

Aus der Klinik und Poliklinik  
für Herz- und Thoraxchirurgie  
der Universität Würzburg  
Direktor: Prof. Dr. med. O. Elert

**Die streng dorsale Thorakotomie – ein alternativer Zugangsweg bei  
Aorteneingriffen im Säuglingsalter**

Inaugural – Dissertation  
zur Erlangung der Doktorwürde der  
Medizinischen Fakultät  
der  
Bayerischen Julius-Maximilians-Universität zu Würzburg

vorgelegt von  
Tobias Felix  
aus Bopfingen

Würzburg, Dezember 2006

**Referent:** Prof. Dr. med. O. Elert

**Koreferent:** Prof. Dr. med. B. Höcht

**Dekan:** Prof. Dr. med. M. Frosch

**Tag der mündlichen Prüfung: 22.02.2007**

**Der Promovend ist Arzt**

**Meinem Großvater**

**Werner Händel**

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Der Persistierende Ductus arteriosus	1
1.1.1 Anatomie und Pathophysiologie	1
1.1.2 Diagnostik und Indikation	2
1.1.3 Operationsverfahren	3
1.2 Die Aortenisthmusstenose	5
1.2.1 Anatomie und Pathophysiologie	5
1.2.2 Diagnostik und Indikation	6
1.2.3 Operationsverfahren	7
1.3 Anatomie und Operative Zugangswege	8
1.3.1 Muskulatur	8
1.3.2 Nerven	9
1.3.3 Posterolaterale Thorakotomie (Standardzugang)	9
1.3.4 Streng dorsale Thorakotomie	10
1.3.5 Folgen von Muskel- und Nervenläsionen	12
1.3.6 Alternative Operationsverfahren	13
1.4 Zielsetzung	13
<b>2. Patientengut und Methoden</b>	<b>14</b>
2.1 Patientengut	14
2.2 Untersuchungsparameter	15
2.2.1 Anamnese	15
2.2.2 Messungen der peripheren Blutdruckwerte und Pulsfrequenzen	15
2.2.3 Operationsnarbe und Fotodokumentation	16
2.2.4 Messung der Stellung von linker und rechter Scapula	16
2.2.5 Funktionstests	17
2.2.6 Sensibilitätstests	18

2.3	Statistik	18
<b>3.</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>19</b>
3.1	Anamnese	19
3.2	Messungen der peripheren Blutdruckwerte und Pulsfrequenzen	19
3.3	Operationsnarbe	20
3.3.1	Kosmetischer Aspekt	21
3.3.2	Relative Narbenlänge	22
3.4	Stellung der Schulter in Ruhe und in funktionellen Tests	24
3.5	Testung der Sensibilität	28
<b>4.</b>	<b>Diskussion</b>	<b>30</b>
4.1	Die posterolaterale und anterolaterale Thorakotomie als Standardzugänge	30
4.1.1	Die posterolaterale Thorakotomie und ihre postoperativen Folgen	31
4.2	Modifizierte Thorakotomien, komplikationsärmere Alternativen	34
4.3	Die streng dorsale Thorakotomie, Minimierung postoperativer Komplikationen	38
4.4	Alternative Therapien zur Korrektur eines persistierenden Ductus arteriosus Botalli und einer Aortenisthmusstenose ohne Thorakotomie	42
<b>5.</b>	<b>Schlussfolgerung</b>	<b>47</b>
<b>6.</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>48</b>
<b>7.</b>	<b>Anhang</b>	<b>52</b>
7.1	Statistische Signifikanzberechnung	53

## 1. Einleitung

### 1.1 Der Persistierende Ductus arteriosus

#### 1.1.1 Anatomie und Pathophysiologie

Der persistierende Ductus arteriosus (PDA) ist eine fetale Gefäßverbindung zwischen dem sogenannten Aortenisthmus, kurz nach dem Abgang der Arteria subclavia, und der Bifurkation der Arteria pulmonalis. Der Ductus arteriosus leitet im fetalen Kreislauf arteriovenöses Mischblut in die Aorta und führt somit sauerstoffangereichertes Blut unter Umgehung der Lungen dem großen Körperkreislauf zu. Dieser Umgehungskreislauf wird durch den hohen Druck in der Arteria pulmonalis aufrechterhalten, da die Lungendurchblutung in der noch nicht entfaltenen fetalen Lunge gedrosselt ist. Normalerweise obliteriert der Ductus innerhalb von 24 Stunden postpartal. Durch die Änderung der Flusswiderstände und die direkte Sauerstoffeinwirkung auf die Ductuswand erfolgt zunächst der funktionelle Verschluss durch Verkürzung und Engstellung des Ganges.

Kommt es nicht zum frühzeitigen Ductusverschluss nach der Geburt, bleibt dieser Links-Rechts-Shunt, der unmittelbar postpartal wegen des hohen pulmonalen Widerstands zunächst nur in der Systole auftritt, weiterhin bestehen. Mit Absinken des pulmonalen Gefäßwiderstandes kommt es dann auch in der Diastole zu einem Blutfluß über diesen Shunt, was das typische „maschinenartige“ Herzgeräusch in der Auskultation hervorruft. Als Folge daraus kommt es vor allem bei großem Shuntvolumen, in den ersten 6 bis 8 Lebenswochen zu einer zunehmenden Volumenbelastung des linken Herzens. Durch die zunehmende Druckbelastung des kleinen Kreislaufs entsteht auch eine pulmonale Hypertonie. Aufgrund des Druckanstiegs im kleinen Kreislauf kommt es zu einer Shuntumkehr (Eisenmenger-Reaktion). Dadurch wird der persistierende Ductus arteriosus zu einem zyanotischen Herzfehler [43]. Der isolierte Ductus ist mit einer Häufigkeit von ca. 10% einer der häufigsten Herzfehler. Mädchen sind fast doppelt so oft betroffen [20,50].

Die Rate an Spontanverschlüssen jenseits des 1. Lebensjahres beträgt nur 0,6%. Die Letalitätsrate der Neugeborenen mit persistierendem Ductus arteriosus, die keiner Therapie zugeführt werden, liegt bei 30% [50].

In der vorantibiotischen Ära war als Komplikation die bakterielle Endokarditis bei 45% der Kinder die häufigste Todesursache. Heute versterben unbehandelte Patienten meist in der 2. – 3. Lebensdekade an Rechtsherzversagen, aufgrund der chronischen pulmonalen Hypertonie mit Sklerosierung der Pulmonalgefäße. Weitere seltenere Komplikationen können ein angeborenes oder erworbenes Aneurysma oder die postpartale Spontanruptur sein [43,50].

Eine Sonderstellung, was die Ursache, den Verlauf und die Therapie des persistierenden Ductus arteriosus betrifft, nehmen die Frühgeborenen ein. Bei Frühgeborenen kommt es durch die Unreife des Ductusgewebes und einem erhöhten Spiegel an vasodilatatorisch wirkendem Prostaglandin E2 zu einem PDA. Dies tritt bei einem Geburtsgewicht unter 1750 Gramm in 45% bis 60% der Fälle, unter 1200 Gramm in 80% der Fälle auf. Die Unreife des Ductusgewebes bedeutet, daß eine geringe Masse an Ductusmuskulatur und eine hohe Empfindlichkeit gegenüber Prostaglandin E2 besteht. In der funktionellen Phase findet deshalb nur eine unzureichende Kontraktion statt [20,50].

### **1.1.2 Diagnostik und Indikation**

Präpartal können heute bereits fetale Herzfehlbildungen im Ultraschall-Screening, das in den Mutterschaftsrichtlinien mit drei Basisuntersuchungen genau festgelegt ist, erkannt werden. In der 2. Basisuntersuchung, innerhalb der 19. – 22. Schwangerschaftswoche, wird neben der Biometrie vor allem auf mögliche Fehlbildungen, darunter kardiale Anomalien, geachtet. Bis zu 90% sind Herzfehlbildungen mit Chromosomenanomalien vergesellschaftet, insbesondere bei Trisomie 13 und 18. Für die Beurteilung ist die Dopplersonographie unverzichtbar. Fehlbildungen, wie zum Beispiel der AV-Kanal, die Transposition der großen Gefäße, Vorhof- und Ventrikelseptumdefekte lassen sich gezielt darstellen. Die Sensitivität der Fehlbildungsdiagnostik beträgt in Zentren bis zu 94%. Für den persistierenden Ductus arteriosus als postpartaler Herzfehler spielt die präpartale Diagnostik eine untergeordnete Rolle, da er zu diesem Zeitpunkt physiologisch auftritt [38].

Die Diagnose wird meist anhand der Klinik gestellt. Die meisten Säuglinge fallen bereits bei den Routineuntersuchungen U1 bis U3 durch das anfängliche, auskultatorisch erkennbare Systolikum auf. Vom 2. Lebensjahr an ist in der Regel ein kontinuierliches Geräusch am linken oberen Sternalrand auskultierbar. Nur bei sehr großem Ductus kommt

es schon im Säuglingsalter zu den Zeichen der Herzinsuffizienz mit präkordialer Überaktivität, hebenden Pulsen und großer Blutdruckamplitude.

Mittels Echokardiographie und Dopplersonographie lässt sich der Ductus über den retrograden Fluß in der A. pulmonalis bei Links-Rechts-Shunt darstellen. Die Röntgenaufnahme des Thorax, die bei weitem Ductus die Kardiomegalie und die Lungenüberflutung zeigt, sowie das EKG mit Linksbelastungszeichen können die Diagnose erhärten.

Intrauterin verhindern die hohen Prostaglandin-E<sub>2</sub>-Spiegel einen vorzeitigen Verschluss des Ductus arteriosus. Postpartal kommt es durch den ansteigenden O<sub>2</sub>-Partialdruck im arteriellen Blut zur Kontraktion der Muskulatur der Media. Begünstigt durch die Widerstandsänderungen im pulmonalen Kreislauf wird innerhalb von 10 - 15 Stunden der Ductus funktionell verschlossen. Diesen Mechanismus nützt man seit 1976 mit der Einführung der Prostaglandinsynthesehemmer-Therapie. Die persistierend hohen PG-E<sub>2</sub>-Spiegel werden bei Frühgeborenen mit Hilfe von Indometacin gesenkt. Nach 5-tägiger Therapie kommt es zu einem Verschluss des Ductus. Die Wiedereröffnungsrate liegt bei 21% [43]. Bei reifgeborenen Kindern spricht der Ductus kaum auf Prostaglandinsynthesehemmer an. Hier stehen die operative Korrektur oder interventionelle Therapiekonzepte im Vordergrund.

Bei der Indikation zur Operation wird zwischen Frühgeborenen und Reifgeborenen differenziert. Erst nach Versagen der medikamentösen Therapie oder bei Kontraindikationen gegen eine Indometacin-Therapie besteht bei Frühgeborenen die Indikation zum operativen Verschluss des PDA. Bei einer Herzinsuffizienz, die medikamentös nicht innerhalb von 48 – 72 Stunden zu beeinflussen ist, bei Kardiomegalie, Gedeihstörungen und rezidivierenden pulmonalen Infekten wird im Säuglingsalter die Indikation zur Operation gestellt. Nach dem 1. Lebensjahr erfolgt die Operation wegen des Risikos einer bakteriellen Endokarditis, unabhängig von der Größe des Ductus arteriosus.

Bei großem persistierendem Ductus ist eine Operation indiziert, solange ein Links-Rechts-Shunt besteht [43,53].

### **1.1.3 Operationsverfahren**

Die Erstbeschreibung des Ductus arteriosus erfolgte im Jahre 1564 im *De catarrho commentaires* durch Leonardo Botallo in Paris. Monroe hat 1888 an einem Kinderleichenam die erste Ligatur eines PDA demonstriert, was er im Jahr 1907 dann in

Boston auch veröffentlicht hat. Erst 1900 wurde die klassische Symptomatik des PDA zum ersten Mal in Edinburgh durch Gibson eindeutig beschrieben. 1937 hat Strieder die erste Ligatur eines PDA bei einem Patienten mit fulminanter Endokarditis durchgeführt. Der Patient verstarb am 4. postoperativen Tag. Die erste erfolgreiche Ligatur eines PDA muß deshalb Gross 1938 zugeschrieben werden, der dies bei einem 7-jährigen Mädchen in Boston durchgeführt und 1944 publiziert hat [26].

In den darauffolgenden Jahren haben verschiedene Arbeitsgruppen einzelne Modifikationen in der Ductuschirurgie veröffentlicht [30,43].

Die Gemeinsamkeit der Modifikationen besteht in der Darstellung des Ductus, im Sinne von *Gross*, zwischen N. vagus und N. phrenicus. Die Durchtrennung, bzw. die Ligatur, des Ductus erfolgt hinter dem N. vagus über der Aorta descendens. Als Zugangswege in den Thorax wurden die anterolaterale, die laterale oder die posterolaterale Thorakotomie im 3. oder 4. ICR angewandt. Die mediane Sternotomie, nach dem Konzept von *Munro*, wurde bei PDA in Komorbidität mit anderen angeborenen Herzfehlern durchgeführt [21]. Nach Verschluss des PDA, noch vor Auftreten einer pulmonalen Hypertonie, normalisieren sich die Kreislaufverhältnisse vollständig. Nach 10 Jahren leben 97% der Kinder herzgesund und voll belastbar [1]. Die Operationsletalität liegt zwischen 0% und 5% abhängig vom Alter des Patienten, vom kardialen Kompensationszustand und von Widerstandsverhältnissen im Lungenkreislauf [6].

Perioperative Komplikationen, wie Blutungsprobleme, Persistieren eines Rest-Shunts oder Infektionen treten selten auf. Ein Grund dafür ist die kurze Operationszeit, die in der Regel 30 Minuten nicht überschreitet, sowie das Durchführen der Operation auf der Neugeborenen-Intensivstation, welches den Transport der Neugeborenen vermeidet. Postoperative Komplikationen treten meist bei Kindern mit zusätzlichen Erkrankungen, wie einer Sepsis, einer nekrotisierenden Enterokolitis und bei Frühgeborenen mit einem Gewicht unter 1000 Gramm auf [10,20,23]. Postoperative Atelektasen treten in 2–4 %, eine temporäre Recurrensparese in 1% der Fälle auf. Das Auftreten eines Pneumo-, Hämato- oder Chylothorax ist mit unter 1% aller Komplikationen selten [43]. Die typische Komplikation bei der Ductusligatur ist das Persistieren oder die Rekanalisation des Ductus arteriosus. Die Rekanalisations- oder Persistenzrate hat sich in den letzten Jahrzehnten deutlich verringert. Lag sie 1965 noch bei 20%, so sank sie bis 1993 bei klinisch und echokardiographisch kontrollierten Patienten auf 12 % [26,56].

## **1.2 Die Aortenisthmusstenose**

### **1.2.1 Anatomie und Pathophysiologie**

Die Aortenisthmusstenose oder Coarctatio aortae ist eine angeborene Fehlbildung des kardiovaskulären Systems. Sie tritt mit einer Häufigkeit von 5 bis 8% auf. Es besteht eine Bevorzugung des männlichen Geschlechts mit einem Verhältnis bis zu 2,6:1 [9,13,50]. Lokalisiert ist die Isthmusstenose zwischen dem Abgang der linken Arteria subclavia und der Einmündung des Ductus arteriosus in die Aorta descendens. Die Stenose entsteht durch eine Vorwölbung der Aorten hinterwand mit Verdickung der Media und der Intima, und eine zirkuläre Kontraktion der Muskelschicht mit einer Fibrosierung.

Nach den anatomischen und hämodynamischen Gegebenheiten lassen sich zwei Gruppen unterscheiden. In 98% der Fälle handelt es sich um eine präduktale oder sogenannte infantile Form, bei der die Stenose vor dem Ductus arteriosus liegt. Die verbleibenden 2% werden der isolierten Form zugeschrieben. Diese Form der Stenose wird als postduktale oder juxtaduktale, bzw. entsprechend ihrem natürlichen Verlauf als adulte Form beschrieben [13].

Charakteristisch für die adulte Form sind die normale Blutflußrichtung und die Drucksteigerung im prästenotischen Bereich. Dadurch kommt es zu einer arteriellen Hypertonie in den Koronarien und den supraaortalen Gefäßen. Das linke Herz unterliegt somit einer Druckbelastung. Die Perfusion der poststenotischen Areale erfolgt über den antegraden Restfluß sowie über die Ausbildung von Kollateralgefäßsystemen.

Bei der infantilen Form kommt es sehr häufig zu einer tubulären Hypoplasie des Aortenbogens und zum Persistieren des Ductus arteriosus. Die oberen Körperregionen werden über die Aorta perfundiert. Die Versorgung der unteren Körperregionen erfolgt über die Pulmonalarterie und den offenen Ductus arteriosus. Deshalb kann im frühen Neugeborenenalter der Blutdruck an unteren und oberen Extremitäten normal und identisch sein. Allerdings beobachtet man einen mehr oder weniger deutlichen Unterschied der Sauerstoffsättigungen zwischen oberer und unterer Extremität mit Zyanose der unteren Extremität [13,50,52,53].

