

A. H. Schwabegger<sup>1</sup> · C. Harpf<sup>1</sup> · M. Ninkovic<sup>1</sup> · M. Rieger<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universitätsklinik für Plastische und Wiederherstellungschirurgie und Ludwig-Boltzmann Institut für Qualitätssicherung in der Plastischen und Wiederherstellungschirurgie, Innsbruck, Österreich

<sup>2</sup> Universitätsklinik für Radiodiagnostik, Innsbruck, Österreich

# Technische Neuerungen in der Planung und Therapie der Kielbrust-Deformität

## Volume-rendering-CT und resorbierbare Osteosynthesematerialien

### Technical refinements in planning and surgical therapy of pectus carinatum

#### Abstract

From 1998 to 2002 ten patients underwent surgical correction of pectus carinatum using a new diagnostic preoperative three-dimensional volume rendering mode computed tomography. Particularly the deformed rib cartilages can now also be visualized, which allows exact preoperative planning of the extent of cartilage resection and localization of required sternum osteotomies. This additional information results in a focused surgical approach and hence minimizes scars. As an additional innovation, resorbable plates and screws were used for re-fixation of the osteotomized parts of the sternum. For postoperative thorax immobilization and hypertrophic scar circumvention, a special keel chest brace was applied in all patients for 6–8 weeks. No complications occurred in any case, and all patients were very content with the aesthetic results achieved.

#### Keywords

Keel chest · Volume rendering mode CT · Bioabsorbable implants · Polylactic acid copolymer

### Zusammenfassung

Die Operationsindikation einer Kielbrustdeformität ist bei entsprechender Ausprägung meist aus ästhetischen und vor allem psychischen Gründen gegeben. Zwischen 1998 und 2002 wurden 10 Patienten mit Kielbrustdeformität einer erweiterten neuartigen präoperativen Diagnostik, Volume-Rendering-Mode-Computertomografie genannt, unterzogen. Dadurch kommen auch deformierte Rippenknorpel zur räumlichen Abbildung, was eine exakte präoperative Planung und damit ein vermindertes Operationstrauma mit geringerer Narbenbildung ermöglicht. Das osteotomierte Sternum wurde, ebenfalls neuartig, durch resorbierbares Osteosynthesematerial (Polymilchsäure-Kopolymer) stabilisiert. Postoperativ kam es zu keinen Komplikationen. Bei allen Patienten wurde im mittleren Beobachtungszeitraum von 19 (5–24) Monaten ein objektiv und subjektiv äußerst zufrieden stellendes Ergebnis erzielt.

#### Schlüsselwörter

Kielbrustdeformität · Volume-Rendering-Mode-Computertomographie · Resorbierbare Implantate · Polymilchsäure-Kopolymer

© Springer-Verlag 2002

Nach einem Vortrag an der 31. Jahrestagung der VDPC (Vereinigung der Deutschen Plastischen Chirurgen), 13.–16. September 2000, Magdeburg

Unterstützt von: European Commission (Biomedicine and Health Program, European Union Project QLK6-CT-2000–00487)

A. Univ.-Prof. Dr. A.H. Schwabegger

Universitätsklinik für Plastische und Wiederherstellungschirurgie, Leopold-Franzens-Universität Innsbruck, Anichstraße 35, 6020 Innsbruck, Österreich, E-Mail: anton.schwabegger@uibk.ac.at

