einer sehr vulnerablen Phase der Selbstfindung. Dies resultiert in geringem Selbstvertrauen und Vermeidungsverhalten in der Öffentlichkeit. McHam B et al.⁴ zufolge entwickeln Betroffene häufig Coping-Strategien wie das Tragen von Kleidung in Übergröße, sowie das Fernbleiben vom Sportunterricht und das Meiden von Teamsportaktivitäten. Weiters werden Situationen gemieden, in denen der Oberkörper nicht bekleidet ist, wie der Besuch von Stränden oder Schwimmbädern. Um trotz Kleidung die Optik der Kielbrust zu verbergen, beugen sich emotional Betroffene oft mit dem Oberkörper gezielt nach vorne. Betroffene berichten von Einschränkungen sowohl am Arbeitsplatz als auch bei den schulischen Leistungen. Laut Coelho MS et al. liegt bei 16,4% der Patient*innen neben der Kielbrust eine Atemwegserkrankung vor, wie Asthma oder Bronchitis. Weiters kann Coelho MS et al.⁷ zufolge bei fast allen Patient*innen eine verstärkte Kyphose der Brustwirbelsäule beobachtet werden.^{4,7} Port E et al.²⁶ konnten bei knapp einem Fünftel der von ihnen untersuchten Patient*innen (32 von 155) einen Herzfehler echokardiographisch nachweisen. Zu den häufigeren Funden zählten Aortenwurzeldilatation (11 Patient*innen), Mitralklappenprolaps (5 Patient*innen) und persistierendes Foramen ovale (5 Patient*innen).²⁶

1.11 Ziel der Studie

In der Literatur ist vielfach die Wirksamkeit für die Behandlung der Kielbrust mittels Orthese beschrieben. Man findet allerdings kaum Beschreibungen darüber, in welchem Alter die Pelottentherapie die besten Ergebnisse liefert. Das Endresultat ist unter anderem von der Verformbarkeit des Thorax abhängig, welche im Kindesalter höher ist.³ Da eine Orthese nur dann wirkt, wenn sie ausreichend getragen wird, ist die Compliance ein wichtiger Faktor für ein zufriedenstellendes Ergebnis.¹⁹ Im Zuge dieser Arbeit soll herausgefunden werden, ob man anhand der Literatur eine Altersgruppe definieren kann, die eine hohe Compliance aufweist und gleichzeitig am Ende die besten Ergebnisse bietet.

2. Methoden

2.1 Auswahlkriterien

Die Auswahl der Studien erfolgte anhand des PICO-Schemas. Das Akronym PICO steht für:

- 1) Patient/Population (Patient*in/Population und sein/ihr Problem)
- 2) Intervention (Behandlung)
- 3) Comparison (Alternativmaßnahme oder keine Behandlung)
- 4) Outcome (Behandlungsziel)²⁷

Bei den Patient*innen handelt es sich um Kinder und Jugendliche mit Pectus carinatum. Studien, welche das Pectus arcuatum als Sonderform beschreiben und untersuchen, sowie Studien, die nur Patient*innen mit Pectus carinatum aufgrund eines klar definierten Auslösers untersuchten, wurden ausgeschlossen. Bei der Intervention handelt es sich um die konservative Behandlung mittels Pelotte. Da bei den Studien Faktoren untersucht werden, die den Erfolg der Pelottentherapie beeinflussen, ist eine Kontrollgruppe bei keiner Studie gegeben. Bei den Studien werden Vergleiche zwischen verschiedenen definierten Altersgruppen gezogen, oder zwischen Compliance-Gruppen und non-Compliance Gruppen. Beim jeweiligen Outcome der Studien handelt es sich um optische Verbesserungen der Thoraxdeformität sowie um die subjektive Zufriedenheit der Patient*innen.

2.2 Informationsquellen

Alle inkludierten Studien wurden von Pubmed (URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov>) bezogen. Hierbei handelt es sich um die englischsprachige Datenbank der National Library of Medicine. Ein Zugriff auf die Volltexte wurde durch die frei zugängliche Datenbank Pubmed Central (PMC) und durch die Medizinische Universität Graz ermöglicht.

2.3 Suche

Zu Beginn wurde nach den Wörtern „pectus carinatum bracing“ gesucht, was die meisten Ergebnisse brachte. Um am Anfang gleich die relevantesten Studien herauszufiltern, wurden zusätzlich MeSH-Suchen durchgeführt mit den Wörtern: (((("Pectus Carinatum"[Mesh]) AND "Braces"[Mesh]) AND "Patient Compliance"[Mesh]) AND "Age Groups"[Mesh] und (("Pectus Carinatum"[Mesh]) AND "Age Groups"[Mesh]) AND "Braces"[Mesh]. Dank der MeSH-Suchen wurden für den Literaturreview sehr relevante Studien gefunden. Alle Studien, welche

von den MeSH-Suchen verwendet wurden, waren auch durch die Suche nach „pectus carinatum bracing“ zu finden. Um keine wichtigen Studien zu übersehen, wurden nochmals alle Ergebnisse der erstgenannten Suchwörter durchsucht, was weitere Studien für den Literaturreview brachte.

2.4 Auswahl der Studien

In der englischsprachigen Datenbank Pubmed wurden 82 potenziell geeignete Studien gefunden. Nach einer Durchsichtung der Abstracts der 82 Studien, konnten bereits 42 ausgeschlossen werden, weil sie entweder die operative Behandlung oder spezielle Diagnostikverfahren für die Kielbrust beschreiben. Bei 11 Studien war kein Volltext verfügbar, weshalb sie ebenfalls ausgeschlossen werden mussten. Von den verbleibenden 29 Studien mussten wiederum 15 ausgeschlossen werden. Bei 4 von 15 Studien handelte es sich um Literaturreviews. Eine Studie musste ausgeschlossen werden, weil sie die gleiche Patient*innengruppe beinhaltet wie eine später durchgeführte Studie. 10 von 15 Studien wurden ausgeschlossen aufgrund unklarer Datensätze oder weil keine Zusammenhänge mit dem Alter untersucht wurden. Am Ende verblieben 14 geeignete Studien für den Literaturreview.