### **1.2.2 Diagnostik und Indikation**

Nach dem Säuglingsalter sind die Patienten mit postduktaler Isthmusstenose meist bis zur Adoleszenz asymptomatisch. Charakteristisch sind dann Kopfschmerzen, Schwindel,

Nasenbluten oder Beinschmerzen. Ein Teil der Patienten mit hochgradiger Stenose entwickelt aber schon im frühen Säuglingsalter eine Herzinsuffizienz.

Typischerweise finden sich bei der Palpation der peripheren Pulse abgeschwächte Femoralispulse bei gleichzeitig verstärkten Radialispulsen vor allem am rechten Arm. Blutdruckmessungen an der unteren und oberen Extremität bestätigen den bereits palpatorisch festgestellten Druckunterschied. Im EKG können im späteren Verlauf die typischen Linksherzhypertrophiezeichen und Erregungsbildungsstörungen auftreten. Im Röntgenbild des Thorax finden sich jenseits des 8. Lebensjahres unter Umständen Rippenusuren als Ausdruck der kaliberstarken Kollateralgefäße, wie zum Beispiel der Arteria mammaria interna. Im oberen linken Mediastinum kann im Aortenbereich eine Einkerbung des Aortenohres mit poststenotischer Dilatation vorliegen. Die wichtigsten diagnostischen Verfahren sind die Echokardiographie und die Dopplersonographie, mit denen die Stenose eindeutig diagnostiziert werden kann. Durch die Messung der Flußgeschwindigkeit kann auch der Gradient über der Stenose abgeschätzt werden. In vielen dokumentierten Fällen kann damit beim Säugling bereits die Operationsindikation mit der nichtinvasiven Diagnostik gestellt werden. Im höheren Kindesalter läßt sich die Isthmusstenose weiterhin mit der Kernspintomographie zur Darstellung bringen [50,52].

In der Regel liegt bei der postduktalen Form keine Notfallindikation vor. Eine Operationsindikation besteht dann, wenn das Gefäßlumen um mehr als 50% eingeengt ist, ein ausgeprägter Kollateralkreislauf besteht und ein Hypertonus an der oberen Extremität, mit einem Druckgradienten von 20 bis 30 mmHg in Ruhe, vorliegt. Daneben gelten das angiokardiographische Erscheinungsbild der Stenose sowie ein pathologisches Blutdruckverhalten unter Belastung als weitere Indikationskriterien für die operative Korrektur. Die Korrektur sollte zwischen dem 1. und 5. Lebensjahr erfolgen, da danach die Gefahr für eine persistierende arterielle Hypertonie eindeutig erhöht ist.

Unbehandelt hat die postduktale Aortenisthmusstenose keine gute Prognose. Ohne Korrektur versterben 15% der Patienten bereits im Säuglings- und frühen Kindesalter. 25% der überlebenden Kinder erreichen das 20. Lebensjahr nicht. Bis zum 60. Lebensjahr versterben ca. 98% aller Patienten mit unbehandelter postduktaler Aortenisthmusstenose. Die mittlere Lebenserwartung beträgt nur 30 bis 35 Jahre. Die wichtigste Todesursache im Säuglingsalter ist die akute Herzinsuffizienz. Im höheren Alter sind die Folgen der persistierenden arteriellen Hypertonie wie Herzinsuffizienz, Aortenruptur, Hirnblutungen oder Endokarditiden die Haupttodesursachen.

Die präduktaale Aortenisthmusstenose wird bereits in den ersten Lebenswochen mit Dyspnoe, Trinkschwierigkeiten, Ödemen und Lebervergrößerung als Zeichen der kardialen Dekompensation symptomatisch. Das Hautkolorit ist blaßgrau, die untere Extremität zyanotisch. Ein kardiogener Schock kann auftreten, wenn sich bei ganz duktusabhängiger Perfusion der unteren Körperhälfte der PDA verschließt. Je nach Weite des PDA sind die Femoralispulse stark schwankend tastbar. Bei einer Dekompensation verschwinden die Blutdruckdifferenz und das Systolikum, das auskultatorisch am linken Sternalrand auftritt. Im EKG findet man die Zeichen einer rechtsventrikulären Hypertrophie. Die Röntgenaufnahme des Thorax zeigt eine Kardiomegalie mit Stauungszeichen. Bei der Doppler-Echokardiographie werden der Ductusflow und die Flowbeschleunigung im Stenosebereich nachweisbar. Unabdingbar ist die Durchführung eines Herzkatheters, weil Begleitvitien, Pulmonalisdruck und die genaue angiographische Darstellung des Aortenbogens die Operationsentscheidung und –methodik beeinflussen. Bei der präduktalen Form ist aufgrund der schlechten Prognose ohne Therapie in jedem Fall die Indikation zur Operation mit der Diagnose gegeben [9,13,50,52].

### 1.2.3 Operationsverfahren

*Gross* und *Hufnagel* demonstrierten an Tieren 1938 zum ersten Mal die Resektion der Aortenisthmusstenose und der anschließenden End-zu-End Anastomose [20].

*Blalock* und *Park* versuchten 1944 in Tierversuchen durch Einschwenken der linken A. subclavia auf die Aorta die Aortenisthmusstenose chirurgisch zu behandeln. Diese Technik ergab keine wesentliche Besserung des Krankheitsbildes [7].

*Crafoord* führte im Oktober 1945 die erste operative Korrektur am erwachsenen Menschen durch [52]. Acht Monate später gelang dies auch *Gross* [30].

*Lynxwiler* gelang 1951 die erste erfolgreiche End-zu-End-Anastomose im Kindesalter [30]. In den folgenden Jahren wurden noch weitere Modifikationen der Aortenisthmuschirurgie entwickelt. *Vosschulte* gelang 1957 die Erweiterung der Stenose mit Dacronpatch. Im Jahre 1966 stellte *Waldhausen* die „subclavian-flap-aortoplasty“ vor. 1960 führten *Morris*, *Cooley*, *DeBakey* und *Crafoord* die Verwendung von verschiedenen Prothesenmaterialien ein [30,50].

Heute ist die Methode der Wahl die Resektion mit End-zu-End-Anastomosierung, eventuell mit Interponat einer Dacronprothese. Der klassische Zugang zum Aortenisthmus führt über eine linksseitige posterolaterale Thorakotomie durch den 3. – 4. ICR. Die

Stenose wird reseziert und die Aorta end-zu-end-anastomosiert bzw. das stenotische Segment durch ein Dacroninterponat ersetzt. Das gesamte stenotische Segment muß reseziert werden, sonst kommt es beim Verbleib von ductusähnlichem Gewebe zu einer Restenosierung [52].

Die Operationsletalität einer einfachen Aortenisthmusstenose wird heutzutage mit 0% bis 3% angegeben. Die Letalität ist dann höher, wenn zusätzliche Herzfehler vorhanden sind. *Ziemer* wies bei 100 Neugeborenen in den Jahren 1972 bis 1984 eine Letalität bei der einfachen Isthmusstenose von 3,5%, bei den kombinierten Stenosen von 12,5%, nach. Die gefürchtetste Komplikation ist die Paraplegie, die mit einer Häufigkeit von 0,5% auftritt. Ursache hierfür ist die Ischämie des Rückenmarks als Folge der Aortenabklemmung. Weniger schwerwiegende Komplikationen stellen die Parese des N. recurrens und des N. phrenicus dar. Bis zu 5% der operierten Patienten bekommen einen Chylothorax, aufgrund einer intraoperativen Verletzung des Ductus thoracicus. Eine weitere wichtige Komplikation ist der postoperativ auftretende paradoxe Hypertonus, dem ein gesteigerter Sympathikotonus und eine erhöhte Renin-Angiotensin-Aktivität zugrundeliegt. Das Persistieren einer präoperativen vorbestehenden Hypertonie ist eine Komplikation, deren Ursache bis heute nicht genau geklärt ist. Besteht präoperativ eine arterielle Hypertonie so ist die Wahrscheinlichkeit der Persistenz der Hypertonie weit geringer wenn die Aortenisthmusstenose zu einem frühen Zeitpunkt korrigiert wird [50].

### **1.3 Anatomie und Operative Zugangswege**

#### **1.3.1 Muskulatur**

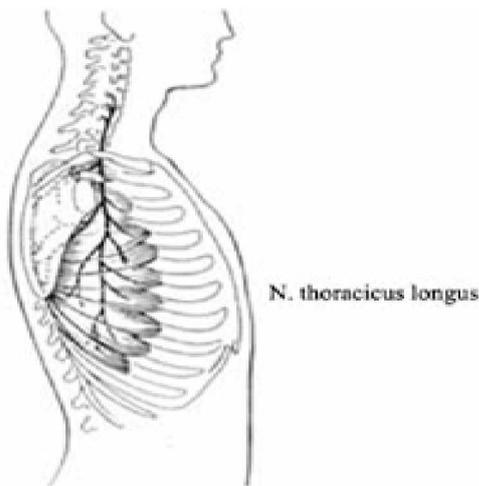
*Benninghoff* unterteilt die Schultermuskulatur in drei Gruppen. Er unterscheidet dabei hebende, waagrecht verlaufende und herabdrückende Muskeln.

Die oberen Anteile des M. trapezius und des M. serratus anterior sowie die Mm. rhomboidei ziehen die Scapula nach cranial. Der M. latissimus dorsi und die unteren Anteile des M. serratus anterior und des M. trapezius ziehen die Scapula nach caudal.

### 1.3.2 Nerven

Das Wissen über den Verlauf und die Funktion der Nerven, die den Schultergürtel sowohl motorisch als auch sensibel versorgen ist wichtig für einen auch langfristig komplikationslosen postoperativen Verlauf nach einer Thorakotomie im Säuglingsalter. Nervenläsionen, die die scapulohumerale und scapulothorakale Bewegungsfreiheit einschränken sind meist Folge der operativen Traumatisierung des N. thoracicus longus, des N. accessorius, des N. dorsalis scapulae und vor allem des N. thoracodorsalis. Der N. thoracicus longus innerviert den M. serratus anterior, der N. dorsalis scapulae die Mm. rhomboidei und der N. thoracodorsalis den M. latissimus dorsi.

Der N. thoracodorsalis verläuft nach Durchtritt des M. scalenus medius zur obersten Serratuszacke. Der Muskel bildet die mediale Achselhöhle. Der N. thoracicus longus zieht abwärts am Angulus posterior der zweiten Rippe zwischen der mittleren und hinteren Axillarlinie und gibt an jede Serratuszacke einen Ast ab (Abbildung 1).



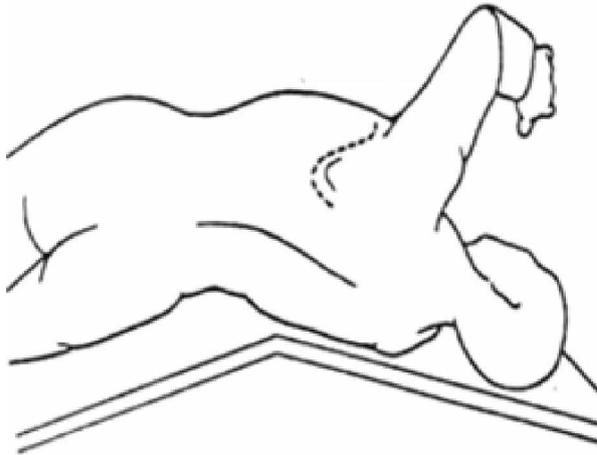
**Abbildung 1:** Verlauf des N. thoracicus longus modifiziert nach Mummenthaler [42]

### 1.3.3 Posterolaterale Thorakotomie (Standardzugang)

Die linksseitige posterolaterale Thorakotomie bzw. auch die anterolaterale Thorakotomie stellen die Standardzugänge zur descendierenden Aorta dar. Der Hautschnitt umschneidet hier in nach oben offenem Bogen die Scapulaspitze und führt zum Teil in die Axilla hoch, wo er dann nach ventral umbiegt (Abbildung 2). Bei dieser Schnittführung sollte der Nervus thoracicus longus mit seinen Begleitgefäßen erhalten werden. In der muskulären Schicht muß bei diesem Zugang allerdings ein größerer Anteil des Musculus latissimus dorsi durchtrennt werden. Gleichzeitig versucht man den Musculus serratus anterior zu

schonen, indem man nur den dorsalen Rand mobilisiert bzw. inzidiert. Der gewünschte Interkostalraum, meist der 3., 4. oder 5. ICR, wird dorso-lateral durch Inzision der Pleura eröffnet. Nun können, nach Abhalten der Lunge und Inzision der Pleura parietalis, die Aorta bis zum Isthmus und der Ductus arteriosus dargestellt werden. [45,52].

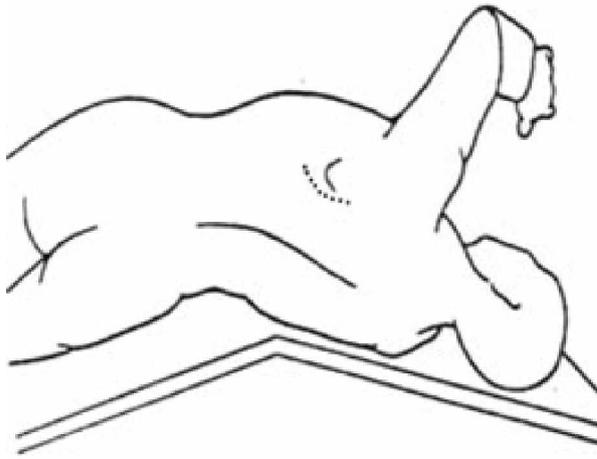
Für diesen Zugang wird der Patient in eine Rechtsseitenlagerung, mit Neigung des Oberkörpers nach ventral, gebracht [45].



**Abbildung 2:**Schnittführung der posterolateralen Thorakotomie

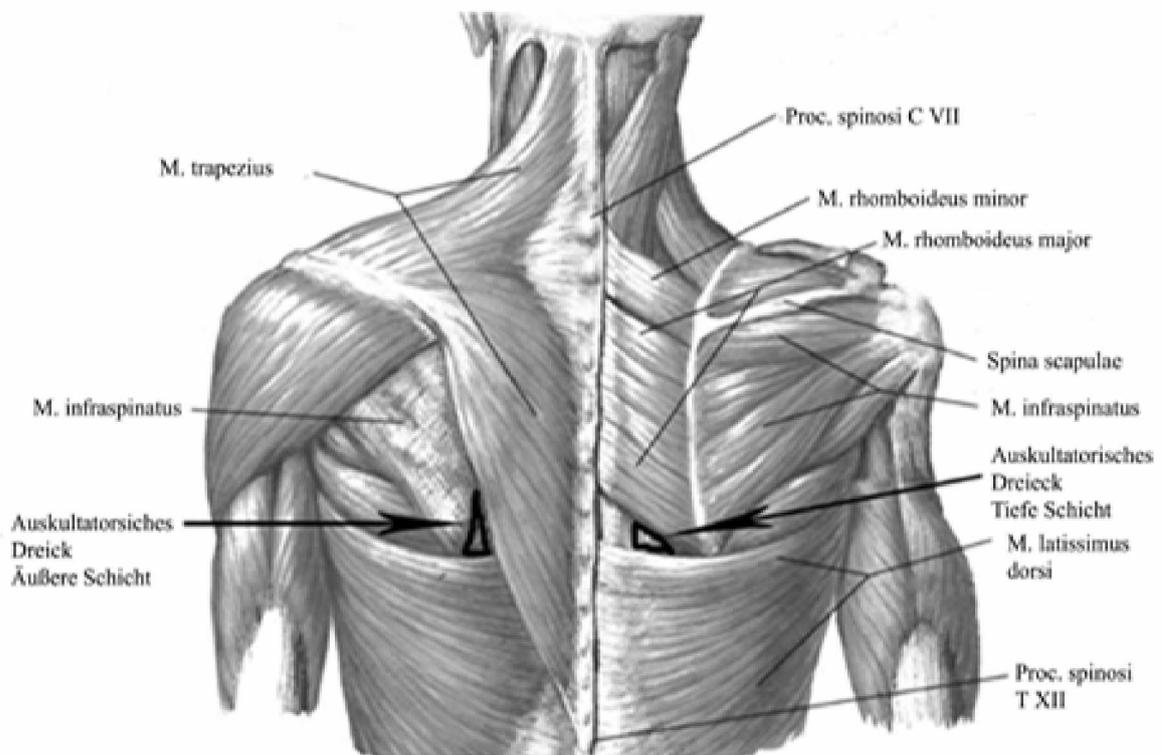
### **1.3.4 Streng dorsale Thorakotomie**

Die von uns vorgeschlagene streng dorsale Thorakotomie erfolgt linksseitig. Die Hautinzision wird von der Medioaxillarlinie um die Scapulaspitze herumgeführt und endet zwischen Schulterblatt und Wirbelsäule in Höhe des 3. Interkostalraumes (Abbildung 3). Nach Identifikation der Muskellücke zwischen Musculus rhomboideus, Musculus trapezius und Musculus latissimus dorsi (Abbildung 4) werden diese abgeschoben und der Interkostalraum vorsichtig mit einem kleinem Thoraxsperrer aufgeweitet. Nach Inzision der Pleura parietalis über der Aorta ascendens wird die Lunge nach ventral weggehalten. Nun wird der Aortenbogen und der Ductus arteriosus bzw. die Aortenisthmusstenose dargestellt.