**A**ls Ätiologie der Fehlbildung der sternokostalen Region wird ein überschießendes Wachstum der parasternalen Rippenknorpelanteile angesehen, das zu einer Deformierung des Sternums einerseits nach dorsal zu einer Trichterbrust, andererseits nach ventral zu einer Kielbrust führen kann. Bei der chondrogladiolären (gladiola: Schwert) Kielbrustfehlbildung (Typ A) kommt es zur Vorwölbung im kaudalen Sternumanteil (Corpus sterni), bei der chondromanubrialen Fehlbildung hingegen im kranialen Corpus und Manubrium sterni. Bei einer asymmetrischen Überlänge der einzelnen Rippenknorpel (Typ C) ergeben sich Mischformen zwischen Trichter- und Kielbrust [7]. Die Kielbrustdeformität tritt etwa 6- [22] bis 10-mal [9] seltener als die Trichterbrustdeformität auf. In einer großen Serie von 720 operierten Patienten mit ventraler Brustwanddeformität finden sich 22% Kielbrustdeformitäten [6]. In etwa 1/3 aller Fälle bestehen asymmetrische Mischformen mit einseitiger Trichter- und kontralateraler Kielbrustdeformität. Eine genaue Epidemiologie gibt es jedoch nicht, da viele Patienten durch sozialen Rückzug und Negieren der Deformität über die chirurgi-

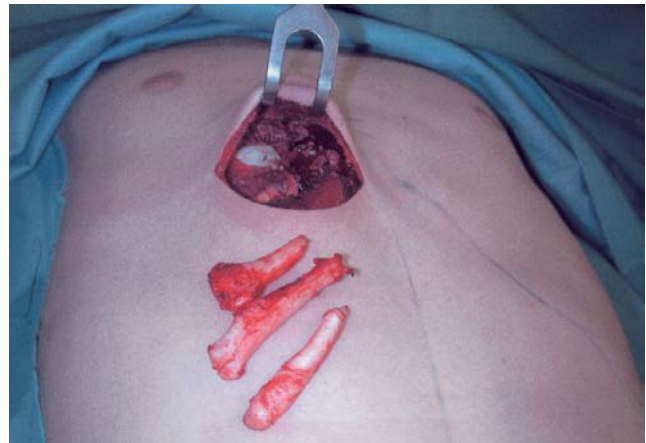


Abb. 3 ▲ Resezierte Rippenknorpelanteile einer asymmetrischen Deformität eines 24-jährigen männlichen Patienten, minimal invasive Schnittführung entlang den Hautspaltlinien

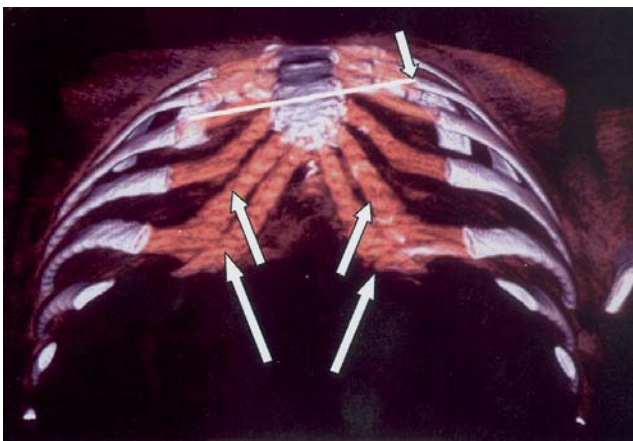


Abb. 1 ▲ Dreidimensionale „Volume-Rending“-Darstellung des knöchernen und knorpeligen Thorax eines jungen männlichen Erwachsenen mit einer mäßig asymmetrischen Kielbrustdeformität und Malrotation (einzelner Pfeil oben) des Sternums. Überlang und geknickt ausgebildete Rippenknorpel (Pfeile)

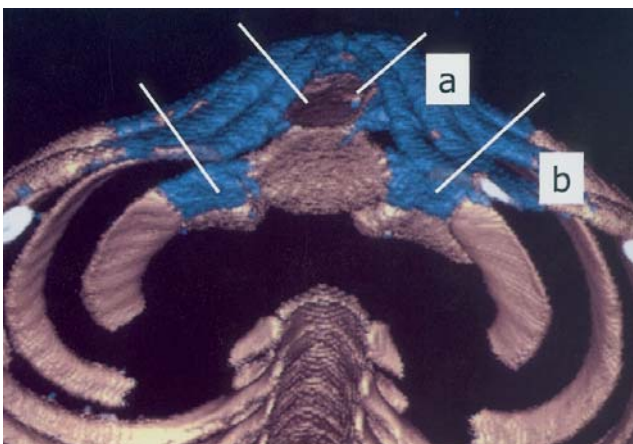


Abb. 2 ▲ In derselben Technik wie in Abb. 1 dargestellte Deformität eines 19-jährigen Mädchens mit symmetrischer chondrogladiolarer Deformität. Linien markieren die geplanten Resektionsgrenzen der Rippenknorpelanteile. (a) Knorpelige (blau) und (b) knöcherne (braun) Rippenanteile