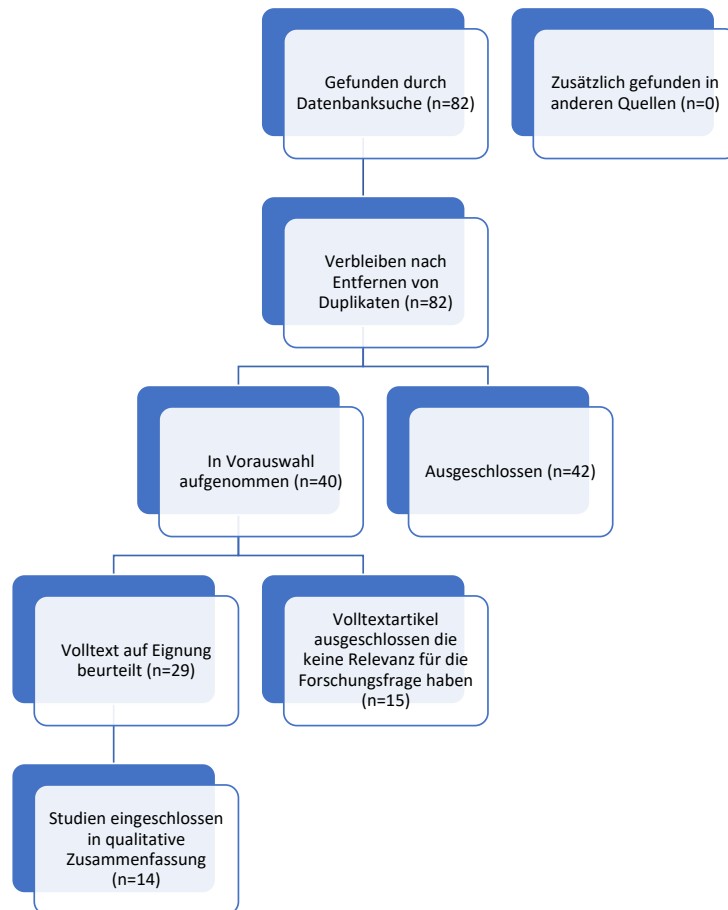


Abbildung 9: Auswahl der Studien

3. Ergebnisse

3.1 Studien

Für den Literaturreview wurden 14 Studien berücksichtigt, die in einem Zeitraum von 2006 bis 2022 publiziert wurden. Insgesamt handelt es sich um 8 retrospektive Studien, 4 prospektive Studien, eine randomisiert kontrollierte Studie und eine Fragebogenstudie. In Summe wurden im Zuge der 14 Studien 3439 Kielbrustpatient*innen mit einer Pelotte behandelt. 3366 Patient*innen, die eine Pelotte erhalten haben, wurden in der jeweiligen Analyse der Studien berücksichtigt. In Tabelle 1 werden die grundlegendsten Daten zu den 14 analysierten Publikationen wiedergegeben. Die Reihenfolge von Tabelle 1 wird in Tabelle 2 bis Tabelle 10 beibehalten.

Tabelle 1: Studien

Autor*in	Publikationsjahr	Art	Anzahl Patient*innen therapiert mit Pelotte
Frey AS ²⁸	2006	retrospektiv	29
Jung J ²⁹	2012	retrospektiv	18
Kang DY ³⁰	2014	Fragebogen	86
Loff S ³¹	2014	retrospektiv	69
Al-Githmi IS ³²	2016	prospektiv	18
Emil S ³³	2016	prospektiv	114
Sesia S ³⁴	2016	retrospektiv	36
Poola AS ³⁵	2017	prospektiv	340
Moon D ³⁶	2018	retrospektiv	320
Fraser S ³⁷	2019	retrospektiv	244
Giray E ³⁸	2020	randomisiert kontrollierte Studie	27
Shang Z ²²	2021	retrospektiv	767
De Beer S ²¹	2022	prospektiv	740
Van Braak H ¹⁵	2022	retrospektiv	631

3.2 Geschlecht

10 von 14 Autor*innen haben das Geschlecht der Patient*innen erfasst und in ihrer Studie wiedergegeben (Tabelle 2). Bei allen Studien mit Daten zum Geschlecht, überwiegen die männlichen Patienten im Verhältnis 5:1.

Tabelle 2: Geschlechterverteilung der Patient*innen.

Autor*in	Männlich	Weiblich
Frey AS		
Jung J	17 (94,4%)	1 (5,6%)
Kang DY	79 (91%)	7 (9%)
Loff S	65 (94,2%)	4 (5,8%)
Al-Githmi IS	17 (94,4%)	1 (5,6%)
Emil S	104 (91,2%)	10 (8,8%)
Sesia S		
Poola AS	276 (81,2%)	64 (18,8%)
Moon D	280 (87,5%)	40 (12,5%)
Fraser S	227 (93%)	17 (7%)
Giray E	27 (100%)	0
Shang Z	596 (77,7%)	171 (22,3%)
De Beer S		
Van Braak H		
Summe	1688	315

3.3 Symmetrie

Bei 8 von 14 Studien sind Daten darüber vorhanden, wie viele der Patient*innen eine symmetrische Kielbrust hatten und bei wie vielen die Kielbrust asymmetrisch war (Tabelle 3). In Summe war bei 1252 Patient*innen eine Symmetrie gegeben und bei 851 Patient*innen war die Kielbrust asymmetrisch ausgeprägt. Die symmetrische Kielbrust kam bei 60% der auf Symmetrie untersuchten Patient*innen vor und war damit die häufigere Variante in den Studien.

Tabelle 3: Thoraxsymmetrie

Autor*in	symmetrisch	asymmetrisch
Frey AS		
Jung J	12 (67%)	6 (33%)
Kang DY	30 (39%)	47 (61%)
Loff S		
Al-Githmi IS		
Emil S	41 (35%)	76 (65%)
Sesia S	11 (31%)	25 (69%)
Poola AS	123 (39%)	194 (61%)
Moon D	168 (53%)	152 (47%)
Fraser S		
Giray E		
Shang Z		
De Beer S	406 (85%)	74 (15%)
Van Braak H	461 (62%)	277 (38%)
Summe	1252	851

3.4 Alter

Bei 9 von 14 Studien war das Alter zu Therapiebeginn definiert (Tabelle 4). Die Angaben variieren zwischen dem durchschnittlichen Alter zu Therapiebeginn und dem medianen Alter zu Therapiebeginn. Das durchschnittliche Alter schwankte bei den Studien zwischen 12 und 15,5 Jahren. In Abbildung 10 wird der prozentuale Anteil der Patient*innen, welche die Pelottentherapie abgeschlossen haben, in Relation zum Durchschnittsalter zu Therapiebeginn gesetzt.