**Abbildung 3:** Schnittführung der dorsalen Thorakotomie

Bei diesem Zugang wird der Patient ebenfalls in eine Rechtsseitenlagerung gebracht, mit dem Unterschied, daß der Oberkörper des Patienten noch weiter nach ventral gegenüber dem seitlich gelagerten Becken gebracht wird. Der linke Arm ist hierbei oberhalb des Kopfes fixiert.



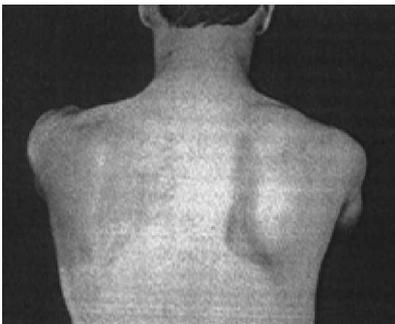
**Abbildung 4:** Rückenmuskulatur des Erwachsenen modifiziert nach Netter [44]

### 1.3.5 Folgen von Muskel- und Nervenläsionen

Sind M. latissimus dorsi und M. serratus anterior in ihrer Funktion beeinträchtigt kommt es durch ihre Antagonisten zu einer Abweichung der Scapula nach cranial mit Außenrotation. Ein Ausfall der oberen Anteile des M. trapezius und des M. serratus bewirkt dagegen ein Herabsinken der Scapula. Die typische Rotation des Schulterblattes nach cranial tritt dann auf, wenn die unteren Anteile des M. trapezius und die Mm. rhomboidei ausfallen [15].

Bei einer isolierten Läsion des M. trapezius steht die kranke Schulter etwas nach ventral geneigt und weiter caudal im Vergleich zur gesunden Seite. Auffällig ist vor allem die Störung der seitlichen Hebung des Armes. Die Läsion des M. serratus anterior verursacht eine verminderte Drehung der Scapula nach vorn. Der Arm kann außerdem nicht mehr über die Horizontale gehoben werden. Der M. serratus anterior ist der wichtigste Muskel zur Stabilisierung der Scapula. Der N. thoracicus longus kann innerhalb seines Verlaufs verletzt werden vor allem durch chirurgische Eingriffe. Wenn der Arm angehoben wird, wie bei der Lagerung zur posterolateralen Thorakotomie, wandert das axilläre neurovaskuläre Bündel nach ventral und cranial. Dies muß man bei der Wahl der Schnitthöhe berücksichtigen. Aber auch Traumata, Infektionen und medikamenten-assoziierte Reaktionen können den Nerv beeinträchtigen [14,19]. Bei einer Parese des Muskels, durch eine Traumatisierung des N. thoracicus longus, entsteht die Scapula alata. Die Scapula hebt sich hierbei medial vom Thorax ab. Die Elevation und das Stemmen des Armes gegen eine Wand verstärken das Bild der Scapula alata (Abbildung 5) [42,54,55].

*Emmel* untersuchte zwischen 1964 und 1984 93 Kinder, die eine linksseitige posterolaterale Thorakotomie zur operativen Korrektur einer Aortenisthmusstenose erhielten. 1995 veröffentlichte er Ergebnisse über die späten postoperativen Komplikationen, welche die Funktion des linken Schultergürtels mit Veränderungen des morphologischen Aspekts betrafen [15].



**Abbildung 5:** Scapula alata rechts, modifiziert nach Saeed [48]

### **1.3.6 Alternative Operationsverfahren**

Neben der Standardthorakotomie wurden in den letzten Jahren neue Zugangstechniken angewandt, um Komplikationen zu minimieren.

Eine besondere Alternative, die videoassistierte Thorakoskopie, wurde 1998 von Salazar et al vorgestellt. Das Ziel alternativer Zugangswege liegt darin, möglichst die Funktion des Nervus thoracicus longus nicht zu beeinträchtigen, um damit das Auftreten einer Scapula alata zu verringern [49].

## **1.4 Zielsetzung**

Die posterolaterale, sowie auch die anterolaterale Thorakotomie stellen die Standardzugänge zur Aorta descendens dar. Die Entstehung einer Scapula alata nach Schädigung des Nervus thoracicus longus stellt eine der Hauptkomplikationen dar.

Um diese und andere beschriebene neuromuskuläre Komplikationen zu minimieren, wurde als neuer alternativer Zugangsweg die streng dorsale Thorakotomie gewählt.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Auswirkungen der streng dorsalen Thorakotomie auf die Funktionalität des Schultergürtels anhand klinischer Untersuchungen und funktioneller Testverfahren zu evaluieren. Hierbei werden die Ergebnisse bezüglich der streng dorsalen Thorakotomie innerhalb des eigenen Patientengutes mit den Standardverfahren verglichen und mit Ergebnissen aus der Literatur diskutiert.

## 2. Patientengut und Methoden

### 2.1 Patientengut

In der Klinik für Herz-Thoraxchirurgie der Universität Würzburg wurden im Zeitraum von 1986- 1998 einhundertelf Patienten einer operativen Korrektur eines persistierenden Ductus arteriosus oder einer Aortenisthmusstenose unterzogen. Perioperativ verstarben sechs Patienten an den Folgen der bereits weit fortgeschrittenen kardialen Dekompensation. 47 Patienten wurden einer klinischen Nachuntersuchung zugeführt. Hiervon litten 7 Patienten (15%) an einer Aortenisthmusstenose und 40 Patienten (85%) an einem persistierenden Ductus arteriosus. Die Gruppeneinteilung der Patienten erfolgte anhand des angewandten operativen Zugangsweges und des Lebensalters (Abb. 1).

Von den 47 untersuchten Patienten wurden 40 Kinder mittels der streng dorsalen Thorakotomie operiert (Gruppe 1). Davon wurden 16 Patienten vor Ende des 1. Lebensjahres (Gruppe 1A) und 24 Patienten nach Vollendung des 1. Lebensjahres (Gruppe 1B) operiert.

Sieben Patienten wurden mittels eines Standardzuganges, der linksseitigen posterolateralen Thorakotomie operiert (Gruppe 2). In dieser Gruppe sind fünf Patienten vor Ende des 1. Lebensjahres (Gruppe 2A) und zwei Patienten nach Vollendung des 1. Lebensjahres operiert (Gruppe 2B) worden.

### Durchschnittsalter und Geschlechtsverteilung der 47 untersuchten Patienten

	<b>Gesamt n=47</b>	<b>Gruppe 1 n=40</b>	<b>Gruppe 2 n=7</b>
<b>Durchschnittsalter in Jahren</b>	8,34	8,45	7,71
<b>männlich</b>	28	23	5
<b>weiblich</b>	19	17	2

## **2.2 Untersuchungsparameter**

Bei der klinischen Nachuntersuchung sollten die beiden Operationsverfahren hinsichtlich ihrer postoperativen Ergebnisse bezüglich folgender Merkmale verglichen werden:

- Deformitäten und Asymmetrien des Schultergürtels
- Motorik und Sensibilität im Schulterbereich und die daraus resultierende Beweglichkeit im Schultergürtel
- den kosmetischen Aspekt
- die postoperative Entwicklung der oberen ipsilateralen Extremität im Vergleich zur kontralateralen Seite.

### **2.2.1 Anamnese**

Anhand eines Fragebogens (Anhang) erfassten wir vor der klinischen Untersuchung, ob postoperativ Parästhesien, Schwäche oder Schmerzen auftraten. Weitere Fragen dienten dem Ausschluß von Schäden im Bereich des Schultergürtels anderer Genese. Hierzu gehören beispielsweise traumatische Läsionen des Nervus thoracicus longus durch thoraxchirurgische Eingriffe, allergische Reaktionen durch Medikamente und idiopathisch, toxisch, traumatisch oder infektiös bedingte Lähmungserscheinungen. Fragen zur Familienanamnese eruierten neurologische oder muskuläre Erbkrankheiten, was der Abgrenzung der neurogenen Scapula alata, im Rahmen einer progressiven Muskeldystrophie oder einer anderen primären Myopathie dient.

### **2.2.2 Messungen der peripheren Blutdruckwerte und Pulsfrequenzen**

Die peripheren Blutdruckwerte und Pulsfrequenzen wurden nach Riva Rocci gemessen, um einen möglichen Zusammenhang zwischen der verminderten Perfusion und den Alterationen im Schultergürtel festzustellen. Eine Blutdruckdifferenz in den oberen Extremitäten von mehr als 15 mmHg wurde als kritischer Wert festgelegt. Beidseits wurden Armlängen und Armumfänge von Ober- und Unterarmen in Millimeter gemessen. Bei Patienten mit korrigierter Aortenisthmusstenose wurden zusätzlich der Blutdruck und der Puls der linken unteren Extremität gemessen. Die präoperativ bestehenden Blutdruckdifferenzen zwischen oberer und unterer Extremität sollten postoperativ nicht mehr meßbar sein.

### **2.2.3 Operationsnarbe und Fotodokumentation**

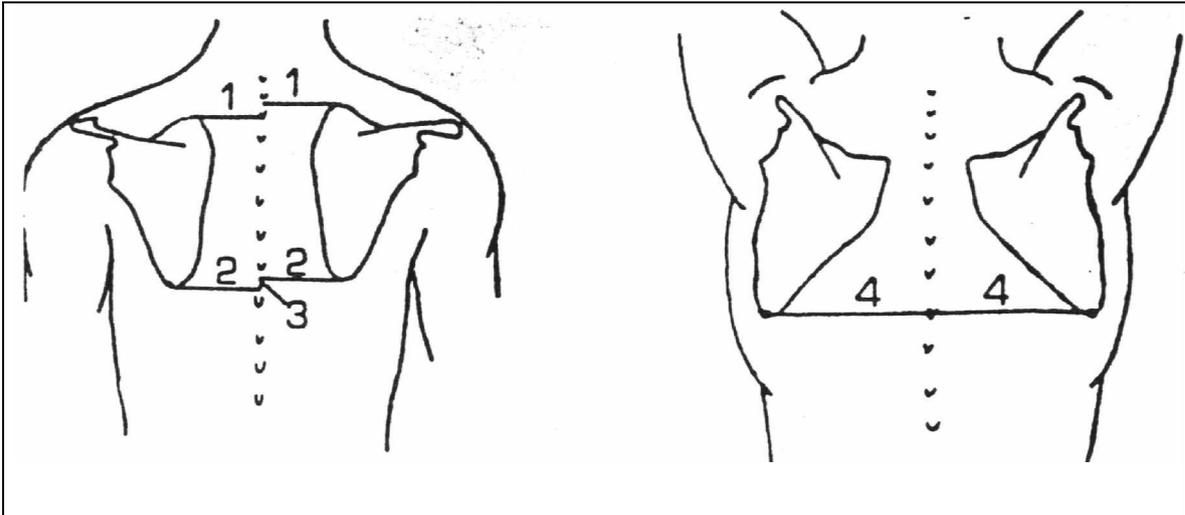
Am aufrecht stehenden Patienten wurde die Narbenlänge gemessen. Der Narbenverlauf wurde fotografisch dokumentiert. Die Fotodokumentation wurde, aufgrund des unterschiedlichen Alters und Entwicklungsstandes der jungen Patienten, zur besseren Verlaufsmessung und Narbenbeschreibung herangezogen. Die Narbenlänge wurde auf den Thoraxumfang, welcher auf Höhe der Mamillen gemessen wurde, bezogen. Die relative Narbenlänge ergibt sich aus dem Quotienten von Narbenlänge zu Thoraxumfang.

Die Frage, ob zwischen der Ausdehnung der Narbe und den Alterationen im Schultergürtel ein Zusammenhang besteht sollte hiermit beantwortet werden. Ebenfalls sollte der Frage nachgegangen werden, ob ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Operationstechniken bezüglich der Narbenlänge besteht.

Das kosmetische Ergebnis im Bereich der Schulter wurde ebenfalls fotografisch dokumentiert. Das Narbenbild selbst, sowie Keloidbildungen wurden beurteilt. Weitere zu beurteilende Parameter waren Deformitäten und Asymmetrien im Gesamtbild des Rückens durch die Narbenbildung, wie zum Beispiel eine Unregelmäßigkeit der hinteren Axillarlinie.

### **2.2.4 Messungen der Stellung von linker und rechter Scapula**

Die wichtigste Untersuchung war die Messung zwischen rechter und linker Schulterblattstellung zueinander. Der obere und der untere Scapulawinkel dienten als Fixpunkte. Eine Linie wurde im rechten Winkel zur dorsalen Mittellinie entlang der Processus spinosi der Wirbelsäule (Abbildung 2) gezogen. Die Distanz zwischen den beiden projizierten Punkten auf der dorsalen Mittellinie zeigte eine kraniale, caudale, mediale oder laterale Abweichung in Ruhe oder während funktioneller Tests. Zusätzlich konnte eine eventuell entstandene abnorme Rotation des Schulterblattes gesehen werden.



**Abbildung 2:** 1 = Oberer Scapulawinkel zur Linea posterior medialis  
2 = Unterer Scapulawinkel zur Linea posterior medialis  
3 = Höhe des unteren Winkels: horizontale Projektion der beiden Scapulawinkel auf die Linea posterior medialis → Messung des Abstandes zwischen beiden Punkten  
4 = Entfernung der unteren Scapulawinkel zur Linea posterior medialis auf dem Patienten bei maximal angehobenen Armen.

Eine kraniale oder kaudale Verschiebung der Schulter von weniger als 2 cm im Vergleich zur kontralateralen Seite wurde als geringe Fehlstellung bezeichnet.

Von einer erheblichen Fehlstellung wurde bei einer Verschiebung der Scapula nach kranial oder caudal von mehr als zwei Zentimeter im Vergleich zur nichtoperierten Seite ausgegangen.

### 2.2.5 Funktionstests

Zur Überprüfung der Beweglichkeit der Muskulatur des Schultergürtels wurden Funktionstests durchgeführt. Wie bei der Messung in Ruhe diente die dorsale Medianlinie wieder als Bezugslinie, um Abweichungen nach cranial oder caudal bestimmen zu können.

Um die intakte Funktion des Musculus trapezius und Musculus rhomboideus, die durch den Nervus accessorius bzw. Nervus dorsalis scapulae innerviert werden zu testen, sollten die Schultern gegen einen nach unten gerichteten Widerstand angehoben werden. In dieser Position wurde die Stellung beider Schulterblätter verglichen und die Abweichung zur dorsalen Bezugslinie in Zentimeter gemessen (Abbildung 2). Weitere Messungen erfolgten bei Adduktion, sowie beim Senken der Scapula.

Zur Überprüfung des Musculus serratus anterior, die Innervation erfolgt durch den Nervus thoracicus longus, wurden die Arme bei aufrechter Position des Patienten gegen eine Wand gepresst. Die Abweichungen beider Scapulae zueinander und zur Wirbelsäule wurden wieder in Zentimeter gemessen (Abbildung 2). Gleichzeitig konnte das Auftreten einer Scapula alata in dieser Position überprüft werden. Auf die gleiche Weise erfolgten Messungen bei der simultanen Abduktion und Elevation der Arme.

Als Funktionstest für den Musculus latissimus dorsi, der durch den Nervus thorakodorsalis innerviert wird, musste der Patient in aufrechter Position beide Hände hinter dem Rücken ergreifen. Die Stellung beider Scapulae und die Abweichungen zur Wirbelsäule wurden in Zentimeter gemessen.

### **2.2.6 Sensibilitätstest**

Als abschließender Test wurde die Sensibilität im Bereich der Operationsnarbe und des Versorgungsgebietes des Nervus thoracicus longus, der im Falle der posterolateralen Thorakotomie senkrecht zur Schnittrichtung verläuft, geprüft. Folgende Qualitäten wurden überprüft:

Zur Testung der Thermoception der Haut wurden Reagenzgläser mit warmem (35°C) und kaltem (15°) Wasser verwendet.

Die Schmerzsensibilität wurde durch berühren der Haut mit kleinen Nadeln überprüft.

Um den diskriminatorischen Tastsinn (Zweipunktschwelle) zu testen, wurden mit zwei dünnen Holzspateln Hautpunkte mit Abständen zwischen 3 und 10 Zentimeter aufgebracht. Laut *Silbernagel* liegt die Zweipunktschwelle auf der Rückenhaut beim Gesunden bei 4 Zentimeter.