schen Korrekturmöglichkeiten kaum aufgeklärt sind. Häufig ist bei der Anamnese zu erfahren, dass den Patienten diese Deformität als rein ästhetisches Problem suggeriert wird, weshalb sie meist relativ spät erst in oder nach der Adoleszenz vorstellig werden. Das Verhältnis weiblich zu männlich entspricht 22% zu 78%. In 22% aller Fälle bestehen zusätzliche Deformitäten wie Skoliose der Wirbelsäule, andere muskuloskeletale Fehlbildungen oder eine Fehlbildung am Zwerchfell. In 26% besteht eine hereditäre Disposition, und in ca. 50% wird die Kielbrustfehlbildung erst nach dem 11. Lebensjahr sichtbar [6, 7, 8, 9], bei der es durch die Verringerung des transversalen Thoraxdurchmessers zu kardiopulmonalen Einschränkungen kommen kann. Bei der Kielbrust werden im Gegensatz zur Trichterbrustdeformität nur sehr selten funktionelle kardiopulmonale Einschränkungen beschrieben [6, 7]. Nur in einer Studie [2] werden bei 10% der Patienten mit Kielbrustdeformität kardiale Fehlfunktionen angegeben. Eine mäßig bis stark ausgeprägte Kielbrust lässt sich durch Kleidung wesentlich schlechter kaschieren und führt dadurch zu einem höheren Leidensdruck der betroffenen Individuen. Bei entsprechender Ausprägung ist bei den asymptomatischen Patienten die Indikation zu einer chirurgischen Korrektur nicht krankheitsbedingt, sondern vielmehr psychisch-ästhetisch sehr wohl gegeben.

Eine erfolgreiche chirurgische Korrektur ist einerseits abhängig von der spezifischen Erfahrung des Operateurs mit dieser Deformität und andererseits vom 3-dimensionalen Vorstellungsvermögen über die submuskulär und subkutan gelegenen osteokartilaginären skelettalen Deformität. Abhängig vom Ernährungszustand der Patienten kann sich eine genaue Einschätzung über das Ausmaß der deformierten Rippen jedoch schwierig gestalten. Vor allem korrekturbedürftige Malrotationen des Sternums sind äußerlich schwer zu beurteilen.

Konventionelle Thorax- oder Sternumröntgenaufnahmen können – allerdings nur im seitlichen Bild – lediglich einen Hinweis auf eine anormale Morphologie geben. Primäre CT-/MRT-Schnittbilder des Thorax sind für eine exakte Planung nicht verwertbar. Erstmals wurden in Zusammenarbeit mit der Universitätsklinik für Radiologie zum Zweck einer optimalen chirurgischen Planung 3-dimensionale Volume-Rending-CT-Rekonstruktionen des osteokartilaginären Brustkorbes unter Ausblendung der Weichteile hergestellt (Abb. 1, 2).



Abb. 4 ▲ Resezierte Rippenknorpelanteile einer 19-jährigen Patientin mit symmetrischer chondrogladiolären Deformität, Schnittführung entlang der Submamärfalten

Die von Matsui [4] beschriebenen großflächigen und plumpen resorbierbaren Poly-L-Lactid®-Platten wurden zur Suspension der mobilisierten Rippen und Sternumanteile als Alternative zu Metallspangen bei der Korrektur der Trichterbrust verwendet. Derartig voluminöse Fremdkörperimplantate sind bei der Kielbrustkorrektur nicht erwünscht, weshalb im präsentierten Patientengut, für diese Anwendung erstmalig beschrieben, wesentlich kleinere resorbierbare Materialien zur Sternumosteosynthese zur Anwendung kommen, wie sie sich in der kraniofazialen Chirurgie bereits vielfach bewährt haben [1].