Tabelle 4: Alter der Patient*innen zu Therapiebeginn

Autor*in	Alter zu Therapiebeginn (Mittelwert)	Alter zu Therapiebeginn (Median)
Frey AS		
Jung J	12,9 Jahre	
Kang DY	12 Jahre	
Loff S		
Al-Githmi IS	15,5 Jahre	
Emil S	14,2 Jahre	
Sesia S		14,4 Jahre
Poola AS	14 Jahre	
Moon D	13 Jahre	
Fraser S	14,9 Jahre	
Giray E		
Shang Z		
De Beer S		
Van Braak H		14 Jahre

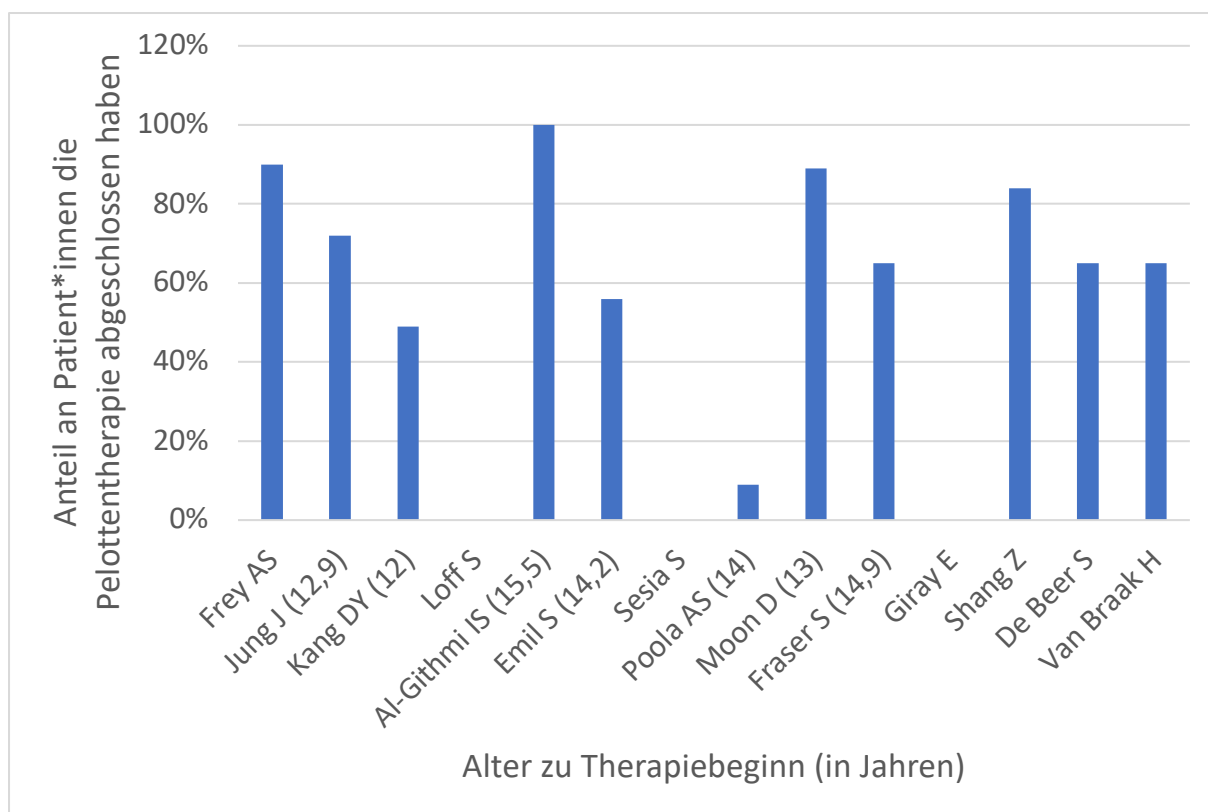


Abbildung 10: Alter zu Therapiebeginn in Relation zum erfolgreichen Abschluss der Therapie

In Abbildung 10 wird das mittlere Alter zu Therapiebeginn in Beziehung zum prozentualen Anteil der Patient*innen, welche die Pelottentherapie abgeschlossen haben, grafisch dargestellt. Dies erlaubt mögliche Rückschlüsse auf die Compliance in Abhängigkeit vom Patient*innenalter. Es ist anzumerken, dass von Frey AS et al.²⁸, Loff S et al.³¹, Giray E et al.³⁸, Shang Z et al.²² und De Beer S et al.²¹ keine Angaben zum Alter bei Therapiebeginn gemacht wurden. Die Daten von Sesia S et al.³⁴ und Van Braak H et al.¹⁵ wurden bei der Grafik nicht berücksichtigt, da das Alter im Median angegeben wurde.

Insgesamt wurde bei 6 Studien eine Altersempfehlung für den Start der Pelottentherapie abgegeben, um einen Therapieerfolg zu erreichen (Tabelle 5). Bei einer festgelegten Altersgrenze von unter 14 Jahren beim Therapiebeginn, lässt sich bei 5 Studien ein gemeinsamer Konsens feststellen. Diese Altersgrenze wurde definiert, um anhand der Studien, die verschiedene Parameter untersucht haben, eine generalisierte Empfehlung ableiten zu können.

Tabelle 5: Altersempfehlung für einen Therapieerfolg

Autor*in	Alter für guten Therapieerfolg	Altersempfehlung für Therapieerfolg: <14 Jahre
Frey AS	12 bis 14 Jahre	ja
Jung J	<19 Jahre	nein
Kang DY		
Loff S	13 Jahre	ja
Al-Githmi IS		
Emil S	<14 Jahre	ja
Sesia S	<14 Jahre	ja
Poola AS		
Moon D		
Fraser S		
Giray E		
Shang Z		
De Beer S	>4 Jahre	ja
Van Braak H		

3.5 Wachstumsschub

Jung J et al. beschreiben, dass sich ein Therapiebeginn mit der Pelotte vor dem Eintreten des Wachstumsschubs als effektiver erweist. In der Studie von Van Braak H et al.¹⁵ und in der Studie von De Beer S et al.²¹ wird die Gefahr eines Rezidivs nach dem Wachstumsschub beschrieben. Laut diesen Autoren wird bei jungen Patient*innen, die erfolgreich mittels Pelotte behandelt wurden, nach dem Wachstumsschub häufig ein Wiederkehren der Kielbrust beobachtet.

3.6 Brustwandsteifigkeit

De Beer S et al.²¹ beschreiben in ihrer Studie, dass ab einem Alter von 15 Jahren mit einer erhöhten Steifigkeit der Brustwand zu rechnen ist.

3.7 PIC (pressure of initial correction)

Bei 4 Studien wurde der Zusammenhang zwischen dem Ergebnis der Pelottentherapie und dem PIC untersucht. Während Emil S et al.³³ zu dem Ergebnis gekommen sind, dass kein Zusammenhang existiert, konnten drei andere Autor*innen einen Bezug feststellen. Poola As et al.³⁵ und Al-Githmi IS³² beschreiben, dass gute Ergebnisse bei einem PIC unter 7 bzw. 7,5 psi zu erwarten sind. Van Braak H et al.¹⁵ konnten bei Patient*innen mit einem PIC unter 8 bis 8,5 psi gute Ergebnisse feststellen. Weiters konnten sie erkennen, dass bei einem PIC von unter 5 psi die besten Ergebnisse zu erwarten sind. Da bei einem hohen PIC eine erhöhte Brustwandsteifigkeit und damit schlechtere Ergebnisse bei der Pelottentherapie zu erwarten sind, war bei zwei Studien ein PIC über 10 psi und bei zwei anderen Studien ein PIC von 7,7 bzw. 9 psi ein Ausschlusskriterium. Bei Studien, welche zu Beginn den PIC erhoben haben, wurde den betroffenen Patient*innen eine operative Therapie empfohlen.