### **2.3 Statistik**

Für die statistische Auswertung und graphische Datenverarbeitung unter Berücksichtigung des Datenschutzes verwendeten wir Microsoft EXCEL und SSPS.

Die Ergebnisse wurden im arithmetischen Mittel und der Standardabweichung beschrieben. Um die Unterschiede beider Operationsverfahren auf ihre Signifikanz zu prüfen wurden der Chi-Quadrat-Test, der Exakte Test nach Fischer und der Student's T-Test verwendet. Bei einem p-Wert <0,05 wurde von einem signifikanten Unterschied der Werte ausgegangen. Zu berücksichtigen ist die geringe Fallzahl der Patienten.

### **3. Ergebnisse**

#### **3.1 Anamnese**

Zwei Patienten verspürten postoperativ anhaltende Parästhesien und ein Schwächegefühl des linken Unterarms, bzw. ein Taubheitsgefühl der linken Scapula. Diese subjektiven Missempfindungen ließen sich jedoch durch die von uns durchgeführten Funktionstests nicht bestätigen.

45 Patienten, oder deren Eltern, berichteten über keine der oben genannten Beeinträchtigungen in der Zeit nach der Operation. Alle Fragen bezüglich positiver Familienanamnese, traumatischer Läsionen oder Lähmungserscheinungen unterschiedlicher Genese im Schulterbereich wurden von den Patienten verneint.

Anhand unserer Anamnese konnten alle Patienten für die Tests einbezogen werden.

#### **3.2 Messungen der peripheren Blutdruckwerte und Pulsfrequenzen**

Bei keinem der Patienten zeigten sich Pulsdefizite bei den Pulsmessungen an beiden Armen. Bei 39 untersuchten Patienten traten Unterschiede von weniger als 15 mmHg in den oberen Extremitäten auf. Bei fünf Patienten mit korrigierter Aortenisthmusstenose lag die Differenz zwischen der unteren und oberen Extremität unter 15 mmHg.

Zwei der Patienten, die wegen einer Aortenisthmusstenose operiert worden waren, wiesen postoperativ Blutdruckdifferenzen zwischen den oberen Extremitäten, sowie zwischen linkem Oberarm und Unterschenkel auf. Die Differenz betrug im ersten Fall jeweils 30 mmHg, im zweiten Fall 15 mmHg. Beide Patienten waren mittels dorsaler Thorakotomie nach Ende des ersten Lebensjahres operiert worden (Gruppe 1B).

Bei beiden Patienten wurden an Ober- und Unterarmen Umfang- und Längenmessungen in Millimeter durchgeführt. Es bestanden in beiden Fällen nur Unterschiede in der Länge und im Umfang von Ober- und Unterarm bis 5 mm zwischen beiden Seiten. Der linke Arm war maximal 10 mm kürzer und im Umfang maximal 10 mm geringer als der rechte Arm. Als Messfehlertoleranz wurden 10 mm angegeben. Beide Patienten sind Rechtshänder. Bei

diesen beiden Patienten besteht keine Beeinträchtigung in der Entwicklung der oberen Extremität postoperativ trotz der genannten Blutdruckdifferenzen.

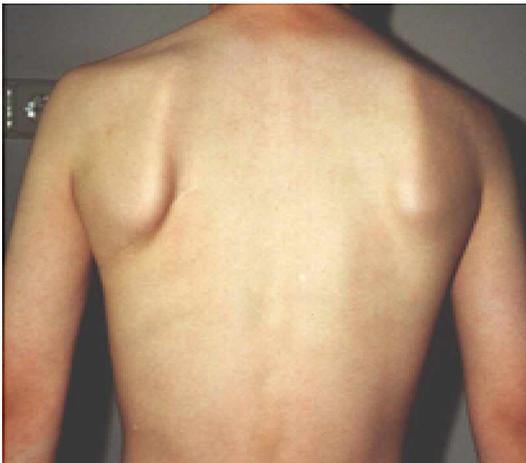
### 3.3 Operationsnarbe

Zur Verlaufs- und Längendokumentation der Operationsnarbe, wurde der Rücken von 37 Patienten fotografiert. Bei 10 Patienten war eine Fotografie aufgrund mangelnder Compliance oder fehlender Zustimmung nicht möglich.

Bei der posterolateralen Thorakotomie (Gruppe 2) ist bekannt, dass die Narbe gewöhnlich zirka 2 cm unterhalb des Angulus inferior der linken Scapula verläuft. Die Narbenlänge der 7 Patienten aus dieser Gruppe beträgt im Mittelwert 123 mm +/- 22 mm (Abbildung 1a).

Die Narbe nach streng dorsaler Thorakotomie (Gruppe 1) verläuft bei den meisten Patienten direkt auf der linken Scapula. In einer Linie vom oberen Scapulawinkel zum unteren Scapulawinkel verläuft die Narbe in einem Winkel von ca. 35°. Der Mittelwert der Narbenlänge aller 40 Patienten beträgt 97 mm +/- 27mm (Abbildung 1b).

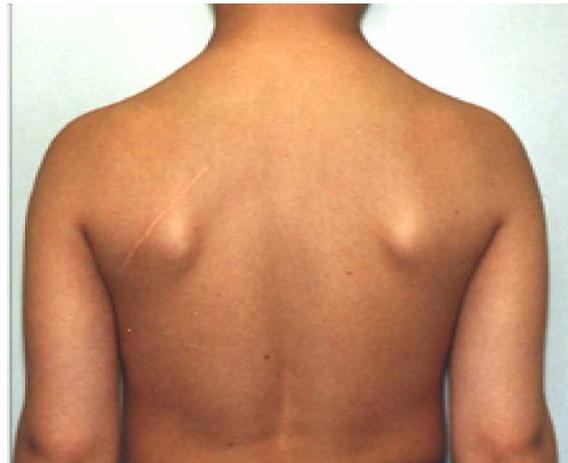
Die Narbenlänge in der Gruppe 1 ist signifikant kürzer als in der Gruppe 2.



**Abbildung 1a)**

6-jähriger Junge

Posterolaterale Thorakotomie



**Abbildung 1b)**

9-jähriger Junge

dorsale Thorakotomie

### 3.3.1 Kosmetischer Aspekt

Insgesamt wurden 37 Patienten fotografiert, 31 Patienten gehörten zur Gruppe 1 und 6 Patienten zur Gruppe 2. Nach der Auswertung der Fotografien hatten 6 Patienten der Gruppe 1 eine deutliche Keloidbildung der Narbe (Abbildung 2).



**Abbildung 2**

4-jähriger Junge  
dorsale Thorakotomie

20-jähriges Mädchen  
dorsale Thorakotomie

13-jähriger Junge  
dorsale Thorakotomie

Vier Patienten wiesen Asymmetrien der hinteren Axillarlinie auf. Davon gehörten drei Patienten zur Gruppe 2 und ein Patient zur Gruppe 1 (Abbildung 3).



**Abbildung 3**

3-jähriges Mädchen  
dorsale Thorakotomie



10-jähriges Mädchen  
posterolaterale Thorakotomie

Bei zwei Patienten aus der Gruppe 2 trat ein kosmetisch unbefriedigendes Ergebnis durch Verwachsungen und Verziehungen der Narbe auf (Abbildung 4).



**Abbildung 4**

5-jähriger Junge

posterolaterale Thorakotomie

Insgesamt zeigten sich kosmetisch sehr positive Ergebnisse. 25 der fotografierten Patienten (davon 22 aus Gruppe 1 und 3 aus Gruppe 2) hatten sehr unauffällige Narben und beeinträchtigten das kosmetische Bild des Rückens kaum (Abbildung 5).



**Abbildung 5**

10-jähriger Junge

dorsale Thorakotomie

6-jähriges Mädchen

dorsale Thorakotomie

10-jähriger Junge

dorsale Thorakotomie

### 3.3.2 Relative Narbenlänge

Die Gruppe der streng dorsal operierten Patienten (Gruppe 1) hatte im Vergleich zur Gruppe der posterolateral operierten Patienten (Gruppe 2) folgende relative Narbenlängen. Im Mittel betrug die relative Narbenlänge von Gruppe 1  $L = 0,144 \pm 0,031$  und die von Gruppe 2  $L = 0,204 \pm 0,047$ .

Eine weitere Unterteilung erfolgte hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen relativer Narbenlänge und Schultergürtelalteration.

Nach unserer Klassifikation haben Patienten in Gruppe 1 mit geringer Fehlstellung eine relative Narbenlänge im Mittel von  $L = 0,152 \pm 0,029$ , mit erheblicher Fehlstellung im Mittel von  $L = 0,141$ . Bei Patienten ohne Fehlstellung wurde eine relative Narbenlänge im Mittel von  $L = 0,138 \pm 0,067$  gemessen (Tabelle 1).

In Gruppe 2 ergibt sich in dieser Klassifikation bei Patienten mit geringer Fehlstellung eine relative Narbenlänge im Mittel von  $L = 0,224 \pm 0,031$  und ohne Fehlstellung eine Länge von  $L = 0,189 \pm 0,027$ . Aufgrund der geringen Fallzahl in dieser Gruppe fanden sich keine Patienten mit erheblicher Fehlstellung.

Danach haben wir die Patienten mit Fehlstellungen aus beiden Gruppen denjenigen Patienten gegenübergestellt, die keine Fehlstellung der linken Schulter aufwiesen. Untersucht wurde der Zusammenhang zwischen relativer Narbenlänge und den Fehlstellungen. Bei 28 Patienten ohne Fehlstellung ergab sich eine relative Narbenlänge im Mittel von  $0,147 \pm 0,035$  und bei den Patienten mit Fehlstellung im Mittel von  $0,162 \pm 0,044$ . Daraus ergibt sich, daß die Fehlstellungen der linken Schulter nicht mit der relativen Narbenlänge korrelieren. Es besteht keine Signifikanz ( $p = 0,235$  nach Student's T-Test, Tabelle 2).

	Gruppe 1	Gruppe 2	p
Relative Narbenlänge (RNL)	0,144 +/- 0,031	0,204 +/- 0,047	< 0,05
RNL mit geringer Fehlstellung	0,152 +/- 0,029	0,224 +/- 0,031	< 0,05
RNL mit erheblicher Fehlstellung	0,141	keine	-
RNL keine Fehlstellung	0,138 +/- 0,067	0,189 +/- 0,027	Nicht signifikant
<i>Signifikanz: <math>p = 0,014</math> (signifikant)</i>			

**Tabelle 1:** Zusammenhang zwischen relativer Narbenlänge (RNL) und Patienten mit keiner, geringer oder erheblicher Fehlstellung

Narbenlänge	Fehlstellungen (n=19)	Keine Fehlstellungen (n=28)	p
Relative Narbenlänge	0,162 +/- 0,044	0,147 +/- 0,035	p = 0,235 n.s.

**Tabelle 2:** Korrelation zwischen Narbenlänge und Fehlstellungen

Wir haben festgestellt, daß die relative Narbenlänge bei der streng dorsalen Thorakotomie (Gruppe 1) kürzer ist als bei der posterolateralen Thorakotomie (Gruppe 2). Dieser Unterschied zwischen beiden Operationsverfahren ist signifikant ( $p = 0,014$  nach Student's T-Test, Tabelle 1). Dieses Ergebnis ist für den kosmetischen Aspekt relevant. Die Stärke der Alterationen im Schultergürtel ist, bezüglich der Narbenlänge, zwischen den beiden Operationsverfahren nicht signifikant.

### 3.4 Stellung der Schulter in Ruhe und in funktionellen Tests

Ingesamt hatten nach Korrektur eines persistierenden Ductus arteriosus oder einer Aortenisthmusstenose 43% unserer Patienten Alterationen im Schultergürtel. Davon zeigten 40% der Patienten aus Gruppe 1 und 57% der Operierten aus Gruppe 2 Fehlstellungen der linken Schulter. In Ruhestellung und nach der Durchführung der funktionellen Tests ergaben sich folgende Ergebnisse:

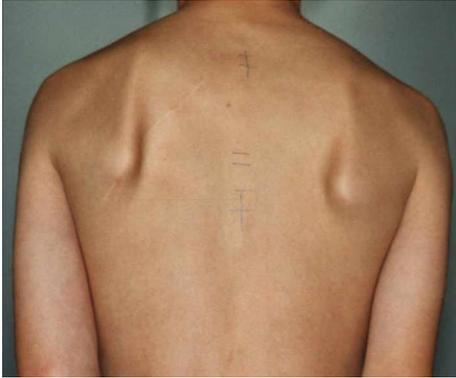
In Gruppe 1 wiesen 13 Patienten eine Fehlstellung der Schulter nach cranial (Abbildung 6) und 4 Patienten nach caudal auf. Bei 5 Patienten zeigte sich eine Abweichung in Ruhe bei hängenden Armen (Abbildung 8), bei 11 Patienten eine Abweichung bei maximal angehobenen und abduzierten Armen (Abbildung 10). Weiterhin bestand bei 12 Patienten eine Fehlstellung der Schulter, die bei Testung auf das Bestehen einer Scapula alata erkennbar wurde. Bei keinem Patient trat eine positive Scapula alata auf. 7 Patienten hatten eine Fehlstellung beim Senken der Schulter und 8 Patienten beim Anheben der Schulter.

Bei 10 Patienten zeigte sich während des Greifens der Hände hinter dem Rücken eine Abweichung der normalen Schulterstellung(Tabelle 3).

In Gruppe 2 hatten 2 Patienten eine Fehlstellung der Schulter nach cranial (Abbildung 7) und 2 Patienten eine Abweichung nach caudal. Bei 4 Patienten war eine Abweichung in Ruhe bei hängenden Armen (Abbildung 9) und bei 3 Patienten eine Abweichung bei maximal angehobenen und abduzierten Armen erkennbar (Abbildung 11). 3 Patienten zeigten eine Fehlstellung bei Testung auf Bestehen einer Scapula alata. Bei einem Patient hatte sich eine Scapula alata gebildet (Abbildung 12). 2 Patienten hatten eine Fehlstellung bei Senken der Schulter, 4 Patienten bei Anheben der Schulter. Während des Fassens der Hände hinter dem Rücken trat bei 2 Patienten eine Fehlstellung auf (Tabelle 3).

Fehlstellung	<b>Gruppe.1 total (n=40)</b>	Gruppe 1A (n=16)	Gruppe 1B (n=24)	<b>Gruppe 2 total (n=7)</b>	Gruppe 2A (n=5)	Gruppe 2B (n=2)
Fehlstellung nach oben	<b>13</b>	2	11	<b>2</b>	1	1
Fehlstellung nach unten	<b>4</b>	1	3	<b>2</b>	1	1
Abweichung in Ruhe	<b>5</b>	0	5	<b>4</b>	2	2
Abweichung mit angehobenen Armen	<b>11</b>	1	10	<b>3</b>	2	1
Scapula alata-Test	<b>12</b>	2	10	<b>3</b>	2	1
Scapula alata positiv	<b>0</b>	0	0	<b>1</b>	1	0
Senken der Schulter	<b>7</b>	2	5	<b>3</b>	2	1
Anheben der Schulter	<b>8</b>	0	8	<b>4</b>	2	2
Greifen der Hände hinter Rücken	<b>10</b>	2	8	<b>3</b>	2	1

**Tabelle 3:** Anzahl und Form der Schulterfehlstellungen



**Abbildung 6**

8-jähriger Junge, Fehlstellung cranial  
dorsale Thorakotomie



**Abbildung 7**

9-jähriges Mädchen, Fehlstellung cranial  
posterolaterale Thorakotomie



**Abbildung 8**

11-jähriges Mädchen, Abweichung in Ruhe  
dorsale Thorakotomie



**Abbildung 9**

9-jähriges Mädchen, Abweichung in Ruhe  
posterolaterale Thorakotomie



**Abbildung 10**

13-jähriger Junge, Abweichung in Elevation  
dorsale Thorakotomie



**Abbildung 11**

7-jähriger Junge, Abweichung in Elevation  
posterolaterale Thorakotomie



**Abbildung 12**

9-jähriges Mädchen, Scapula alata  
posterolaterale Thorakotomie

Bei den beiden Operationstechniken wurde eine Unterteilung anhand des Operationszeitpunktes vorgenommen, mit der Frage ob sich eine Korrelation zwischen Operationsalter und Schultergürtelaffektion nachweisen lässt (Tabelle 4).

In Gruppe 1 hatten 3 Kinder, die zu einem frühen Zeitpunkt operiert wurden (Gruppe 1A, n=16) eine Fehlstellung. Bei den spät operierten Kindern (Gruppe 1B, n=24) wiesen 13 Patienten eine Fehlstellung der Schulter auf. Der Unterschied zwischen beiden Operationszeitpunkten ist signifikant ( $p=0,047$ ).

In Gruppe 2 zeigten sich bei zwei der früh operierten Kinder (Gruppe 2A, n=5) Fehlstellungen. Die Kinder der Gruppe 2B (n=2) wiesen alle Fehlstellungen auf. Aufgrund der geringen Fahlzahl ist jedoch der Unterschied nicht signifikant ( $p=0,429$ ).