### Patienten und Methodik

Die präoperative Technik der 3-dimensionalen Volume-Rendering-Mode-Darstellung wurde an anderen Körperregionen andernorts [1, 11] bereits erfolgreich eingesetzt. Diese Methode der verschiedenfarbigen räumlichen Darstellung der betroffenen Rippen- und Sternumanteile kam von Oktober 1998 bis Januar 2002 bei 10 Patienten erstmalig zur Anwendung. Bei allen diesen Fällen (18–36 Jahre, 2 weiblich, 8 männlich) wurde bereits vor dieser Untersuchung aufgrund der Defektausprägung die eindeutige Indikation zur chirurgischen Korrektur gestellt, das Ausmaß der notwendigen chirurgischen Korrektur konnte jedoch erst nach der 3-dimensionalen radiologischen Abbildung exakt geplant werden. Bei den beiden Patientinnen sowie einem Patienten erfolgte der Zugang durch 2 horizontale parasternale Schnitte entlang der Submamär- bzw. der Subpektoralfalte (Abb. 3, 4), bei den übrigen Patienten über einen medianen Schnitt vom Epigastrium bis über den kaudalen Sternumanteil reichend.

### Radiologische Untersuchungstechnik

Alle Patienten wurden in Rückenlage in Atemhaltetechnik bei Atemmittelposition untersucht. Auf die übliche Thoraxim-

obilisierung in Bauchlage wurde zur Vermeidung einer „iatrogenen“ temporären Reposition der Thoraxdeformität verzichtet.

Die Untersuchung wurde an einem Multislice-CT-Gerät (LightSpeed Qx/i, Fa. GE, Milwaukee) durchgeführt. Die hohe Scangeschwindigkeit dieses Gerätes ermöglicht die Datenakquisition des gesamten Thoraxskelettes während einer Atemanhaltephase (ca. 20–25 s) in 1,25 mm Schichtdicke im „High-speed-Modus“ mit einem Rekonstruktionsintervall von 0,6 mm. Die primären Quelldaten wurden anschließend zur Erstellung der Volume-Rendering-Rekonstruktionen zu einer Nachverarbeitungskonsolle transferiert (Advantage Windows 4.0, Fa. GE, Milwaukee). Mit Hilfe vorgefertigter „Presets“ konnten die Volume-Rendering-Rekonstruktionen innerhalb von wenigen Minuten erstellt werden. Diese 3-dimensionalen Abbildungen wurden für die Operationsplanung mehrfarbig ausgedruckt (s. Abb. 1, 2). Zusätzlich konnten diese Abbildungen durch Netzwerkanwendung online am Bildschirm dem Chirurgen perioperativ präsentiert werden.

Abb. 5 ► Schema der subperichondralen Rippenknorpelresektion und Perichondriumschlauchraffung. (a) Sternum, (b) knorpeliger und (c) knöcherner Rippenanteil, (d) bereits geraffter Perichondriumschlauch, (e) Raffnähte, (f) Lungengewebe