3.8 Behandlungsdauer

6 Studien haben die durchschnittliche Behandlungsdauer beschrieben und 3 Studien haben den Median der Behandlungsdauer bekanntgegeben (Tabelle 6). Van Braak H et al.¹⁵ konnten feststellen, dass bei einem PIC von unter 5 psi eine kürzere Behandlungsdauer zu erwarten ist als bei Patient*innen, die einen höheren PIC haben. Emil S et al.³³ haben die Behandlungsdauer in zwei Intervallen wiedergegeben. Beim aktiven Tragen soll die Pelotte 23 Stunden pro Tag getragen werden, während beim Erhaltungsintervall die Pelotte nur für 8-12 Stunden täglich getragen werden muss. Die Ergebnisse werden in der Tabelle 6 (Behandlungsdauer) gezeigt.

Tabelle 6: Behandlungsdauer

Autor*in	durchschnittliche Behandlungsdauer (in Monaten)	Behandlungsdauer Median (in Monaten)
Frey AS	30	
Jung J	6	
Kang DY	4,6	
Loff S	7	
Al-Githmi IS		
Emil S	aktiv 5,66 Monate, Erhaltung 8,8 Monate*	
Sesia S		9
Poola AS		16
Moon D		
Fraser S		9,2
Giray E		
Shang Z	6 bis 12**	
De Beer S		
Van Braak H		

* Beim aktiven Tragen der Pelotte musste die Pelotte für mindestens 23 Stunden täglich getragen werden. In der Erhaltungphase musste die Pelotte für 8-12 Stunden täglich getragen werden.

** Shang Z et al.²² haben bei der durchschnittlichen Behandlungsdauer mit der Pelotte eine Zeitspanne von 6 bis 12 Monaten angegeben.

3.9 Tragedauer

Bei 12 von 14 Studien wurde eine Empfehlung für die tägliche Tragedauer abgegeben. Diese variierte je nach Studie. Eine Ausnahme bilden Giray E et al.³⁸, die bei ihrer randomisiert kontrollierten Studie die Patient*innen in drei verschiedene Gruppen aufgeteilt haben. Die empfohlene Tragedauer lag hier abhängig von der Gruppenzuweisung bei null, acht oder 23 Stunden täglich.

In Tabelle 7 sind die verschiedenen Empfehlungen zur täglichen Tragedauer aus den Studien zusammengefasst. In der Literatur ist keine einheitliche Empfehlung bezüglich der Tragedauer zu finden. Um eine Erkenntnis aus der Literatur gewinnen zu können, wurde die Tragedauer in die Kategorien „über 12 Stunden“ und „unter 12 Stunden“ unterteilt. 10 von 14 Studien fallen in die Kategorie „über 12 Stunden“.

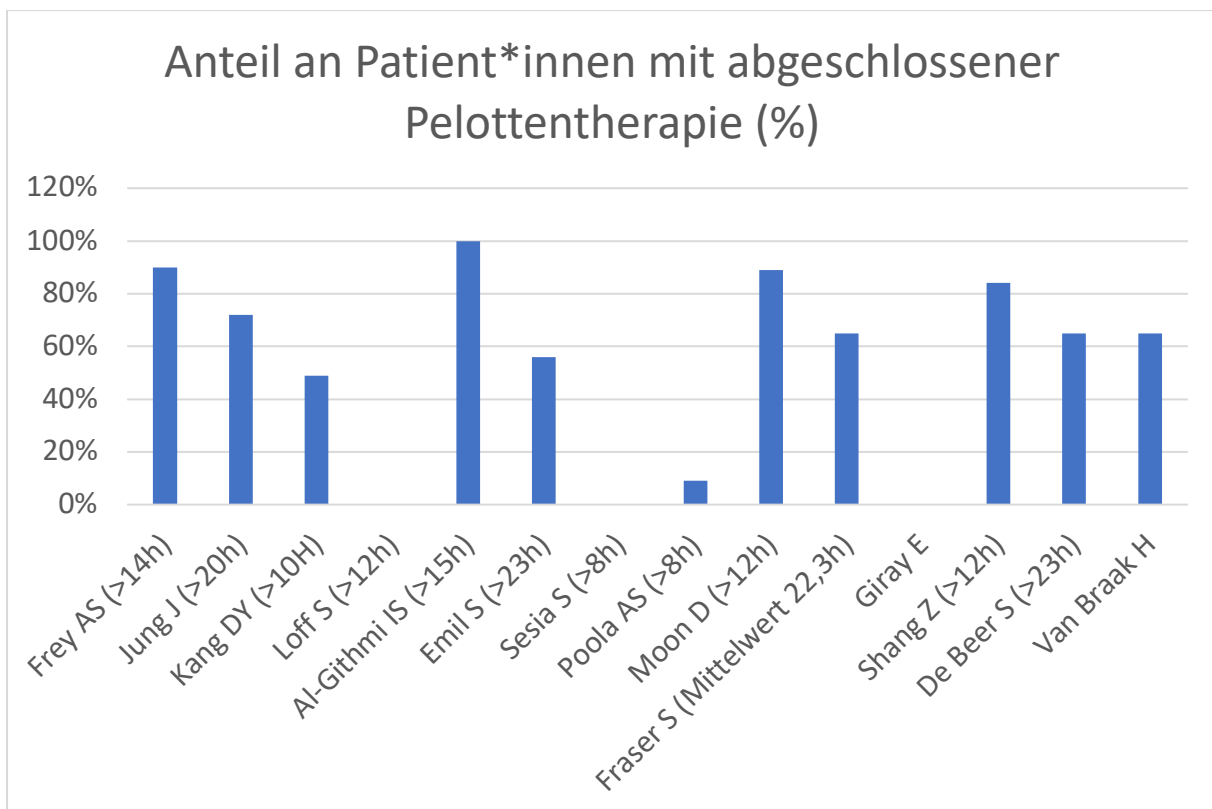


Abbildung 11: Tragedauer in Relation zum erfolgreichen Abschluss der Therapie

In Abbildung 11 wird die empfohlene tägliche Tragedauer in Beziehung zum prozentualen Anteil der Patient*innen, welche die Pelottentherapie abgeschlossen haben, grafisch dargestellt. Dies erlaubt mögliche Rückschlüsse auf die Compliance in Abhängigkeit von der empfohlenen Tragedauer. Anzumerken ist, dass in den Studien von Loff S et al.³¹, Sesia S et al.³⁴ und Giray

E et al.³⁸ keine absoluten Daten darüber vorhanden sind, wie viele Patient*innen die Pelottentherapie abgeschlossen haben. Bei der randomisiert kontrollierten Studie von Giray E et al.³⁸ variiert die empfohlene Tragedauer nach der Gruppenzuweisung. Van Braak H et al.¹⁵ haben für ihre Patient*innen keine Empfehlung zur täglichen Tragedauer ausgesprochen.