Wenn man unsere Klassifikation, welche zwischen einer geringen, erheblichen oder keiner Fehlstellung unterscheidet (Tabelle 4) auf die Frage vereinfacht, ob eine Fehlstellung nach der Operation auftritt oder nicht, so kommen wir zu folgendem Ergebnis: 60% der Kinder (n=24) aus Gruppe 1 und 43% der Kinder (n=3) aus Gruppe 2 hatten keine Alterationen im Schultergürtel. Doch dieses Ergebnis ist nicht signifikant ( $p=0,438$ ).

Klassifikation	Gruppe 1 total (n=40)	Gruppe 1A (n=16)	Gruppe 1B (n=24)	Gruppe 2 total (n=7)	Gruppe 2A (n=5)	Gruppe 2B (n=2)
Geringe Fehlstellung	<b>15</b>	3	12	<b>4</b>	2	2
Erhebliche Abweichung	<b>1</b>	0	1	<b>0</b>	0	0
Keine Fehlstellung	<b>24</b>	13	11	<b>3</b>	3	0

**Tabelle 4:** Patienten mit geringer, erheblicher oder keiner Fehlstellung postoperativ in den unterschiedlichen Gruppen

### 3.5 Testung der Sensibilität

In Gruppe 1 hatten 90% der Patienten keine Sensibilitätsstörungen im Bereich der Narbe auf dem linken Schulterblatt und im Verlauf des Nervus thoracicus longus. 10% der Patienten hatten im Testverlauf Parästhesien in der Narbenumgebung, davon 5% mit einem

reduzierten Schmerzempfinden und 5% mit Störungen des diskriminatorischen Tastsinns (Tabelle 8).

In Gruppe 2 zeigten 86% der Kinder keine Auffälligkeiten, weder im Bereich der Operationsnarbe noch im weiteren Verlauf des Nervus thoracicus longus, senkrecht zur Thorakotomienarbe. Bei 14% der Kinder haben wir Parästhesien in direkter Umgebung zur Narbe an der Scapula festgestellt. Hierbei handelte es sich um Störungen des diskriminatorischen Tastsinns. Die anderen Qualitäten waren uneingeschränkt (Tabelle 5).

Es lässt sich kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen feststellen.

Sensibilität in der Narbenumgebung	<b>Gruppe 1 total (n=40)</b>	Gruppe 1A (n=16)	Gruppe 1B (n=24)	<b>Gruppe 2 total (n=7)</b>	Gruppe 2A (n=5)	Gruppe 2B (n=2)
Hypästhesien	<b>2</b>	1	1	<b>0</b>	0	0
Gestörte Temperaturempfindung	<b>0</b>	0	0	<b>0</b>	0	0
Gestörter Tastsinn	<b>2</b>	0	2	<b>1</b>	1	0
Parästhesien insgesamt	<b>4</b>	1	3	<b>1</b>	1	0
Keine Parästhesien	<b>36</b>	15	21	<b>6</b>	4	2

**Tabelle 5:** Testung der Sensibilität

## **FÜR DISKUSSION:**

Im Gegensatz zur posterolateralen Thorakotomie, die am besten nach Ende des 1. Lebensjahres durchgeführt werden sollte, liegt der günstigste Operationszeitpunkt für die dorsale Thorakotomie vor Ende des 1. Lebensjahres.

Der Grund liegt in der geringen Fallzahl der posterolateral operierten Patienten (Gruppe 2, n=7).

Der Grund hierfür liegt wiederum in der geringen Patientenzahl der posterolateralen Thorakotomie.

## **4. Diskussion**

### **4.1 Die posterolaterale Thorakotomie und anterolaterale Thorakotomie als Standardzugänge**

Metras wandte diese Zugangswege leicht modifiziert als limitierte posterolaterale Thorakotomie bis 1998 in 40 Fällen an. Er bemerkte eine Verbesserung des kosmetischen Bildes durch eine Verlagerung des Schnittes der posterolateralen Thorakotomie nach posterior. Durch die modifizierte Schnittführung kann eine Beeinträchtigung der Brustentwicklung bei jungen weiblichen Patienten vermieden werden. In dieser Studie wurden keine Nachuntersuchungen über die postoperative, muskuläre und nervale Entwicklung des Schultergürtels vorgenommen. Dies erachten wir als besonders entscheidend. Dieser Umstand wurde auch von Liu kritisiert [35;38].

Liu bevorzugt die anterolaterale Technik. In Nachuntersuchungen von 30 Patienten wiesen diese keine kosmetischen Asymmetrien der Brustdrüsenentwicklung und keine Sensibilitätsstörungen im Narbenareal auf. Liu postuliert die mediane Sternotomie als den Zugang mit dem geringsten Risiko von Weichteilverletzungen, wie zum Beispiel der Läsion des N. thoracicus longus [35]. Die Korrektur des PDA und der Aortenisthmusstenose wird heute routinemäßig vorwiegend über laterale Zugangstechniken durchgeführt [10;35;42;44]. Die Sternotomie wird meist bei der Korrektur assoziierter Herzfehler angewandt. Liu geht auf die Verletzung der Muskulatur und deren Folgen durch die anterolaterale Thorakotomie nicht ein.

Im Jahre 1999 zeigte Shivaprakasha, dass die von Metras angewandte Methode der limitierten posterolateralen Thorakotomie eine gute Alternative zur „Ministernotomie“ und anterolateralen Thorakotomie darstellt. Durch die Verkürzung und Verlagerung des Schnittes gegenüber der posterolateralen Standardthorakotomie konnten die postoperativen Schmerzen reduziert und die Kosmetik verbessert werden [51].

Wir sehen den Vorteil unserer Methode, der streng dorsalen Thorakotomie, neben dem guten kosmetischen Ergebnis vor allem im Erhalt der Funktion von Nerven und Muskeln der lateralen Thoraxwand.

#### **4.1.1 Die posterolaterale Thorakotomie und ihre postoperativen Folgen**

Emmel untersuchte zwischen 1964 und 1984 93 Kinder, die einer linksseitigen posterolateralen Thorakotomie zur Korrektur einer Aortenisthmusstenose unterzogen wurden. Er stellte in seinen Nachuntersuchungen fest, dass Alterationen des linken Schultergürtels aufgetreten waren. Der morphologische Aspekt war durch Verschiebungen der Scapula eindeutig verändert. Dieser beruht auf einer Läsion mit nachfolgender Atrophie des M. latissimus dorsi. Meist lag noch eine Beeinträchtigung des M. serratus anterior vor, hervorgerufen durch die Schnittführung der posterolateralen Thorakotomie.

Die Scapula alata ist die typische Komplikation bei einer Läsion oder Atrophie des M. serratus anterior. Die Scapula alata trat in 57% der Fälle nach posterolateraler Thorakotomie auf. Dies ist ein Produkt aus der Störung des horizontalen Muskelzuges auf das Schulterblatt, der vor allem durch den Serratus, die Rhomboidei und den mittleren Anteil des Trapezius im Zusammenspiel erzeugt wird.

Die Ursache darin sah Emmel in der Art des Zugangsweges in die Thoraxhöhle und der Schnitthöhe. Je höher der Schnitt gewählt wurde, um so mehr Anteile des Trapezius und der Rhomboidei wurden verletzt. Dadurch entstanden bis zu 15 Varianten der Schulteralterationen, wie Ab- und Aufwärtsrotationen der Scapula oder Ab- und Aufwärtsverschiebungen der Schulter. In Abhängigkeit von der Schnitthöhe entstanden fast immer Dysfunktionen von M. serratus anterior und M. latissimus dorsi. Je proximaler der Schnitt gewählt wurde um so eher wurde der nervale Versorgungsstrang verletzt, und die distal gelegenen Muskeln wurden paretisch. Bei der posterolateralen Thorakotomie verläuft die Schnittlinie senkrecht zu den Nervensträngen. Damit sind vor allem der M. serratus anterior und der M. latissimus dorsi betroffen. Aus diesem Grund leben heute viele Patienten mit signifikanten Fehlfunktionen und -bildungen des linken Schultergürtels. Die Skoliose und die Scapula alata sind ein postoperatives Ergebnis der muskulären Asymmetrie. Kosmetische Probleme durch die relativ lange Narbe sind ebenfalls beachtlich. Sensibilitätsstörungen der seitlichen Thoraxwand durch die nervalen Läsionen können den Patienten erheblich beeinträchtigen. Insgesamt hat Emmel in seiner Arbeit festgestellt, dass durch die posterolaterale Thorakotomie, sei sie rechts- oder linksseitig angelegt, 80% der operierten Kinder mit Schulteraffektionen zu leben hatten [15].

Diese Ergebnisse bilden die Grundlage unserer hier vorgestellten Untersuchungen. Wir entwickelten die streng dorsale Thorakotomie, die nur sehr wenige Läsionen hervorruft. In unseren Untersuchungen zeigten nur 40% der dorsal operierten Patienten Fehlstellungen.

Im Gegensatz dazu wiesen die posterolateral Operierten zu 57% Fehlstellungen im linken Schultergürtel auf. Durch die geringe Fallzahl in Gruppe 2 ist dieses Ergebnis statistisch nicht signifikant. Im Vergleich zu den Untersuchungen von Emmel zeigt die dorsale Thorakotomie im Bezug auf die gleichen Untersuchungsparameter das bessere Ergebnis.

Cherup beschrieb 1986 eine Untersuchung an 28 Patienten, bei denen angeborene Herzvitien korrigiert wurden. Die gewählten Zugangswege waren die posterolaterale und die anterolaterale Thorakotomie. Dabei wurde bei beiden Zugängen der Schnitt auf Höhe des dritten oder vierten Interkostalraums durchgeführt. Cherup untersuchte die Volumina der Brust und der Pectoralmuskulatur. Ergänzt wurde dies mit einer vergleichenden Messung der Thoraxasymmetrie beider Seiten. Bei 60% der Patienten traten Malformationen der Brust und der Pectoralmuskulatur nach der anterolateralen Thorakotomie auf, wie sie auch Metras erwähnte. Die Differenz der Volumina beider Seiten betrug bis zu 20% [12].

Frola zeigte 1995 neben den erwähnten Komplikationen auch eine Atrophie der Thoraxmuskulatur bei Patienten nach einer posterolateralen Thorakotomie. Mit Hilfe der Computertomographie untersuchten sie 58 Patienten, davon 40 nach einer posterolateralen Thorakotomie und 18 nach einer anterolateralen Thorakotomie. Er kam zu dem Ergebnis, dass bei 40 Patienten eine Atrophie des M. latissimus dorsi und des unteren Anteils des M. serratus anterior auftrat. Die Atrophie trat bei allen Patienten nach posterolateraler Thorakotomie auf und nur bei 2 Patienten mit anterolateraler Thorakotomie. Die CT-Untersuchungen belegen, dass der posterolaterale Zugang der komplikationsreichere ist [17].

In einer retrospektiven Studie von Kauppila von 1996 wurde die iatrogene Paralyse des M. serratus anterior bei 26 Patienten erwähnt. Als Spätsymptome trat bei 81% der Patienten die Unfähigkeit auf, schwere Gegenstände zu heben. 58% der Patienten waren nicht in der Lage, Sport zu betreiben. 14% der Patienten konnten nicht mehr mit den Händen über dem Schulterlevel arbeiten. Kauppila kam zu dem Schluß, dass der Grund hierfür in der Parese des M. serratus anterior, nach lokal invasiven Eingriffen an der lateralen Thoraxwand, liege. Auf lange Sicht tritt eine Dysfunktion des Schultergürtels bzw. der ganzen oberen Extremität auf. Nicht nur die Chirurgie stellt eine Gefahr für den Nervenstrang dar, sondern auch die Lagerung kann durch starke Zug- und Kompressionskräfte in der posterolateralen Seitenlagerung den Gefäß-Nervenstrang der seitlichen Thoraxwand gefährden. Durch seine frei zugängliche Lage unterhalb der

Achselhöhle im Bereich der 8. bis 9. Rippe ist der N. thoracicus longus durch eine posterolaterale Thorakotomie leicht zu verletzen [27].

Neben all den muskulären und nervalen Komplikationen treten nach der Standardthorakotomie auch kosmetische Komplikationen auf. Die Keloidbildung gilt als Spätkomplikation, die von den Patienten als sehr störend empfunden wird [42].

Im Jahre 1998 stellten Salazar et al. das Risiko der Verletzung des Nervus thoracicus longus während einer transaxillären Thorakotomie, einer video-assistierten Thorakoskopie beim Platzieren einer Thoraxdrainage oder während einer Resektion der ersten Rippe heraus. Die Untersuchung wurde an achtzehn adulten Leichen in Maryland durchgeführt. Diese Leichen wurden seitlich lateral gelagert wie die Patienten zu einer transaxillären Thorakotomie. Dabei stellten sie genau den Verlauf des Hautschnittes, die Freilegung des M. latissimus dorsi, des M. serratus anterior und den Verlauf des Nervus thoracicus longus dar. Anhand von Abstandsmessungen des lateralen Scapularands zum Verlauf des Nerven konnte Salazar belegen, dass bei einer transaxillären, und vor allem bei einer posterolateralen Thorakotomie das Risiko einer Destabilisierung der Schulter oder einer Scapula alata, durch eine mangelnde Fixation der Scapula vor der Operation erheblich erhöht ist. Bei der Standardthorakotomie sollte der Schnitt so distal wie möglich erfolgen, um die unteren Anteile des Serratus zu erhalten. Je stärker der ipsilaterale Arm bei der Lagerung vom Körper gestreckt wird, um so näher rückt die Scapula zum N. thoracicus longus und um so größer wird die Gefahr einer Durchtrennung desselben [48]. Diese Arbeit stellte die zweite Grundlage für die Entwicklung einer neuen schonenden Zugangsmethode, der streng dorsalen Thorakotomie, für uns dar. Salazar verdeutlichte eindrucksvoll wie wichtig die Schonung des M. serratus und des N. thoracicus longus für die Stabilität der Schulter ist. Operationsmethoden wie die bisherigen Standardverfahren berücksichtigen diese Problematik nicht.

1999 stellten Mouton et al. eine prospektive Studie vor, in der die funktionellen Ergebnisse nach Durchtrennung oder Schonung des M. serratus anterior bei der posterolateralen Thorakotomie untersucht wurden. Schlussfolgerung war, dass der M. serratus anterior nahe an seinem Ursprung inzidiert werden sollte, um eine bessere Sicht im Operationsgebiet zu erhalten [40]. Aus unserer Sicht wäre aber die Schonung der Muskelanteile wichtig, um die stabilisierende Funktion des Muskels zu gewährleisten. Eine gute Operationsübersicht ist durch die streng dorsale Thorakotomie gegeben und gleichzeitig bleibt die Funktion der Muskulatur des Schultergürtels erhalten.

#### **4.2 Modifizierte Thorakotomien, komplikationsärmere Alternativen**

Schon im Jahre 1976 veröffentlichte Mitchell eine Studie über eine vereinfachte laterale Thoraxeröffnung. Diese Zugangsmethode schont ebenso wie die mediane Sternotomie große Muskelanteile und vermindert dadurch die postoperativen Komplikationen. Weitere Vorteile der Methode liegen in der einfacheren Eröffnung und Verschlusstechnik des Thorax, sowie der guten Übersicht im Operationsgebiet [39].

Kyoku stellte im Jahre 1989 eine Methode der Thorakotomie zur Korrektur eines persistierenden Ductus arteriosus Botalli im Kindesalter vor, welche Komplikationen in der postoperativen muskulären Entwicklung vermindern sollte. Sie wählten eine axilläre vertikal verlaufende Thorakotomie, die zum einen den M. pectoralis, der in der anterolateralen Technik inzidiert wird, und zum anderen den M. latissimus dorsi, der bei der posterolateralen Technik in der Schnittführung liegt, ausspart. Nach Mobilisation und Incision des M. serratus anterior wurde durch die axilläre Portion des 3. Intercostalraumes in den Thorax eingegangen. Kyoku hob die gute Übersicht im Operationsfeld und die größere Sicherheit, als bei der Standardmethode, hervor [31]. Mit der Technik von Kyoku wird allerdings der von uns für wichtig angesehene M. serratus anterior nicht geschont. Leider wurde in dieser Studie über keine Nachuntersuchungen berichtet, die den Effekt der Verletzung oder Schonung oben genannter Muskeln belegen könnten. Damit konnte keine Aussage über die Stabilität des Schultergürtels, die vor allem in der regelrechten Funktion des M. serratus anterior in der Zeit nach der Korrekturoperation begründet liegt, getroffen werden.