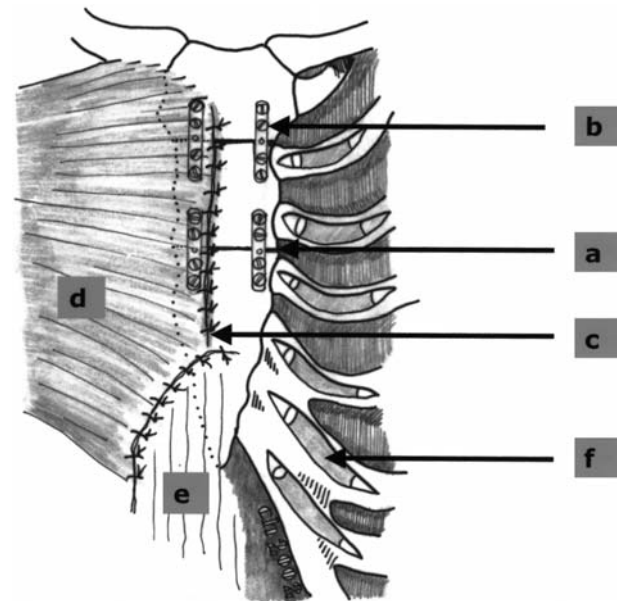
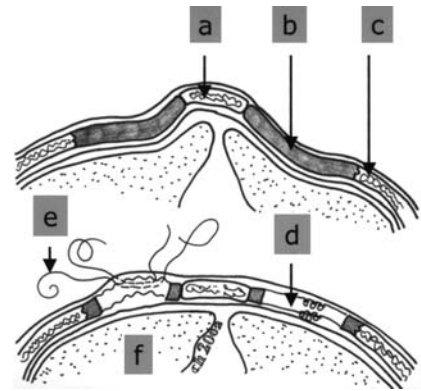


Abb. 6 ▲ Schematische Darstellung der chirurgischen Technik mit (a) Sternumosteotomie und Refixierung mit (b) resorbierbarem Osteosynthesematerial sowie (c) anatomischer Refixierung der abgelösten (d) Mm. pectorales und (e) M. rectus abdominis. (f) Perichondriumschläuche



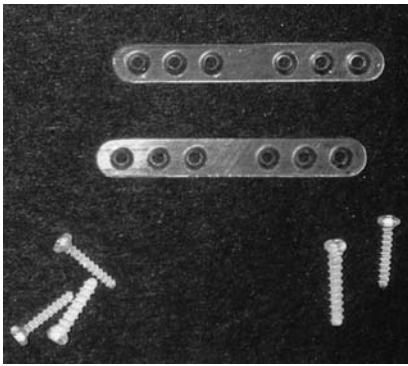


Abb. 7 ◀ **Resorbierbare Polymilchsäure-Kopolymer-Platten und -Schrauben zur Refixierung des osteotomierten Sternums**

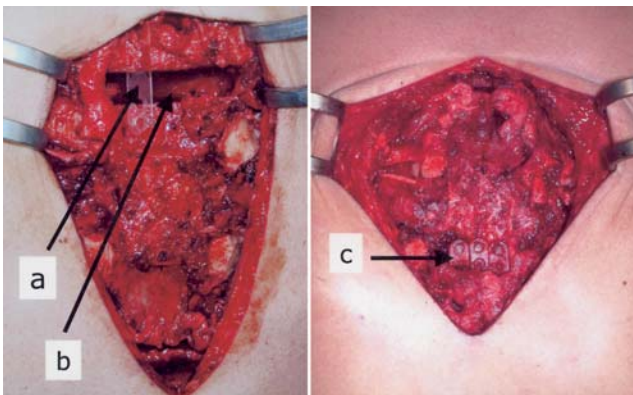


Abb. 8 ▲ **Links: Intraoperativer Situs mit (a) angelegter Osteosyntheseplatte und (b) dehiszentem osteotomiertem Sternum. Rechts: Situation nach erfolgter (c) Osteosynthese**