Tabelle 7: Tragedauer

Autor*in	empfohlene tägliche Tragedauer	tägliche Tragedauer > 12h
Frey AS	>14h	ja
Jung J	>20h	ja
Kang DY	>10h	nein
Loff S	>12h	ja
Al-Githmi IS	>15h	ja
Emil S	>23h	ja
Sesia S	>8h	nein
Poola AS	>8h	ja
Moon D	>12h	ja
Fraser S	keine Empfehlung (Mittelwert 22,3h)	ja
Giray E	Empfehlung je nach Gruppenzuweisung	
Shang Z	>12h	ja
De Beer S	>23h (so oft wie möglich)	ja
Van Braak H	keine Empfehlung	

3.10 Therapieabschluss

11 Studien haben Zahlen veröffentlicht, wie viele Patient*innen die Pelottentherapie abgeschlossen haben (Tabelle 8). Der rechten Spalte ist zu entnehmen, wie viel Prozent der Patient*innen der jeweiligen Studie die Pelottentherapie abgeschlossen haben. Es ist zu beachten, dass zum Zeitpunkt der Analyse einiger Studien noch viele Patient*innen in Therapie befanden. Diese wurden für die Kategorie der Patient*innen, welche die Therapie abgeschlossen haben, nicht berücksichtigt. Von 3439 Patient*innen, denen eine Pelotte angepasst wurde, haben 63,07% bei Studienende die Pelottentherapie abgeschlossen.

Tabelle 8: Pelottentherapie abgeschlossen

Autor*in	Anzahl Patient*innen therapiert mit Pelotte	Anzahl Patient*innen mit abgeschlossener Pelottentherapie	Anteil an Patient*innen mit abgeschlossener Pelottentherapie (%)
Frey AS	29	26	90%
Jung J	18	13	72%
Kang DY	86	42	49%
Loff S	69		
Al-Githmi IS	18	18	100%
Emil S	114	64	56%
Sesia S	36		
Poola AS	340	29	9%
Moon D	320	286	89%
Fraser S	244	159	65%
Giray E	27		
Shang Z	767	644	84%
De Beer S	740	480	65%
Van Braak H	631	408	65%
Summe:	3439	2169	63,07%

3.11 Ergebnis der Pelottentherapie

In 8 Studien wurden die optischen Ergebnisse oder die Zufriedenheit quantifiziert (Tabelle 9). Es gab hierfür jedoch kein einheitliches Schema. Zur Anwendung kamen Fragebögen, subjektive Selbsteinschätzung, Telefonumfragen und die Einschätzung von Expert*innen. Kang DY et al.³⁰ beschreiben, dass 45 Patient*innen nach zwei bis drei Wochen ein gutes initiales Ergebnis hatten. Eine Beschreibung, wie sich diese im weiteren Verlauf ausprägten, gab es nicht. Shang Z et al.²² berichten über 644 von 767 Patient*innen (84%), die ein gutes Ergebnis erzielt haben. Bei De Beer S et al.²¹ haben 406 von 740 Patient*innen (55%) ein gutes Ergebnis erreicht.

Tabelle 9: Ergebnisse

Autor*in	gutes Ergebnis	Zufrieden	Anzahl Patient*innen therapiert mit Pelotte
Frey AS	22		29
Jung J			18
Kang DY	45 initial	56	86
Loff S			69
Al-Githmi IS		12	18
Emil S			114
Sesia S		17	36
Poola AS			340
Moon D		286	320
Fraser S		204	244
Giray E			27
Shang Z	644		767
De Beer S	406		740
Van Braak H			631

3.12 Gründe für eine reduzierte Compliance

Moon D et al.³⁶ und Kang DY et al.³⁰ haben bei Patient*innen, die nicht compliant waren, die individuellen Gründe dafür erfragt. Manchen Patient*innen war die optische Erscheinung mit Pelotte peinlich. Weitere Gründe waren Schmerzen oder ein unangenehmes Gefühl beim Tragen der Pelotte. Es kam außerdem vereinzelt zu Hautirritationen durch die Pelotte. Kang DY et al.³⁰ haben zudem herausgefunden, dass Patient*innen mit einem schlechten initialen Ergebnis, daraufhin weniger compliant waren. Die von den beiden Studien erfassten

Komplikationen, welche zu einer reduzierten Compliance führten, wurden ebenso von vier weiteren Autor*innen als mögliche Komplikationen der Pelottentherapie erfasst.

3.13 Rezidive

Shang Z. et al. berichten von 26 Patient*innen mit rezidivierender Kielbrust kurz nach abgeschlossener Therapie. Das sind 4% der Patient*innen, welche die Pelottentherapie abgeschlossen haben. Bei Van Braak H et al.¹⁵ hatten 8 (2%) der Patient*innen mit abgeschlossener Therapie ein Rezidiv. In Tabelle 10 sind die in den Studien bekanntgegebenen Daten zu den Rezidiven zu sehen.

Tabelle 10: Rezidive

Autor*in	Anzahl der Patient*innen mit Rezidiv	Anzahl Patient*innen mit abgeschlossener Pelottentherapie
Frey AS		
Jung J		
Kang DY		
Loff S		
Al-Githmi IS		
Emil S		
Sesia S		
Poola AS		
Moon D		
Fraser S		
Giray E		
Shang Z	26 (4%)	644
De Beer S		
Van Braak H	8 (2%)	408

4. Diskussion

4.1 Studien

Da es sich bei der Kielbrust um eine seltene Erkrankung handelt, gibt es entsprechend weniger Studien dazu im Vergleich zu anderen Pathologien. In Bezug auf die spezialisierte Forschungsfrage sinken Anzahl und Qualität der Studien, was zu einer geringen Anzahl geeigneter Studien für einen Literaturreview führt. Grundsätzlich kann man feststellen, dass bei den ausgewählten Studien ein gemeinsamer Konsens fehlt. Trotz derselben untersuchten Therapie werden unterschiedliche Parameter untersucht, die sich daher studienübergreifend nicht alle miteinander vergleichen lassen.

4.2 Geschlecht

Die Kielbrust kommt beim männlichen Geschlecht viel häufiger vor. Zudem haben 4 von 14 Autor*innen das Geschlecht der Patient*innen nicht erfasst. Dadurch gibt es weniger Daten zur Verwendung von Kielbrustorthesen beim weiblichen Geschlecht.