1991 veröffentlicht Hazelrigg eine Arbeit über die Effektivität der „muskel-aussparenden“ Thorakotomie im Vergleich zur posterolateralen Thorakotomie. Bei 50 Patienten wurden postoperative Schmerzen, die Lungenfunktion, die Kraft der Schulter und der Grad der Schulterbeweglichkeit zwischen beiden Methoden verglichen. Die „muskel-aussparende“ Technik verursachte signifikant weniger postoperative Schmerzen. Die Kraft in der Schulter verminderte sich bei der Standardthorakotomie innerhalb einer Woche, wohingegen es bei der „muskel-aussparenden“ Thorakotomie kaum Veränderungen gab. Hazelrigg zeigte damit, dass die „muskel-aussparende Thorakotomie“, welche die wichtige Schultergürtelmuskulatur schont, eine gute Alternative zur Standardmethode darstellt [22].

Ein Jahr später berichtete Karwande über die vereinfachte „muskel-aussparende“ Thorakotomie als guten Zugang zur Ligatur des persistierenden Ductus Botalli bei Neugeborenen. Die Vorteile lagen in der exzellenten Übersicht für die Ligatur des Ductus, dem guten kosmetischen Ergebnis und den geringen postoperativen Schmerzen, aufgrund der Schonung von M. latissimus dorsi und M. serratus anterior [26].

Malczewski zeigte 1994 in seiner Arbeit über die Latissimus-schonende Thorakotomie einen interessanten Ansatz. Durch die herkömmliche Technik, der posterolateralen Thorakotomie, wird der M. latissimus dorsi durchtrennt und es resultiert eine postoperative funktionelle Schädigung des Muskels. Damit steht dieser Muskel in Zukunft nicht mehr für Thoraxrekonstruktionen zur Verfügung. Neben der erhaltenen Funktion des Muskels beschrieb Malczewski weitere Vorteile. Es resultieren weniger postoperative Schmerzen und ein besseres kosmetisches Ergebnis, da der subcutane Wulst, wie er für die Standardthorakotomie charakteristisch ist, vermieden wird [36].

1996 stellte Carbognani bei 16 Patienten nach posterolateraler Thorakotomie die Gefährdung und die Schädigung des M. serratus anterior mit einer elektromyographischen Untersuchung dar. Mit dem alternativen Verfahren der „muskel-aussparenden“ Thorakotomie, in welcher der Serratus geschont wird, zeigten 20% der Patienten keinerlei neurologische Schäden im EMG und keine Scapula alata. 65% der Patienten hatten mittelgradige neurologische Schädigungen, nur ein Patient wies eine Scapula alata auf. Bei den verbliebenen 15% der Patienten wurden nur milde elektromyographische Auffälligkeiten ohne klinisches Korrelat nachgewiesen. Damit ergab sich die Schlussfolgerung, dass eine M. serratus-schonende Thorakotomie weniger Spätkomplikationen nach sich zieht als der Standardzugang [11].

Wie Carbognani verglich Landreneau 1996 die akuten und chronischen Nachwirkungen der posterolateralen und der „muskel-aussparenden“ Thorakotomie. Es wurden 148 Patienten durch die „muskel-aussparende“ und 187 Patienten durch die posterolaterale Thorakotomie operiert. Nach einem Jahr war das Auftreten postoperativer Schmerzen und Schulterdysfunktionen in beiden Patientengruppen ähnlich häufig. Landreneau schlossfolgte daraus, dass die „muskel-aussparende“ Thorakotomie, welche die Thoraxmuskulatur schone, als eine gute Alternative zur Standardthorakotomie angewendet werden könnte. Den Vorteil sah er darin, dass diese Muskeln eventuell zukünftig als rotierende Muskellappen für plastische Operationen zu Verfügung stünden [34].

Zu ähnlichen Ergebnissen kam Jawad 1997 in einer retrospektiven Studie an insgesamt 38 Neugeborenen [24].

Benedetti analysierte in einer Arbeit aus dem Jahre 1998 den Verletzungsgrad der Interkostalnerven bei der posterolateralen und der „muskel-aussparenden“ Thorakotomie. Die posterolateral operierten Patienten wiesen eine größere Schädigung der Interkostalnerven, eine größere Reduktion der Amplitude der somatosensorisch evozierten Potentiale und einen größeren Anstieg der elektrischen Reizschwelle für Tastsinn und Schmerz auf. Diese Ergebnisse korrelierten mit stärkeren, persistierenden postoperativen Schmerzen. Benedetti folgerte hieraus für die „muskel-aussparende“ Thorakotomie geringere postoperative Schmerzen aufgrund des geringeren Nervenschadens, welcher mit der Stärke und der Dauer der postoperativen Schmerzen korrelierte. Neben diesen Ergebnissen beschrieb Zonüzi in einem Kommentar zur Studie von Benedetti noch weitere Vorteile der „muskel-aussparenden“ Thorakotomie: Ein kürzerer Hautschnitt, die Schonung des M. latissimus dorsi und die Incision des Serratus anterior möglichst an dessen Rippen-Ursprüngen. Zusätzlich hob er hervor, dass auch die Schädigung der innervierenden Nerven der Thoraxwand und die Nocizeptoren der Haut entscheidend zur Schmerzproblematik beitragen [5].

1998 stellte Sadighi mit der „muskelteilenden Thorakotomie“ eine weitere Alternative zur posterolateralen Standardthorakotomie vor. Durch diese Technik werden die Muskeln und Nerven geschont, so dass postoperativ keine Muskelspasmen und Schmerzen auftreten und die komplette Funktionalität des M. latissimus dorsi erhalten bleibt. Zusätzliche Vorteile liegen in der verkürzten Operationszeit, dem schnellen und einfachen Verschluss der Operationswunde und der guten Übersicht [46]. Ähnliches hält Shivaprakasha 1999 fest. Er verwendete zur Korrektur verschiedener Herzfehler bei 27 Patienten eine verkürzte posteriore Thorakotomie. Neben den Vorteilen, die Sadighi beschrieb, liege der Vorteil in der kürzeren Narbe und der Lokalisation der Narbe auf dem Rücken. Wichtig sei auch, dass keine Malformationen in der Brustentwicklung und des Wachstums des Pektoralismuskels aufträten. Insgesamt sei das kosmetische Ergebnis besser als bei der posterolateralen Standardthorakotomie [50].

Aus unserer Sicht sind diese Methoden sicherlich eine gute Alternative bezüglich des Zugangsweges zur Korrektur angeborener Herzfehler. Doch hier finden die langfristigen postoperativen Komplikationen der Schulterbeweglichkeit, die vor allem in der

Verletzung des M. serratus anterior und des N. thoracicus longus herrühren, keine Berücksichtigung.

Aus dem Deutschen Herzzentrum Berlin wurde von Bauer im Jahr 2000 eine Studie über „wenig- invasive“ Zugänge wie die rechtsseitige anterolaterale Thorakotomie und die untere partielle Sternotomie zur Korrektur kongenitaler Herzfehler vorgestellt. Diese Techniken wurden aufgrund der immer wichtiger werdenden Kosmetik und rascheren postoperativen Erholung in den letzten Jahren entwickelt. Bauer konnte zeigen, dass die weniger invasiven Techniken eine gute Alternative, mit weniger Komplikationen, zu den Standardmethoden darstellen [2].

Bauer berücksichtigt in dieser Studie leider auch nur die direkte postoperative Entwicklung und die oberflächliche Kosmetik. Auf die wichtige muskuläre und nervale Entwicklung nach postero- oder anterolateraler Thorakotomie wird nicht eingegangen.

Khan stellte 2000 die Wundentwicklung zweier Thorakotomiemethoden vor. 10 Patienten wurden durch eine Thorakotomie im „auskultatorischen Dreieck“ (TAD) und 10 Patienten durch eine posterolaterale Thorakotomie operiert. Verglichen wurden die postoperative Stärke des M. latissimus dorsi, der postoperative Schmerz und die chronischen Wundsymptome beider Techniken. Es ergaben sich keinerlei Unterschiede zwischen beiden Gruppen in der Schwere und Länge des postoperativen Verlaufs. Khan stellte auch eine biomechanische Analyse der Muskelkraft und des postoperativen Schmerzes und der Symptome, bezogen auf die Wundheilung, dar. Die Schulterkraft war bei der TAD um 24% größer als bei der Standardthorakotomie. Khan schlussfolgerte, dass die TAD eine gute und vor allem muskelschonende Alternative sei, auch wenn sich keine Verbesserung der direkten postoperativen Symptomatik, wie Schmerzen und Wundheilung, ergeben haben [28]. Entscheidend in dieser Studie war die Schonung der Muskulatur als wichtiger Aspekt zur Etablierung einer neuen Operationsmethode.

Kutlu führte 2001 eine Untersuchung über die Kraft des Schultergürtels nach der Standardthorakotomie im Vergleich zu einer muskel-schonenden Thorakotomie an 20 Patienten durch. Die eine Gruppe erhielt eine muskel-schonende Thorakotomie, die zwischen dem M. latissimus dorsi und dem M. serratus anterior im fünften Interkostalraum durchgeführt wurde, die zweite Gruppe eine Standardthorakotomie. Nach Testung der Kraft im Schultergürtel in Form von Adduktions- und Abduktionsbewegungen des ipsilateralen Armes zeigte sich, dass die Kraft 3 Monate postoperativ signifikant geringer war nach posterolateraler Thorakotomie als bei der muskel-schonenden Thorakotomie. Das

gleiche gilt auch bei der Prüfung der Kraft bei der Schulteradduktion [30]. Kutlu zeigt in dieser Studie wiederum, sowie Emmel 5 Jahre zuvor, wie wichtig die Schonung der Nervenstränge und der von ihnen innervierten schulterstabilisierenden Muskeln in der postoperativen Entwicklung ist.

### **4.3 Die streng dorsale Thorakotomie, Minimierung postoperativer Komplikationen**

Aus den oben vorgestellten Arbeiten ist ersichtlich, dass in der postoperativen Entwicklung, im Zusammenhang mit der postoperativen Schmerzproblematik, der kosmetischen Beeinträchtigung, den Sensibilitätsstörungen und vor allem den muskulären und motorischen Alterationen im Schultergürtel nach Eingriffen am seitlichen Thorax, mit erheblichen Problemen zu rechnen ist. Deshalb sind in den letzten 2 Jahrzehnten viele Untersuchungen über die postoperativen Komplikationen der einzelnen Zugangstechniken und deren Modifikationen vorgestellt worden. Das gemeinsame Ziel lag in der Verbesserung der kurz- oder langfristigen postoperativen Entwicklung. Vor allem aus den Arbeiten von Emmel und Salazar geht deutlich hervor, dass die posterolaterale Thorakotomie besonders die Funktionalität des linken Schultergürtels beeinträchtigt. Wie oben bereits angesprochen, liegt dies an der Verletzung der Muskelgruppen, welche die Scapula stabilisieren, und an der Verletzung des Gefäßnervenstranges der seitlichen Thoraxwand.

Auch die neuen Variationen und Modifikationen der posterolateralen Thorakotomie brachten keine durchschlagenden Veränderungen im chirurgischen Vorgehen und den zu erwartenden Komplikationen. Kritisch muss man bei den meisten hier vorgestellten Studien anmerken, dass Nachuntersuchen bezüglich der langfristigen Schulterfunktionalität nur in einzelnen Fällen durchgeführt worden sind. Die meisten Autoren beschränkten sich auf früh postoperative Probleme, wie den Schmerz oder den kosmetischen Aspekt, ließen aber die Muskelaaffektionen im Schultergürtel außer Acht.

Unserer Ansicht nach wird die Problematik durch Emmel deutlich aufgezeigt. Alle Modifikationen der Standardthorakotomie wie die „muskel-aussparende, muskel-teilende oder minimierte laterale Thorakotomie“ führen immer noch zu Verletzungen der wichtigen Schultergürtelmuskulatur, oder ihrer Gefäß-Nerven-Versorgung. Dies zwar in geringerem

Umfang als bei der Standardmethode, doch sind die postoperativen Komplikationen immer noch vorhanden. Wir haben mit der „Streng dorsalen Thorakotomie“ eine Methode entwickelt, welche sämtliche die Scapula stabilisierende Muskulatur sowie den entsprechenden Gefäßnervenstrang an der lateralen Thoraxwand komplett schont. Die Hautinzision beginnt linksseitig auf Höhe der Scapulaspitze und endet zwischen Scapula und Wirbelsäule in Höhe des 3. Interkostalraumes. Dort wird die Muskelloge zwischen Rhomboideus, Trapezius und Latissimus aufgesucht und das Bindegewebe zwischen den Muskeln durchtrennt. Dann wird vorsichtig durch den 3. ICR hindurch bis zur Aorta ascendens präpariert, um den persistierenden Ductus arteriosus oder die Aortenisthmusstenose darzustellen. Durch diesen Zugang hat man ein übersichtliches Operationsfeld und es können Standardinstrumente verwendet werden.

Es wurden insgesamt 40 Patienten, die zwischen 1986 bis 1998 durch eine linksseitige streng dorsale Thorakotomie operiert wurden, untersucht. Weitere 7 Patienten wurden über eine posterolaterale Thorakotomie operiert. Beide Patientengruppen wurden von uns nachuntersucht. Nach der operativen Korrektur eines persistierenden Ductus arteriosus und einer Aortenisthmusstenose traten bei 42 Patienten (96%) keine signifikanten Unterschiede in der Entwicklung der oberen Extremität und der kardiovaskulären Parameter, wie der Blutdruck an beiden Extremitäten, auf. Diese Ergebnisse zeigen, dass die chirurgische Korrektur angeborener Herzfehler eine erfolgreiche Therapie mit guter Prognose auf kardiovaskuläre Folgeschäden darstellt. Man kann davon ausgehen, dass die postoperative Entwicklung der operierten Kinder im Vergleich zu gleichaltrigen gesunden Kindern kaum eingeschränkt ist. Wie schon *Gross* 1952 zeigte, bleiben nicht-operierte Kinder mit persistierendem Ductus in ihrer Entwicklung gegenüber gesunden Gleichaltrigen zurück. Im Erwachsenenalter sind sie deutlich in ihrer körperlichen und geistigen Leistungsfähigkeit eingeschränkt [20].

Bezüglich des kosmetischen Aspektes der Narbe zeigt sich ein deutlicher Vorteil der streng dorsalen Thorakotomie. Die Narbe der dorsalen Thorakotomie ist mit  $97 \pm 27$  mm kürzer als die der posterolateralen Thorakotomie mit  $123 \pm 22$  mm. Deformitäten und Asymmetrien im Gesamtbild des Rückens durch die Narbe ergaben sich hauptsächlich durch die posterolaterale Technik. Der Parameter der Keloidbildung ließ sich nicht verwerten, da er bei beiden Techniken zu beobachten war und es keinen signifikanten Unterschied zu erheben gab.

Nach Metras war schon die Verlagerung der posterolateralen Schnittführung nach posterior ein kosmetischer Erfolg. Auch Shivaprakasha und Cherup erkannten diesen Vorteil, vor allem aufgrund der Schonung der pektoralen Anteile der lateralen Thoraxwand. Auch Karwande hob das gute kosmetische Ergebnis ihrer „muskel-aussparenden“ Thorakotomie hervor, welches dank der verkürzten Schnittlänge und der geringeren Läsion der subkutanen Muskulatur zustande kam. Wie bereits erwähnt, konnte auch Malczewski durch die „Latissimus-schonende Thorakotomie“ die subkutane Wulstbildung, die für die Standardthorakotomie charakteristisch ist, vermeiden. Anhand dieser Studien kommen wir zu dem Schluß, dass die dorsale Thorakotomie mit ihrer kurzen Schnittlänge und ihrer kompletten Muskelschonung die besten Voraussetzungen für ein gutes kosmetisches Ergebnis hat.

Die entscheidenden Befunde ergaben sich aus der Untersuchung der motorischen Funktion des Schultergürtels. Funktionelle Tests und Tests in Ruhe bei hängenden Armen im Stehen im Bezug zur Stellung des linken Schulterblattes wurden ausgewertet. Anschließend wurden die Patienten anhand des Operationsalters und der beiden Operationsmethoden, der streng dorsalen Thorakotomie und der posterolateralen Thorakotomie bezüglich aufgetretener Alterationen im Schultergürtel postoperativ verglichen. Insgesamt wiesen bei den dorsal operierten Kindern 40 % und bei den posterolateral operierten Patienten 57% der Patienten Alterationen im Schultergürtel auf. Diese Unterschiede traten vor allem bei den funktionellen Tests auf. Die auf Grund dieser Tests erstellte Klassifikation zeigte bei 60 % der streng dorsalen Thorakotomien und 43% der posterolateralen Thorakotomien keine Fehlstellungen der Schulter. Wir kamen zu dem Schluß, dass die streng dorsale Thorakotomie eine potentiell bessere Alternative als Zugangsweg zur Korrektur angeborener Herzfehler gegenüber den Standardverfahren darstellt, zumal in der Studie von Emmel [15] bis zu 80% der posterolateral operierten Kinder Schulteraffektionen aufwiesen. Aufgrund der fehlenden statistischen Signifikanz im Vergleich beider Methoden können wir nur festhalten, dass die dorsale Thorakotomie eine sinnvolle Alternative darstellt. Die fehlende statistische Signifikanz ist vor allem in den unterschiedlichen Gruppengrößen begründet. Uns erscheint es daher sinnvoll, eine prospektive Untersuchung mit standardisierten Gruppengrößen durchzuführen, um ein Signifikanzniveau zu erreichen.