### Chirurgische Technik

Der zu wählende chirurgische Zugang ist einerseits vom Geschlecht, andererseits von Typ der Deformität abhängig. Nach Abhebung der Haut-Subkutis-Lappen wird je nach Deformität die Rectus-abdominis- und/oder Pektoralismuskulatur von ihren Ansätzen am Sternum und den Rippen abgelöst, wobei vor allem die Übergänge zum Periost und Perichondrium der Rippen mit Sorgfalt präpariert und geschont werden, damit nach erfolgter Remodellierung eine straffe Refixierung erfolgen kann. Die Perichondriumschläuche der betroffenen deformierten Rippen werden türflügelartig eröffnet, die knorpeligen Rippenanteile in der entsprechende Länge reseziert und damit verkürzt (Abb. 5, 6). Falls eine Osteotomie indiziert ist, wird die oszillierenden Säge lediglich durch die ventrale Kompakta sowie durch die Sternumspongiosa unter Erhalt der dorsalen Kompakta geführt, um eine Verletzung der Pleura zu vermeiden. Die Frakturierung der dorsalen Kompakta an der damit erzeugten Sollbruchstelle erfolgt vorsichtig manuell [5, 8]. Anschließend und als technische Neuerung kommen nun zur Refixierung der Sternumanteile resorbierbare Platten und Schrauben (Polymilchsäure Kopolymer BioSorbFX O/M<sup>®</sup>, Bionx Implants Ltd. Tampere Finland) zur Anwendung. Hierbei werden Platten von 1,4 mm Dicke und einer Länge von 40–60 mm aufgebracht und mit Schrauben mit den Maßen 2,4×10–12 mm (Abb. 7, 8) fixiert. Die forcierte Raffung der Perichondriumschläuche mit kräftigen PDS<sup>®</sup>-Nähten bildet einen wichtigen remodel-

lierenden Schritt und muss mit entsprechender Sorgfalt und ständiger Kontrolle der Thoraxkontur ausgeführt werden. Abschließend erfolgt die exakte anatomische Refixierung der zuvor abgelösten Mm.-pectorales- und M.-rectus-abdominis-Ansätze. Ein halbelastisches Klebebandagenzینگulum immobilisiert den Thorax in der unmittelbar postoperativen Phase. Am 3. postoperativen Tag wird eine individuell angepasste Pelottenbandage (Abb. 9) zur weiteren Immobilisierung des Thorax, d. h. zur Verminderung der Atemexkursionen sowie zur Entlastung der perichondrialen Raffnähte, für eine Mindestdauer von 6 Wochen angelegt.

### Ergebnisse

Als intraoperative Komplikation kam es in 1 Fall zu einer 10 mm langen Verletzung der Pleura durch die oszillierende Säge bei querer Osteotomie am Sternum, die jedoch keiner weiteren Therapie bedurfte, da durch leichte Überdruckbeatmung und sofortige Osteosynthese eine komplette Abdichtung er-

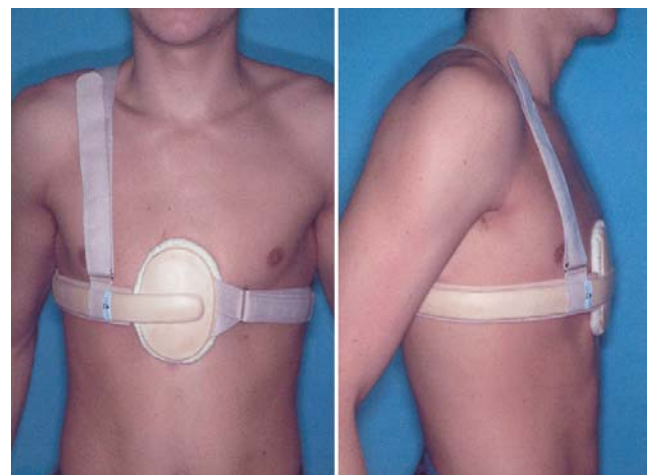


Abb. 9 ▲ **Kielbrustpelottenbandage zur postoperativen „Ruhigstellung“ des Thorax sowie zur Redressierung des Sternums. Die Anlage wird für 6–8 Wochen bis zur knöchernen Konsolidierung und Fibrosierung des Operationsgebietes sowie auch zur Kompression der Hautnarbe empfohlen**