4.3 Symmetrie

Es ist nicht bei allen Studien die Symmetrieverteilung gegeben. Somit kann die in den Ergebnissen genannte häufigere symmetrische Variante nur auf die 8 Studien bezogen werden, in denen die Symmetrie auch erfasst und bewertet wurde. Anhand der Studien lässt sich kein gemeinsamer Konsens finden, ob die Symmetrie einen Einfluss auf das Ergebnis hat. Laut Giray E et al.³⁸ führt Asymmetrie zwar eher zum Misserfolg, gleichzeitig sind aber keine Daten darüber vorhanden, wie viele der Patient*innen eine symmetrische oder asymmetrische Kielbrust hatten. Sesia S et al.³⁴ haben keinen Zusammenhang zwischen Symmetrie und Behandlungsdauer erkannt. Hier wurden insgesamt nur 36 Patient*innen untersucht, von denen 69% die asymmetrische Variante der Kielbrust hatten.

4.4 Alter

Es gibt keine allgemein gültige Altersempfehlung für die Pelottentherapie. Ein Zusammenhang zwischen Therapieerfolg und dem Alter der Patient*innen wird nur in wenigen Studien beschrieben. 5 der 14 inkludierten Studien definierten das Alter der Studienteilnehmer*innen nicht genau. Weiters anzumerken ist, dass das Alter in den Studien uneinheitlich entweder nur als Mittelwert oder nur als Median angegeben war. Dadurch sind gewisse Studiendaten nicht

direkt miteinander vergleichbar. Moon D et al.³⁶ konnten bei einer hohen Patient*innenanzahl von 320 Patient*innen eine signifikant erhöhte Compliance im Alter von 6 bis 10 Jahren nachweisen. Kang DY et al.³⁰ behaupten das genaue Gegenteil. Laut ihrer Studie hat das Alter keinen Einfluss auf die Compliance, wobei hierbei nur 86 Patient*innen einen Fragebogen erhielten, welcher subjektiv allein oder mithilfe der Eltern ausgefüllt wurde. Beim Versuch für diesen Literaturreview einen gemeinsamen Konsens aus den Studien darzustellen, war eine Altersgrenze von 14 Jahren notwendig. Somit kann gesagt werden, dass zumindest 5 Studien eine Anwendung vor dem 14. Lebensjahr empfehlen.

4.5 Wachstumsschub

Ob die Pelottentherapie vor oder nach dem Wachstumsschub erfolgreicher ist, kann nicht generalisiert gesagt werden. Jung J. et al.²⁹ erkennen zwar eine höhere Effektivität beim Einsatz einer Kielbrustorthese vor Eintreten des Wachstumsschubs, jedoch haben Van Braak H et al.¹⁵ und De Beer S et al.²¹ ein Wiederkehren der bereits therapierten Kielbrust nach dem Wachstumsschub beobachtet. Fraglich ist, ob die höhere Erfolgsrate vor dem Wachstumsschub in Relation zur Rezidivrate nach dem Wachstumsschub steht. Dazu fehlen jedoch weitere Daten zum Vergleich.

4.6 Brustwandsteifigkeit

Eine wahrscheinlich erhöhte Brustwandsteifigkeit ab einem Alter von 15 Jahren wird von De Beer S. et al.²¹ beschrieben. Mit einer erhöhten Brustwandsteifigkeit geht ein verstärkter notwendiger Druck an der Pelotte einher. Laut Van Braak H et al.¹⁵ sind bessere Ergebnisse bei einem niedrigeren PIC (unter 8-8,5 psi) erzielbar. Hieraus lässt sich ein im Kapitel 4.4 beschriebener Konsens von einer Altersempfehlung von unter 14 Jahren für den Beginn der Pelottentherapie stützen. Für diesen Literaturreview limitierend ist, dass die Brustwandsteifigkeit nicht in allen verwendeten Studien untersucht und beschrieben wurde. Es fehlen somit vergleichbare Ergebnisse von anderen Studien.

4.7 PIC (pressure of initial correction)

Mithilfe des PIC haben 4 Autor*innen das Maß des von der Pelotte notwendigen Drucks quantifiziert. Ein zu hoher PIC war bei besagten Studien ein Ausschlusskriterium. Nach freundlicher Auskunft beim Hersteller findet der PIC im Versorgungszentrum der Steiermark

keine Anwendung. Die Entscheidung, ob eine Operation notwendig ist, oder ob eine Kielbrustorthese zum Einsatz kommt, unterliegt dem behandelnden Arzt/der behandelnden Ärztin anhand der klinischen Präsentation der Kielbrust. Somit sind die derzeit gewonnenen Erkenntnisse über den PIC nicht auf die Praxis anwendbar.

4.8 Behandlungsdauer

Limitierend für diesen Literaturreview ist die unvollständige und auch uneinheitliche Darstellung der Behandlungsdauer in den Studien. Aufgrund mangelnder und nicht vergleichbarer Daten lassen sich darauf keine Rückschlüsse ziehen.

4.9 Tragedauer

Es fehlt ein weltweiter Konsens für die empfohlene tägliche Tragedauer der Pelotte. Bei 12 von 14 Studien ist diese beschrieben. Um daraus eine generalisierte Aussage treffen zu können, ist eine Grenze von mehr als 12 Stunden täglich notwendig gewesen. Dadurch lässt sich ein Konsens bei 10 von 14 Studien abbilden. Das Universitätsklinikum für Kinder- und Jugendchirurgie in Graz empfiehlt eine tägliche Anwendung der Pelotte von fast 24 Stunden. Dies deckt sich mit den Empfehlungen von Emil S et al.³³ und De Beer S et al.²¹ Mit diesem Literaturreview kann nicht gezeigt werden, wie sich die tägliche Tragedauer auf die Compliance und das Ergebnis auswirkt, wobei die Aussagen der Autor*innen hierzu variieren.

4.10 Therapieabschluss

Bei einigen Studien wurden Patient*innen, die sich zum Zeitpunkt der Analyse noch in Therapie befanden, nicht für das Ergebnis berücksichtigt. Weiters variieren die Patient*innenanzahl und der Beobachtungszeitraum stark zwischen den Studien. Somit sind die prozentuellen Angaben darüber, wie viele Patient*innen die Therapie abgeschlossen haben, nur Momentaufnahmen zu einem gewissen Zeitpunkt. Die Erfolge der jeweiligen Schemata der Studien können somit nicht verglichen werden.