Wie Emmel haben auch wir die Patienten anhand des Alters zum Operationszeitpunkt unterteilt und zu dem Schweregrad der Schulteraffektionen in Bezug gesetzt. Emmel kam

zu dem Ergebnis, dass das chirurgische Trauma im Neugeborenenalter schwerer wiegt als im Kleinkindalter. Dieses Ergebnis konnten wir bei posterolateral operierten Patienten bestätigen. Bei Kindern, die vor Ende des 1. Lebensjahres einer streng dorsalen Thorakotomie unterzogen wurden, kamen wir zu einem anderen Ergebnis. Die im Neugeborenenalter operierten Kinder zeigten nur in 19% der Fälle eine signifikante Fehlstellung der linken Scapula. Nach dem 1. Lebensjahr operierte Kinder zeigten zu 54% eine signifikante Fehlstellung der linken Scapula. Der Unterschied zum Operationszeitpunkt ist signifikant. Der frühe Operationszeitpunkt ist somit günstiger für die postoperative Entwicklung des Kindes. Aufgrund der lebensbedrohlichen kardialen Situation kann der Operationszeitpunkt selten elektiv gewählt werden. Die streng dorsale Thorakotomie stellt somit bei einem frühen Operationszeitpunkt, also noch vor Beendigung des 1. Lebensjahres, keinen Nachteil für die postoperative Entwicklung dar.

Wie oben bereits ausführlich beschrieben, sei an dieser Stelle noch einmal die herausragende Rolle des M. serratus anterior neben dem M. trapezius, M. rhomboideus und M. latissimus dorsi für die Stabilität der Scapula angesprochen. Durch die posterolaterale Thorakotomie wird der Serratus verletzt und damit die Folgeschäden im Schultergürtel der Patienten initiiert. Zahlreiche Autoren haben erkannt, dass die Schonung des M. serratus ant. und des M. latissimus dorsi der geeignete Weg zur Vermeidung von postoperativen Fehlstellungen darstellt. Doch auch deren modifizierte Zugangsmethoden im Rahmen der posterolateralen Thorakotomie haben unserer Ansicht nach nicht den gewünschten Erfolg zur Reduzierung der muskulären und motorischen Problematik erbracht, da diese Methoden aufgrund ihrer Nähe zum N. thoracicus longus und zum M. serratus ant. als potentiell invasiv anzusehen sind.

Die streng dorsale Thorakotomie hingegen vermeidet Affektionen der Muskulatur der seitlichen Thoraxwand und deren Nervenversorgung.

Als letztes sei noch das gute neurologische Ergebnis in unserer Studie erwähnt. Die Sensibilität im Bereich der Operationsnarbe und im Versorgungsgebiet des N. thoracicus longus ist bei beiden Patientengruppen kaum beeinträchtigt. Es ließ sich kein signifikanter Unterschied feststellen, was jedoch an der geringen Patientenzahl der Gruppe der posterolateral operierten Patienten begründet liegt. Aber auch hier zeigte die streng dorsale Thorakotomie, wie erwartet, ein tendenziell besseres Ergebnis. 90 % der Patienten hatten keinerlei sensible Ausfallserscheinungen oder Parästhesien. Auch dieses Ergebnis spricht

für die Schonung von Nerven und Muskulatur im Rahmen der streng dorsalen Thorakotomie.

#### **4.4 Alternative Therapien zur Korrektur eines persistierenden Ductus arteriosus Botalli und einer Aortenisthmusstenose ohne Thorakotomie**

Neben den oben vorgestellten Möglichkeiten der chirurgischen Zugangswege zur Korrektur angeborener Herzfehler existieren medikamentöse, interventionelle und minimalinvasive Alternativen.

Nachdem im Jahre 1976 *Heymann* die Rolle der Prostaglandine für den postpartalen Verschluss des Ductus arteriosus Botalli entdeckt hatte, konnten auch diese zur therapeutischen Intervention eines persistierenden Ductus eingesetzt werden. *Brezinka* erkannte 1993 die konstriktorische Wirkung von Indometacin, welches präpartal zur Tokolyse bei Frühgeburtlichkeit eingesetzt wurde. Unter doppler-sonographischer Kontrolle konnte *Brezinka* die konstriktorische Wirkung von Indometacin auf den fetalen Ductus arteriosus bewiesen werden[8].

Diese Methode hat bei der Behandlung Frühgeborener eine weite Verbreitung gefunden. Im Gegensatz zur chirurgischen Therapie sind die Ergebnisse der Indometacintherapie sehr unterschiedlich in der Literatur beschrieben. Bei intravenöser Applikation liegt die Erfolgsrate bei 75-96%. Dies hängt vom postnatalen Alter bei Therapiebeginn, von der Frühgeburtlichkeit und von der Flüssigkeitszufuhr ab. Nachteil dieser Therapie sind die Nebenwirkungen der Indometacintherapie wie Einschränkung der Nierenfunktion und Ödembildung. Über die Hemmung der Thromboxan-A<sub>2</sub>-Synthese kommt es zur Verlängerung der Blutungszeit, was die Inzidenz periventrikulärer Blutungen und Malazien der Frühgeborenen noch weiter erhöht. Die durch den persistierenden Ductus bedingte Minderperfusion des Darms wird durch Indometacin weiter verschlechtert, was zur nekrotisierenden Enterokolitis führen kann. Ein weiterer Nachteil ist das geringe Ansprechen des Ductus auf Prostaglandinsynthesehemmern bei Reifgeborenen. Hier sollte deshalb operativ oder mittels Kathetertechnik interveniert werden [42]. Bei Frühgeborenen ist heutzutage die Indometacin- Therapie die Methode der ersten Wahl. Nur bei Nicht-Ansprechen der Therapie oder bei Kontraindikationen, wie eine bestehende Sepsis oder eine nekrotisierende Enterokolitis wird die Indikation zur Operation gestellt. Die streng

dorsale Thorakotomie wird hierbei an der Uniklinik Würzburg als Zugang routinemäßig angewendet.

Im Jahre 1993 stellte Belau seine Alternative den Ductus arteriosus ohne Thorakotomie zu verschließen vor. Bei 12 Kindern im Alter von 1 bis 10,8 Jahren wurde ein persistierender Ductus arteriosus mit dem Rashkind-Verschlußsystem aus Polyurethan-Schaum verschlossen. Bei Patienten mit einem Körpergewicht unter 5 kg und einem Ductusdurchmesser unter 10 mm ist dieses Verfahren eine schonende Variante zum Verschluß eines persistierenden Ductus. Doch auch Belau räumte ein, daß die Erfolgsrate der chirurgischen Therapie höher liegt [4].

Durch die von uns favourisierte Methode der streng dorsalen Thorakotomie sind kosmetische Probleme weitgehend minimiert worden und die Erfolgsrate des Verschlusses ohne Restshunt und ohne kardiovaskulären Folgen ist hoch. Zudem sind die Indikationen zur chirurgischen Intervention weit weniger eingeschränkt als bei der Rashkind-Methode. In nahezu jedem Patientenalter und fast jeder Ductusgröße konnte chirurgisch erfolgreich korrigiert werden. Auch die schwerwiegende Komplikation der Dislokation des Implantats mit den Folgen der Embolisation ist durch die Thorakotomie nicht gegeben.

Im Jahre 1997 veröffentlichte Beitzke seine Arbeit über die Möglichkeit des Verschlusses des persistierenden Ductus arteriosus mit Hilfe von ablösbaren Spiralen. Der Ductus wurde per Linksherz-, Rechtsherz- oder beidseitigem Katheter verschlossen. Innerhalb von 6 Monaten war bei 94% der Patienten der Ductus verschlossen. Der Nachteil liegt aber in den Spiralen (Coils) selbst. Einmal abgesetzte Coils können nicht mehr anders positioniert werden. Deshalb kann es in einem höheren Prozentsatz zu residuellen Shunts und auch zu Embolisationen, meist in die linke Pulmonalarterie, kommen. Bei großem Ductusdurchmesser scheint der Erfolg des kompletten Verschlusses mit dem gehäuftem Auftreten residueller Shunts nicht gewährleistet. Beitzke verwendete in diesen Fällen dann mehrere hintereinander geschaltete Coils mit einem scheinbar besseren Ergebnis. Bei einem Durchmesser von weniger als 4 mm ist laut Beitzke die Coil-Technik die einfachste, komplikationsärmste und preiswerteste Methode im Vergleich zur Operation und teureren Rashkind-Methode [3]. Bei kleinen persistierenden Ductus- Durchmessern scheint diese Methode eine vielversprechende Alternative zu sein, wird jedoch durch die Ductusgröße und das Patientenalter limitiert. Bei Komplikationen wie Dislokation der Spiralen oder Embolisation muß letztlich chirurgisch interveniert werden. Nachdem wir einen erheblichen Teil der postoperativen Komplikationen mit der dorsalen Thorakotomie im

Frühgeborenenalter verringert haben, erscheint uns die Operation als effektivste und sicherste Variante zur Korrektur eines persistierenden Ductus arteriosus Botalli.

Eine ähnliche Alternative hat Gildlein 1999 vorgestellt. Auch er verwendete sogenannte Gianturco-Spiralen, welche mittels Kathetertransport zum Verschluß des persistierenden Ductus eingebracht werden. Gildlein kam zu dem Ergebnis, dass diese Methode insbesondere bei kleinen Ductusdurchmessern eine schnelle und kostengünstige Technik darstellt [18], jedoch nur bei einer bestimmten Ductusgröße anwendbar und noch mit einer hohen Embolisationsrate behaftet ist.

In den letzten Jahren wurden zunehmend auch chirurgische, minimalinvasive Techniken zur Korrektur angeborener Herzfehler entwickelt. So auch die von Laborde im Jahre 1995 und 1996 vorgestellte video-assistierte thorakoskopische (VATS) Korrektur des persistierenden Ductus arteriosus Botalli. Alle Patienten erhielten eine Unterbindung des Ductus mit 2 Clips aus Titan. Einige Patienten wiesen hinterher immer noch einen persistierenden Ductus auf, was durch eine falsche Platzierung der Clips verursacht wurde. Bei anderen Patienten mußte umgehend eine Repositionierung der Clips erfolgen. Eine weitere Komplikation war eine Dysfunktion des N. laryngeus recurrens. Laut Laborde erreichte seine thoroskopische Technik die gleiche Erfolgsrate wie der Verschluß durch Thorakotomie mit dem Vorteil der minimalinvasiven Handhabung. Den Erfolg des sicheren Verschlusses führte Laborde auf die beidseitige Clipanlage am persistierenden Ductus zurück. Vor allem bei großem Ductusdurchmesser bleibt oft ein Restshunt bestehen, der dann chirurgisch saniert werden muß. Dies ist ein großer Nachteil der VATS. Die einzigen Kontraindikationen der Methode bestünden laut Laborde in einem Ductusdurchmesser über 9 mm oder einer Kalzifizierung des Ductus. Ansonsten könne man die VATS in jedem Alter, also auch bei Frühgeborenen anwenden [33,34]. Der Hauptnachteil der VATS wie es Laborde selbst und die Kollegen Burke und Mavroudis beschreiben, besteht in der Verletzung des N. laryngeus recurrens. Mavroudis bevorzugt daher die Thorakotomie. Bei 1108 operierten Patienten traten nur in 1,2% der Fälle Paralysen des Nervs im Rahmen der Thorakotomie gegenüber 2,4 % bei der VATS auf. Auch das Argument der kurzen Dauer des Krankenhausaufenthaltes entkräftet Mavroudis. Nach der Thorakotomie war diese nicht länger als nach VATS.

In der Gesamtschau stellt sich auch die VATS nicht als die bessere Alternative zur Thorakotomie dar. Diese Technik ist mit einem erheblichen Aufwand an Sachkosten verbunden, muß speziell geschult werden und stellt eine logistische Herausforderung dar,

da die zumeist sehr jungen Patienten, zumeist Frühchen, mit einem erhöhten Transportrisiko in eine thorakoskopische Einheit verbracht werden müssen. Zudem treten spezifische Komplikationen, wie erhöhte N. recurrens-Läsionen, im Vergleich zum Standardverfahren auf. Nach den Ergebnissen unserer Studie mit geringen peri- und postoperativen Komplikationen ist die Korrektur des persistierenden Ductus arteriosus Botalli mit Hilfe der streng dorsalen Thorakotomie aus unserer Sicht die sicherste Alternative für den Patienten, kostengünstig und patientennah (z.B. neonatologische Intensivstation) durchzuführen.

Im selben Jahr wie Laborde veröffentlichte Rothenberg eine Studie über die Effizienz der Thorakoskopie. Durch die VATS werden persistierende muskulo-skelettale Fehlbildungen, vor allem bei Neugeborenen aufgrund des minimalinvasiven Zugangs vermieden. Weitere Vorteile sind die gute OP-Übersicht und die hohe Erfolgsrate durch die Anwendung von Titan-Clips. Zusammenfassend sah Rothenberg die Vorteile in der Kosteneffektivität, der guten Übersicht, der geringen Dissektion, des suffizienten Verschlusses des Ductus und der Anwendbarkeit bei Frühgeborenen. Der einzige große Nachteil sei, dass mit der Thorakoskopie stärkere Blutungen intraoperativ nicht kontrolliert werden könnten, und deshalb eine Umwandlung zur Thorakotomie erforderlich sei [45].

Laborde, Rothenberg und Inaka mit ihren minimal-invasiven Techniken, Emmel mit seiner Studie über die Schulterfunktion nach posterolateraler Thorakotomie und auch wir in unserer Studie verdeutlichen die Problematik der posterolateralen Zugangstechniken. Das Ziel, postoperative Funktions- und Halteschäden mit verschiedensten Techniken zu minimieren, ist bis heute gleich geblieben. Die streng dorsale Thorakotomie erreicht nach unserer Ansicht dieses Ziel am ehesten.

Nichtchirurgische (interventionelle) Methoden wurden in den letzten Jahren zur Korrektur der Aortenisthmusstenose angewandt. Fletcher stellte im Jahre 1995 eine Studie über die Ballonangioplastie der angeborenen Aortenisthmusstenose mit den zugehörigen Prognosefaktoren vor. Zusammenfassend kommt Fletcher zu dem Schluß, dass die Ballonangioplastie zur Korrektur der angeborenen Aortenisthmusstenose eine sehr effektive Methode bei Säuglingen und älteren Kindern sei, aber bei Neugeborenen nur einen palliativen Charakter besäße. Die Gefahr der Ausbildung eines Aortenaneurysmas sei sehr selten [16]. In unserer Nachuntersuchung von 7 Patienten, die im Neugeborenenalter an einer Aortenisthmusstenose operiert worden sind, zeigte nur 1 Patient nach 7 Jahren einen Druckgradient zwischen beiden Armen von mehr als 20 mmHg, bei

kompletter Asymptomatik. Wir stimmen mit Fletcher überein, dass die Ballonangioplastie im Neu- und Frühgeborenenalter einen rein palliativen Charakter bei geringer Belastung des Patienten aufweist. Um eine Aortenisthmusstenose in diesem Alter aber kurativ zu behandeln ist die operative Korrektur anzustreben.

## 5. Schlußfolgerung

Unser Patientenkollektiv von 40 Patienten, das durch eine dorsale Thorakotomie operiert wurde wies in 38% der Fälle geringe Fehlstellungen und in nur 3% der Fälle erhebliche Fehlstellungen der Scapula auf. Insgesamt traten bei 60% der Patienten keinerlei Fehlstellungen auf. Besonders deutlich hervorzuheben gilt, dass der frühe Operationszeitpunkt, vor Beendigung des 1. Lebensjahres, im Gegensatz zur posterolateralen Thorakotomie der signifikant günstigere Zeitpunkt ist. Denn nur 19% der zum frühen Zeitpunkt Operierten wiesen Fehlstellungen auf. Bei den nach dem 1. Lebensjahr Operierten zeigten sich dagegen bei 54% der Patienten linksseitige Fehlstellungen der Scapula. Der Zeitpunkt zur Korrektur aufgrund der kardialen Situation der Früh- und Neugeborenen ist meist nicht bestimmbar, so dass in diesem Fall eine dorsale Thorakotomie als Zugangsweg die bessere Alternative ist.