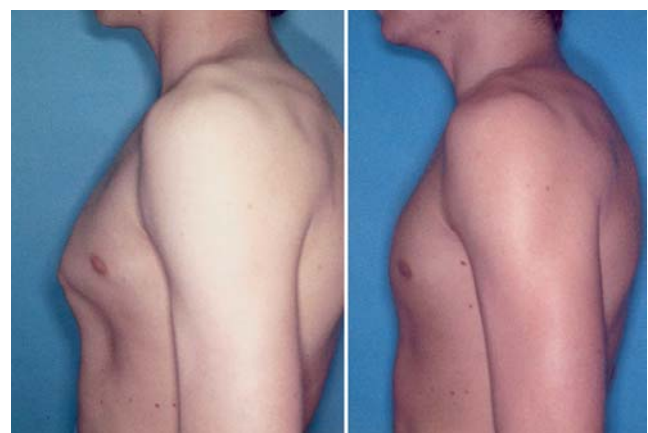


Abb. 10 ▲ **Prä- und postoperative (nach 24 Monaten) Vergleichsaufnahmen eines 19-jährigen Patienten mit symmetrischer chondrogladiolärer Deformität**

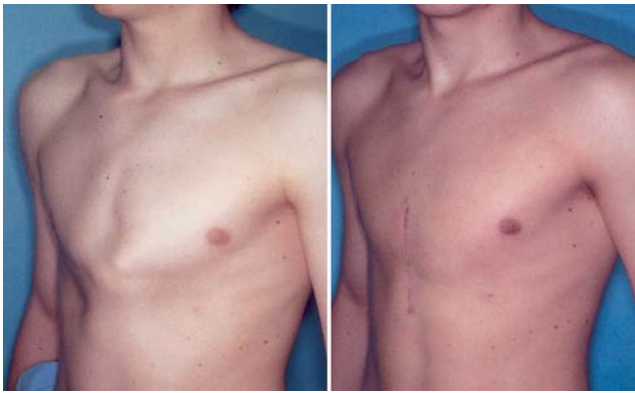


Abb. 11 ▲ Prä- und postoperative (nach 24 Monaten) Vergleichsaufnahmen eines 19-jährigen Patienten mit symmetrischer chondrogladiolärer Deformität

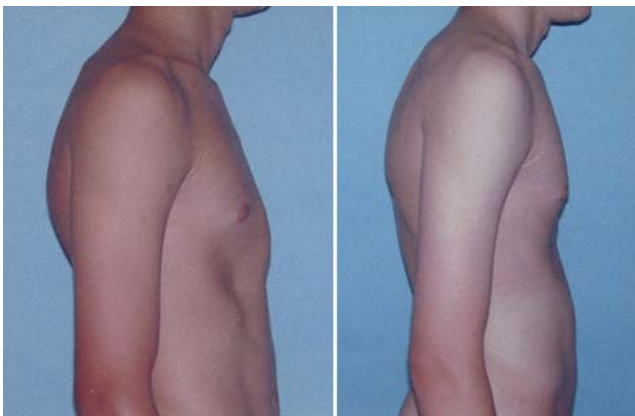


Abb. 12 ▲ Prä- und postoperative (nach 8 Monaten) Vergleichsaufnahmen eines 21-jährigen Patienten mit symmetrischer chondrogladiolärer Deformität und deutlichen submammären „chondrogenen“ Impressionen

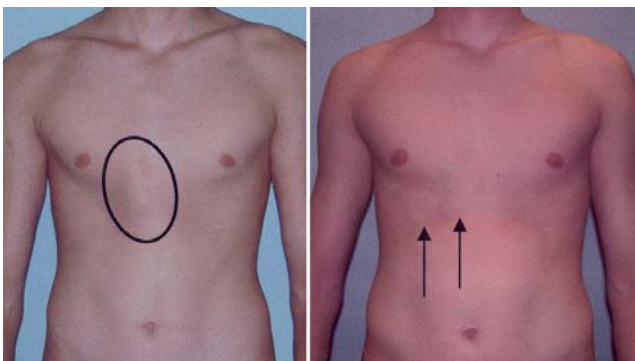


Abb. 13 ▲ Kurze Schnitfführung und kaum sichtbare Narbe (Pfeile) entlang den Hautspaltlinien bei (Kreis) asymmetrischer rein knorpeliger Deformität. Ergebnis 6 Monate postoperativ

folgte. In Abhängigkeit von der Schmerzsymptomatik wurden in allen Fällen Analgetika intravenös oder perioral verabreicht. Durch das angelegte Adhäsivzingulum wurde die Atemexkursion des Thorax minimiert. In allen Fällen kamen die Patienten mit der präoperativ „antrainierten“ Zwerchfellatmung zur