4.11 Ergebnis der Pelottentherapie

Es gibt kein international gültiges Schema zur Quantifizierung des Therapieerfolges. Somit wurde für jede Studie ein eigenes Schema geschaffen. Dies führt zu keiner einheitlichen Darstellung der Ergebnisse. Bei der visuellen Beurteilung durch Expert*innen wird auf deren

Expertise vertraut. Bei einem Fragebogen oder einer Telefonumfrage wird auf die subjektive Einschätzung der Patient*innen oder deren Eltern vertraut. Weiters gibt es keinen allgemein gültigen Score, welcher bei den Fragebögen zur Anwendung kam. Somit unterscheiden sich diesen ebenfalls voneinander. Emil S et al.³³ und De Beer S et al.²¹ definieren ein gutes Ergebnis, wenn die behandelnden Ärzt*innen und die Patient*innen das Ergebnis als solches erachten. Sesia S et al.³⁴ ließen das Ergebnis ebenfalls durch die behandelnden Ärzt*innen und die Patient*innen bestimmen, wobei ein Score von 1 bis 4 (1: schlechtes Ergebnis; 4: gutes Ergebnis) zum Einsatz kam. Al-Githmi IS et al.³² und Jung J et al.²⁹ ließen die Patient*innen allein das Ergebnis durch ein Score definieren. Bei Al-Githmi et al.³² bedeuteten 0 Punkte, dass keine Korrektur stattgefunden hat und 4 Punkte bedeuteten eine komplette Korrektur. Jung J et al.²⁹ sahen einen Punkt als keine Korrektur an und 4 Punkte als bemerkenswerte Korrektur. Um für die Zukunft Studien vergleichbarer zu machen wäre es sinnvoll, einen einheitlichen Score international zu definieren. Bei Loff S et al.³¹ wurden zum Feststellen des Therapieerfolgs Bilder vor und nach der Therapie gemacht und verglichen. Moon D et al.³⁶ haben die Zufriedenheit durch eine Telefonumfrage in Erfahrung gebracht. Objektiv quantifizierten sie das Ausmaß der Korrektur über eine Veränderung des Haller-Index. Fraglich ist, ob der Haller-Index für die Quantifizierung einer von außen sichtbaren Thoraxdeformität aufgrund der dafür erforderlichen Strahlenbelastung im Computertomographen notwendig ist.

4.12 Gründe für eine reduzierte Compliance

Bei den von den Autor*innen beschriebenen Gründen für eine verminderte Compliance handelt es sich um Komplikationen, die grundsätzlich bei einer Behandlung mit der Pelotte auftreten können. Eine grundsätzliche Vermeidung dieser Komplikationen ist in der Praxis leider nicht möglich. Beschwerden der Patient*innen durch die Pelotte können die Compliance maßgeblich mindern und sollten generell ernst genommen werden. Schmerzen oder Hautirritationen erfordern ein Nachjustieren der Pelotte. Moon D et al.³⁶ haben bei einer Telefonumfrage an ihre Patient*innen herausgefunden, dass 14 von 320 (4,3%) Patient*innen nicht compliant waren, weil ihnen das Tragen der Pelotte peinlich war. Den gleichen Grund für eine reduzierte Compliance konnten Kang DY et al.³⁰ bei 11 von 86 (12,7%) Patient*innen herausfinden. Gute Kommunikation mit den Patient*innen kann einem Schamgefühl wegen des Tragens Pelotte eventuell vorbeugen. Kang DY et al.³⁰ zufolge führt ein schlechtes initiales Ergebnis zu einer schlechten Compliance. Hier könnte es Sinn machen, die Patient*innen, bei denen sich das

Erscheinungsbild nicht auf Anrieb bessert, in regelmäßigen Abständen zur Kontrolle zu bestellen um ihnen Mut zu machen und kleinste Erfolge positiv zu vermerken.

4.13 Rezidive

Van Braak H et al.¹⁵ nennen als möglichen begünstigenden Faktor für ein Rezidiv den Wachstumsschub. Es fehlen weitere Daten, um den Wachstumsschub in die Altersempfehlung miteinfließen zu lassen. Shang Z et al.²² empfehlen, die Pelotte zur Prävention eines Rezidivs nach Therapieabschluss für etwa zwei bis drei Monate weiter zu tragen. Dazu fehlen jedoch weitere Daten. Sollte sich damit ein Rezidiv größtenteils verhindern lassen, dann könnte man den Wachstumsschub bezüglich der Altersempfehlung ignorieren.

4.14 Conclusio

Nach dieser Literaturrecherche komme ich zu Conclusio, dass eine Erstanwendung der Pelotte vor dem Erreichen des 14. Lebensjahres sinnvoll zu sein scheint. Weiters spricht eine Studie mit 320 Patient*innen dafür, dass die Compliance für das Tragen der Pelotte im Alter von 6 bis 10 Jahren besonders hoch ist. Mithilfe der Literatur lässt sich jedoch kein genereller Behandlungszeitraum empfehlen. Im Widerspruch zur Empfehlung die Pelotte fast 24 Stunden am Tag zu tragen, scheint eine tägliche Tragedauer von 12 Stunden auch ausreichend zu sein. Dies könnte auch die Compliance maßgeblich beeinflussen. Inwiefern der Wachstumsschub das Ergebnis der Pelottentherapie beeinflussen kann, ist leider nicht pauschal durch die Literaturrecherche zu beantworten. Hierzu wären weitere Studien notwendig. Um die Forschungsfrage weiter zu beantworten wäre eine prospektive Studie mit vielen Patient*innen sinnvoll, die Faktoren wie Therapieerfolg, Compliance und Behandlungsdauer in Relation zum Alter der Patient*innen bei Therapiebeginn untersucht.

Referenzen

- ¹ Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker K. Prometheus Lernatlas der Anatomie: Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. 5. Auflage. Stuttgart New York: Georg Thieme Verlag; 2018. S. 134.
- ² Anderhuber F, Pera F, Streicher J. Waldeyer Anatomie des Menschen. 19. Auflage. Berlin/Boston: Walter de Gruyter GmbH & Co. KG; 2012. S. 153-156.
- ³ Hefti F, Brunner R, Freuler FK, Hasler C, Jundt G, Krieg A. Kinderorthopädie in der Praxis. 3. Auflage. Heidelberg: Springer Berlin; 2015. S. 152-153.
- ⁴ National Library of Medicine. Pectus Carinatum. 2023 February. Available from: URL <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK541121/>. Accessed April 29,2023.
- ⁵ Niethard F, Carstens C, Döderlein L, Peschgens T. Kinderorthopädie. 2. Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG; 2009. S. 228
- ⁶ Lacher M, Hoffmann F, Mayer S. Kinderchirurgie für Pädiater. Heidelberg: Springer Berlin; 2020. S.34.
- ⁷ Coelho M, Guimarães P. Pectus carinatum. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*. 2007 Aug;33(4):463–74.
- ⁸ Haje SA, Harcke HT, Bowen JR. Growth disturbance of the sternum and pectus deformities: imaging studies and clinical correlation. *Pediatric Radiology*. 1999 Apr 23;29(5):334–41.
- ⁹ Springer Medizin. Hereditäre Bindegewebskrankheiten bei Kindern und Jugendlichen. 2019 March. Available from URL: https://www.springermedizin.de/emedpedia/paediatric/hereditaere-bindegewebskrankheiten-bei-kindern-und-jugendlichen?epediaDoi=10.1007%2F978-3-642-54671-6_296#Sec3. Accessed January 11,2024.
- ¹⁰ Chidambaram B, Mehta A v. Currarino-Silverman Syndrome (Pectus Carinatum Type 2 Deformity) and Mitral Valve Disease. *Chest*. 1992 Sep;102(3):780–2.
- ¹¹ Urschel HC. Poland Syndrome. *Seminars in Thoracic and Cardiovascular Surgery*. 2009 Mar;21(1):89–94.
- ¹² Aung H, Soe K, Smithuis FF, Lamb T, Aung MW, Smithuis FM. Case Report: Children with Severe Nutritional Rickets in the Naga Region in Northwest Myanmar, on the border with India. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 2021 Jul 7;105(1):217–21.
- ¹³ Yamauchi K, Hirano D, Wada M, Ida H. Pectus carinatum as the key to early diagnosis of Morquio A syndrome: a case report. *Journal of medical case reports*. 2021 Apr 5;15(1):150.
- ¹⁴ Lüllmann-Rauch R, Asan E. Taschenlehrbuch Histologie. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 2015. S. 149.