Die in dieser Studie gewonnenen Ergebnisse zeigen zwar statistisch keinen signifikanten Unterschied der streng dorsalen zur posterolateralen Thorakotomie im Bezug auf langfristige postoperative Entwicklungen des Schultergürtels. Entscheidend ist jedoch, dass unsere Methode alle Kriterien zur Schonung der die linke Scapula stabilisierenden Muskulatur erfüllt. Die Fasern der Muskeln Latissimus dorsi, Serratus ant., Trapezius und Rhomboideus werden nicht inzidiert und der N. thoracicus longus wird geschont. Die streng dorsale Thorakotomie stellt mit guten direkten und langfristigen postoperativen Ergebnissen eine sinnvolle Alternative zu den Standardverfahren vor allem im Früh- und Neugeborenenalter dar. Die Anwendung interventioneller Therapien (Ballondilatationen) und minimalinvasiver Methoden (thorakoskopische Eingriffe) haben zum einen insbesondere im Neugeborenenalter lediglich palliativen Charakter bzw. gehen mit einer erhöhten neurologischen Komplikationsrate einher (Schädigung des N. recurrens), so dass auch weiterhin konventionellen chirurgischen Verfahren in Sinne einer definitiven Korrektur bei guten Langzeitergebnissen eine dominante Bedeutung zukommt.

Um die Vorteile der streng dorsalen Thorakotomie gegenüber der posterolateralen Thorakotomie bezüglich kosmetischer und funktioneller Aspekte statistisch signifikant zu beweisen, wären prospektive Studien mit zwei standardisierten Vergleichskollektiven wünschenswert.

## 6. Literaturverzeichnis

1. **Anderson RC, Moller JH:** Ten years and longer follow-up of 1000 consecutive children with cardiac malformations: the university of Minnesota experience. In: England MA, Perloff JK: Congenital heart disease after surgery. Yorke Medical Books, New York (1983) 43-73
2. **Bauer M:** The correction of congenital heart defects with less invasive approaches, Thorac cardiovasc Surg 2000 Apr.48(2)
3. **Beitzke A, Gamillschegg A:** Closure of the persistent ductus with detachable coils, Z Kardiol 1997 Jul. 86(7): 514-20
4. **Belau L, Gravinghoff L:** Verschluss des persistierenden Ductus arteriosus Botalli ohne Thorakotomie, Deutsch. Med Wschr.: 118 (1993), 169-175
5. **Benedetti F:** Neurophysiologic assesement of nerve impairment in posterolateral and muscle-sparing thoracotomy, Thorac Cardiovasc Surg 1998 Apr 115(4): 541-7
6. **Black LL, Goldmann BS:** Surgical treatment of the patent ductus arteriosus in the adult, Ann Surg 175 (1972)
7. **Blalock A:** Operative closure of the patent ductus arteriosus, Surg Gynecol Obstet 82 (1946) 113-114
8. **Brezinka CH:** The fetal ductus arteriosus, A review, Zentralbl Gynaekol 115 (1993) 423-432
9. **Borst HG:** Herzchirurgie 1991
10. **Canarelli JP, Poulain H:** Ligation of the patent ductus arteriosus in premature infants – indications and procedures, Eur J Pediatr Surg 3 (1991) 3-5
11. **Carbognani P:** Electromyographic evaluation of the spared serratus ant. After posterolateral thoracotomy, J Cardiovasc Surg (Torrino) 1996 Oct 37(5): 529-30
12. **Cherup LC:** Breast and pectoral muscle maldevelopment after anterolateral and posterolateral thoracotomy in children, Ann Thorac Surg 1986 May(5)
13. **Derra W: Birts W:** Die Aortenisthmusstenose, Herzchirurgie; Berlin-Heidelberg-New York, Springer 1976 (pp 380-387)
14. **Ebraheim NA:** Vulnerability of long thoracic nerve: an anatomic study, J Shoulder Elbow Surg, 7(5):458-61 1998 Sep-Oct

15. **Emmel M, Ulbach P:** Neurogenic lesions after posterolateral thoracotomy in young children, *Thorac cardiovasc Surg* 44 (1996) 86-91
16. **Fletcher SE:** Ballon angioplasty of native coarction of the aorta, *L Am Coll Cardiol* 1995 Mar 1,25 (3)
17. **Frola C, Serrano J:** CT findings of the atrophy of chest wall muscle after thoracotomy: relationships between muscles involved and type of surgery, *AJR Am J Roentgenol* 1995 Mar, 164(3): 599-601
18. **GildleinHP:** Interventional occlusion of persistent ductus arteiosus Botalli with Gianturco spirals, *Z Kardiol* 1999 Jul, 88(7)
19. **Goodman CE, Kenrick MM:** Long thoracic nerve palsy: a follow-up study, *Arch Phys Med Rehabil* 1975 Aug, (8): 352-8
20. **Gross RE:** The patent ductus arteriosus: observation and tferapy in 525 successful cases, *Am J Med* 12 (1952)
21. **Handbuch der Thoraxchirurgie Bd II 1969**, Hoffmann E, Ductus arteriosus persistens
22. **Hazelrigg SR:** The effect of muscle-sparing versus standard posterolateral thoracotomy and pulmonary function, muscle strength and postoperative pain, *J Thoracic Cardiovasc Surg* 1991 Mar 101(3)
23. **Hoffmann M, Greve H:** Operativer Verschluss des persistierenden Ductus arteriosus bei kleinen Frühgeborenen im Inkubator, *Klin Pediatr* (1991) 203(1)
24. **Jawad AJ:** Experience with modif. posterolat. muscle-sparing thoracotomy in neonates, infants and children, *Pediatr Surg* 1997 Juli, 12(5-6)
25. **Jones JC:** Twenty-five years experience with the surgery of the patent ductus arteriosus, *J Thorac Cardiovasc Surg* 50 (1965) 149-165
26. **Karwande SV:** Simplified muscle-sparing thoracotomy for patent ductus arteriosus ligation in neonates, *Ann Thorac Surg* 54(1): 164-5 1992 Jul
27. **Kauppila LI, Vastamaki M:** Iatrogenic serratus anterior paralysis. Long-term outcome in 26 patients, *Chest* 1996 Jan, 109(1): 31-4
28. **Khan IH:** Muscle-sparing thoracotomy: a biochemical analysis confirms preservation of muscle strength but no improvement in normal discomfort, *Eur Cardiovasc Surg* 2000 Dec; 18(6)
29. **Kirklin:** Cardiac Surgery

30. **Kutlu CA:** Shoulder-girdle strength after standard and lateral muscle-sparing thoracotomy, *Thorac Cardiovasc Surg* 2001, 49: 112-114
31. **Kyoku I, Yokota M:** Axillary vertical incision sparing pectoralis major muscle and latissimus dorsi muscle: an approach for patent ductus arteriosus, *Kyobu Geka* 1989 May, 42(5): 371-3
32. **Laborde F:** Video assisted thoracoscopic surgical interruption: the technique of choice for patent ductus arteriosus. Routine experience in 230 pediatric cases, *J Thorac Cardiovasc Surg* 1995
33. **Laborde F:** Video assisted thoracoscopic surgical interruption: the technique of choice for patent ductus arteriosus. Routine experience in 320 pediatric cases, *J Thorac Cardiovasc Surg* 1996
34. **Landrenau RJ:** Acute and chronic morbidity between muscle-sparing and standard lateral thoracotomies, *J Cardiovasc Surg* 1996 Nov 112(5)
35. **Liu YC:** Repair of cardiac defects through a shorter right lateral thoracotomy in children, *Ann Thorac Surg* 2000 Sep. 70(3)
36. **Malczewski MC, Colony L:** Latissimus-sparing Thoracotomy in the pediatric patient: available asset for thoracic reconstruction, *J Pediatric Surg* 1994 Mar, 29(3): 396-8
37. **Martius G, Rath W:** *Geburtshilfe und Perinatologie*, Thieme-Verlag Stuttgart, New York 1998
38. **Metras D, Liu YL:** Correction of cardiac defects through a right thoracotomy in children (letter), *J Thorac Cardiovasc Surg* 1999 May 117(5): 1040-2
39. **Mitchell R:** Simplified lateral chest incision for most thoracotomies other than sternotomy, *Ann Thorac Surg* 1976 Sep, 22(3): 284-6
40. **Mouton W, Fischer G:** Is the function of the serratus anterior muscle disturbed following division during a standard thoracotomy?, *Thorac Cardiovasc Surg* 1999 Jun, 47(3): 188-9
41. **Mummenthaler M:** *Läsionen peripherer Nerven*, Thieme, Stuttgart 1982
42. **Nagel-Brotzler A:** Perioperative Komplikationen beim operativen Verschluss des PDA unter besonderer Berücksichtigung der Frühgeburtlichkeit sowie der Kostenentwicklung, *THG-Würzburg* Mai 1997
43. **Netter:** *Anatomieatlas*
44. **Pilchmeier HW, Schildberg FW:** *Thoraxchirurgie*

45. **Rothenberg SS, Chang JHT:** Thoracoscopic closure of patent ductus arteriosus: a less traumatic and more cost-effective technique, *J Pediatr Surg* 30 (1995): 1075-1060
46. **Sadighi PJ, Woodworth CS:** Muscle-splitting thoracotomy, *Am Surg* 1998 Apr, 64(4): 370-1
47. **Saeed MA, Gatens PF:** Winging of the scapula, *Am Fam Physician* 1981 Oct, 24(4): 139-43
48. **Salazar JD:** Relationship of the long thoracic nerve to the scapular tip: an aid to prevention of proximal nerve injury, *J Thorac Cardiovasc Surg* 116 Nr, 6 Mar 1998
49. **Schmaltz AA:** Herzoperierte Kinder und Jugendliche, Stuttgart (1994)  
Wiss. Verl. Ges.
50. **Shivaprakasha K, Murthy KS:** Role of limited posterior thoracotomy for open heart surgery in the current era, *Ann Thorac Surg* 1999 Dec, 68(6): 2310-13
51. **Siewert JR:** *Chirurgie* 1998, pp 301-2, 365 ff
52. **Vollmer J:** *Rekonstruktive Chirurgie der Arterien*
53. **Wiater JM, Flatow EL:** Long thoracic nerve injury, *Clin Orthop* 1999 Nov, (368): 17-27
54. **Witt ANH, Rettig KF:** Periphere Nervenschädigung mit Beeinträchtigung der Schulterfunktion, *Orthopädie in Praxis und Klinik*, Band 7, T.1.2., Springer 1983 pp 1042-1043
55. **Zucker N, Quersiki SA:** Residual patency of the arterial duct subsequent to surgical ligation, *Cardiol Young* 3 (1993) 216-219

## 7. Anhang

### Fragebogen:

Fragen	Ja	Wenig/evt.	Nein
1. Traten nach der Operation Gefühlsstörungen im Bereich der Schulter und der Narbe auf?			
2. Sind in der Vergangenheit Infektionskrankheiten mit nachfolgenden Lähmungserscheinungen aufgetreten?			
3. Gab es in der Familie erbliche Erkrankungen des Nervensystems oder der Muskulatur?			

### Fragebogen / Auswertung

Fragen	Ja	Wenig/evt.	Nein
1. Traten nach der Operation Gefühlsstörungen im Bereich der Schulter und der Narbe auf?	Gr.1B: 2 Insg.: 4,3%	Insg.: 0%	Insg.:96,7%
2. Sind in der Vergangenheit Infektionskrankheiten mit nachfolgenden Lähmungserscheinungen aufgetreten?	Insg.: 0%	Insg.: 0%	Insg.: 100%
3. Gab es in der Familie erbliche Erkrankungen des Nervensystems oder der Muskulatur?	Gr.2A: 1 Insg.: 2,1%	Insg.: 0%	Insg.: 97,9%

## 7.1 Statistische Signifikanzberechnung

Unterschied posterolaterale / dorsale Thorakotomie bzgl. Fehlstellung

a. Kreuztabelle:

	0	1	Gesamt	
GRUPPE 00	24	16	40	00 = dorsal
01	03	04	07	01 = post.-l.
Gesamt	27	20	47	0 = Fehlst. nein 1 = Fehlst. ja

b. Testtabelle

	Wert	df	Asymptotische Signifi. (2-seitig)	Exakte Signifi. (2-seitig)	Exakte Signifi. (1-seitig)
Chi-Quadrat	0,716	1	0,397		
Exakter Test n. Fischer				0,438	0,330

a. Wird nur für eine 2x2 Tabelle berechnet

b. 2 Zellen (50,0%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist 2,98.

## Posterolaterale Thorakotomie - Unterschied anhand des Op-Alters

*a. Kreuztabelle*

	FEHLSTELLUNG		Gesamt	
	0	1		
GRUPPE 00	3	2	5	00 = Pat. < 1.LJ.
01		2	2	01 = Pat. > 1.LJ.
Gesamt	3	4	7	0 = Fehlst. nein 1 = Fehlst. ja

*b. Testtabelle*

	Wert	df	Asymptotische Signifi. (2-seitig)	Exakte Signifi. (2-seitig)	Exakte Signifi. (1-seitig)
Chi-Quadrat	2,100	1	0,147		
Exakter Test					
n. Fischer				0,429	0,286

*a. Wird nur für eine 2x2-Tabelle berechnet*

*b. 4 Zellen (100,0 %) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale Häufigkeit ist 0,86.*

Dorsale Thorakotomie – Unterschied des Op-Ergebnisses anhand des Op-Alters

a. Kreuztabelle

		FEHLSTELLUNG			
		0	1	Gesamt	
GRUPPE	00	13	03	16	00 = Pat. < 1.LJ
	01	11	13	24	01 = Pat. > 1.LJ
Fehlst. nein					0 =
Gesamt		24	16	40	1 = Fehlst. ja

b. Testtabelle

	Wert	df	Asymptotische Signifik. (2-seitig)	Exakte Signifik (2-seitig)	Exakte Signifi. (1-seitig)
Chi-Quadrat	5,017	1	0,025		
Exakter Test					
n. Fischer		1		0,047	0,026

a. Wird nur für eine 2x2-Tabelle berechnet

b. 0 Zellen (0,0%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist 6,40.

## Danksagung

Mein ganz besonderer Dank gilt meinen Eltern, ohne deren Hilfe und Unterstützung ich nicht hätte studieren können.

Herrn Professor Dr. O. Elert danke ich für die Überlassung des Themas, die freundliche und konstruktive Unterstützung während der Patientenexaminierung sowie die fruchtbare Diskussion der Ergebnisse. Außerdem danke ich ihm für die Übernahme des Referates.

Besonderer Dank geht an Herrn Professor Dr. B. Höcht, dem Leiter der Kinderchirurgischen Abteilung der Universität Würzburg für die bereitwillige Übernahme des Koreferates.

Zuletzt bedanke ich mich bei den fachlichen Betreuern der Arbeit, Herrn Dr.med. P. Keith sowie Herrn Dr.med. J. Böhler, für die freundliche Unterstützung bei der Verfassung der Arbeit und allen promotionstechnischen Fragestellungen.

## Lebenslauf

**Name:** Felix  
**Vorname:** Tobias  
**Geburtsdatum:** 18.04.1975  
**Geburtsort:** Ansbach  
**Staatsangehörigkeit:** deutsch  
**Zivilstand:** verheiratet

**Wohnort:** Axensteinstrasse 8  
CH-9000 St. Gallen

**Eltern:** Felix, Roland (Apotheker)  
Felix, Karola (Apothekenassistentin)

**Schulbildung:** 1981 – 1985 Grundschule Bopfingen  
1985 – 1994 Ostalbgymnasium Bopfingen

**Zivildienst:** August 1994 – November 1995  
Ambulante Soziale Dienste / Jugendarbeit  
Deutsches Rotes Kreuz Aalen

**Studium der Medizin:** Universität Würzburg  
November 1995 – Mai 2002  
Ärztliche Vorprüfung: September 1997  
1. Staatsexamen: September 1998  
2. Staatsexamen: April 2001  
3. Staatsexamen: Mai 2002

**Pflegepraktikum:** Stiftungs Krankenhaus Nördlingen  
Abteilung für Gynäkologie / Geburtshilfe  
März – April 1996  
März 1997

**Famulaturen:** 1. Stiftungs Krankenhaus Nördlingen  
Gynäkologie / Geburtshilfe  
März bis April 1998

2. Praxis für Innerer Medizin  
September – Oktober 1999

3. Herz-Thoraxchirurgie Universität  
Würzburg  
April 1999

4. Deutsches Herzzentrum Berlin,  
Herz-, Thorax- und Gefäßchirurgie  
September – Oktober 1999

**Praktisches Jahr:**

5. Scheer Memorial Hospital, Banepa, Nepal  
August – September 2000

1. Herz-Thoraxchirurgie Universität  
Würzburg  
April – August 2001

2. Missionsärztliche Klinik Würzburg  
Chirurgie  
August – Dezember 2001

3. Missionsärztliche Klinik Würzburg  
Innere Medizin, Tropenmedizin  
Dezember – März 2002

**Arzt im Praktikum:**

Ostalbkrankenhaus Aalen Frauenklinik  
1. Juli 2002 – 31. Dezember 2003

**Assistenzarzt:**

Hegau-Bodensee-Kliniken Singen  
Frauenklinik  
01. Januar 2004 – 31. März 2005

Kantonsspital St. Gallen  
Frauenklinik  
seit 01. April 2005