-
- ¹⁵ van Braak H, de Beer SA, Zwaveling S, Oomen MWN, de Jong JR. Ravitch Surgery or Dynamic Compression Bracing for Pectus Carinatum: A Retrospective Cohort Study. *The Annals of thoracic surgery*. 2024 Jan;117(1):144–50.
- ¹⁶ Radiopedia. Haller index. 2023 June. Available from URL: <https://radiopaedia.org/articles/haller-index>. Accessed April 25,2024
- ¹⁷ Archer JE, Gardner A, Berryman F, Pynsent P. The measurement of the normal thorax using the Haller index methodology at multiple vertebral levels. *Journal of anatomy*. 2016 Oct;229(4):577–81.
- ¹⁸ Wahba G, Nasr A, Bettolli M. A less intensive bracing protocol for pectus carinatum. *Journal of pediatric surgery*. 2017 Nov;52(11):1795–9.
- ¹⁹ Wirt CJ, Mutschler W, Neu J. *Komplikationen Kompakt: Orthopädie und Unfallchirurgie*. 2. Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG; 2016. S.54.
- ²⁰ Cohee AS, Lin JR, Frantz FW, Kelly RE. Staged management of pectus carinatum. *Journal of Pediatric Surgery*. 2013 Feb;48(2):315–20.
- ²¹ de Beer S, Voleklandt S, de Jong J, Oomen M, Zwaveling S, van Heurn E. Dynamic Compression Therapy for Pectus Carinatum in Children and Adolescents: Factors for Success. *Journal of pediatric surgery*. 2023 Aug;58(8):1440–5.
- ²² Shang Z, Hong C, Duan X, Li X, Si Y. Orthotic Bracing or Minimally Invasive Surgery? A Summary of 767 Pectus Carinatum Cases for 9 Years. *BioMed Research International*. 2021 Feb 19;2021:1–8.
- ²³ Emil S. Current Options for the Treatment of Pectus Carinatum: When to Brace and When to Operate? *European Journal of Pediatric Surgery*. 2018 Aug 15;28(04):347–54.
- ²⁴ Nemours KidsHealth. The Ravitch Procedure. 2022 October. Available from: URL <https://kidshealth.org/en/parents/ravitch-procedure.html>. Accessed May 1,2023.
- ²⁵ Fallon SC, Slater BJ, Nuchtern JG, Cass DL, Kim ES, Lopez ME, et al. Complications related to the Nuss procedure: minimizing risk with operative technique. *Journal of pediatric surgery*. 2013 May;48(5):1044–8.
- ²⁶ Port E, Hunter CJ, Buonpane C, Vacek J, Sands L, Kujawa S, et al. Echocardiography Reveals Heart Abnormalities in Pediatric Pectus Carinatum. *The Journal of surgical research*. 2020 Dec;256:364–7.
- ²⁷ Methley AM, Campbell S, Chew-Graham C, McNally R, Cheraghi-Sohi S. PICO, PICOS and SPIDER: a comparison study of specificity and sensitivity in three search tools for qualitative systematic reviews. *BMC Health Services Research*. 2014 Dec 21;14(1):579.
- ²⁸ Frey AS, Garcia VF, Brown RL, Inge TH, Ryckman FC, Cohen AP, et al. Nonoperative management of pectus carinatum. *Journal of Pediatric Surgery*. 2006 Jan;41(1):40–5.

-
- ²⁹ Jung J, Chung SH, Cho JK, Park SJ, Choi H, Lee S. Brace compression for treatment of pectus carinatum. *The Korean journal of thoracic and cardiovascular surgery*. 2012 Dec;45(6):396–400.
- ³⁰ Kang DY, Jung J, Chung S, Cho J, Lee S. Factors affecting patient compliance with compressive brace therapy for pectus carinatum. *Interactive cardiovascular and thoracic surgery*. 2014 Dec;19(6):900–3.
- ³¹ Loff S, Sauter H, Wirth T, Otte R. Highly Efficient Conservative Treatment of Pectus Carinatum in Compliant Patients. *European journal of pediatric surgery : official journal of Austrian Association of Pediatric Surgery . [et al] = Zeitschrift fur Kinderchirurgie*. 2015 Oct;25(5):421–4.
- ³² Al-Githmi IS. Clinical experience with orthotic repair of pectus carinatum. *Annals of Saudi medicine*. 2016 Jan;36(1):70–2.
- ³³ Emil S, Sévigny M, Montpetit K, Baird R, Laberge JM, Goyette J, et al. Success and duration of dynamic bracing for pectus carinatum: A four-year prospective study. *Journal of pediatric surgery*. 2017 Jan;52(1):124–9.
- ³⁴ Sesia S, Holland-Cunz S, Häcker FM. Dynamic Compression System: An Effective Nonoperative Treatment for Pectus Carinatum: A Single Center Experience in Basel, Switzerland. *European Journal of Pediatric Surgery*. 2016 Jan 8;26(06):481–6.
- ³⁵ Poola A, Pierce A, Orrick B, Peter S, Snyder C, Juang D, et al. A Single-Center Experience with Dynamic Compression Bracing for Children with Pectus Carinatum. *European Journal of Pediatric Surgery*. 2018 Feb 25;28(01):012–7.
- ³⁶ Moon D, Kang M, Lee H, Lee S. Long-Term Results of Compressive Brace Therapy for Pectus Carinatum. *The Thoracic and Cardiovascular Surgeon*. 2019 Jan 14;67(01):067–72.
- ³⁷ Fraser S, Harling L, Patel A, Richards T, Hunt I. External Compressive Bracing With Initial Reduction of Pectus Carinatum: Compliance Is the Key. *The Annals of Thoracic Surgery*. 2020 Feb;109(2):413–9.
- ³⁸ Giray E, Ermerak NO, Bahar-Ozdemir Y, Kalkandelen M, Yuksel M, Gunduz OH, et al. A Comparative Study on Short-Term Effects of Compression Orthosis and Exercises in the Treatment of Pectus Carinatum: A Randomized Controlled Pilot Feasibility Trial. *European Journal of Pediatric Surgery*. 2021 Apr 8;31(02):147–56.