„Ruhigstellung“ des Thorax postoperativ gut zurecht. Der durchschnittliche stationäre Aufenthalt belief sich auf 5–7 Tage. Durch kurze, gezielt gewählte und kaudal oder submamär angelegte Inzisionslinien, sowie vermutlich durch den Druck der Pelottenbandage begünstigt, konnte keine hypertrophe Narben- oder Keloïdbildung beobachtet werden (Abb. 10, 11, 12, 13). Die Akzeptanz der postoperativen Pelottenbandage für 6–8 Wochen war wegen entsprechender plausibler Aufklärung in keinem Fall beeinträchtigt. Bei allen Patienten konnte in einem Beobachtungszeitraum von durchschnittlich 19 (5–24) Monaten objektiv und vor allem subjektiv eine signifikante Besserung des Körperbildes und damit des Wohlbefindens erzielt werden.

## Diskussion

In der verfügbaren Literatur gibt es keine einheitlichen Angaben zum optimalen Patientenalter für die chirurgische Korrektur der Kielbrustdeformität. Milde bis mäßige Ausprägungen beim weiblichen Geschlecht sind nach der Entwicklung der Brüste und beim männlichen Geschlecht nach der Entwicklung der pectoralen Muskelmasse oft nicht mehr auffällig und deshalb auch nicht mehr korrekturbedürftig. Bei starker Ausprägung jedoch soll die Korrektur bereits frühzeitig indiziert werden. Die Meinung, dass eine Korrektur erst nach der Pubertät, also erst nach Abschluss des Skelettwachstums und Konsolidierung der Thoraxform erfolgen soll, da zu frühe Eingriffe am wachsenden Knorpel und Sternum die Ausprägung der Thoraxform negativ beeinflussen würden, kann nicht gehalten werden [2, 88]. Eine chirurgische Korrektur in früherem Lebensalter (präpubertär) erscheint aufgrund des noch elastischen und dadurch leichter modellierbaren Skelettes wesentlich einfacher als beim Erwachsenen mit bereits konsolidierter Thoraxform. Eine Korrektur noch im Jugendalter kommt den Körperempfindungsproblemen in der Pubertät zuvor und ist auch deshalb zu bevorzugen. Wenn auch die korrigierte Deformität durch Vernarbung und Fibrosierung eine örtliche Rigidität aufweist, wird dieser lokale Situs kaum das Gesamtwachstum des sehr elastischen Thorax beeinflussen können [2, 8]. Eine rationale Erklärung für einen Aufschub der Korrektur in das frühe Erwachsenenalter gibt es also nicht.

Die rasante Entwicklung der endoskopische Chirurgie fand auch in der Kielbrustkorrektur ihren Einzug [33]. Diese Methode könnte, entsprechende Ausrüstung und verfügbares Know-how vorausgesetzt, eher beim weiblichen Geschlecht mit chondromanubrialem Typ angewendet werden, wenn ein offener Zugang allein von inframamär nicht möglich ist. Es ist fraglich, ob die unabdingbaren Forderungen nach einer mehrfachen subperichondralen Knorpelresektion, ggf. Sternumosteotomie mit Osteosynthese sowie einer straffen Refixierung der pectoralen Muskulatur mit rein endoskopischen Methoden überhaupt möglich sind. Am ehesten ist hier ein kombinierter Zugang zu erwägen. Von einer tangentialen Abtragung mehrerer vorgewölbter Rippen wird abgeraten, da es dadurch zu einer mechanischen Schwächung der knorpeligen Rippenbögen kommt, diese nun an den entstandenen Schwachstellen, bedingt durch die muskuläre Biomechanik, abknicken und sich folglich mit einer noch augenscheinlicheren Knickstelle nach ventral vorwölben.

Dem häufig erhobenen Einwand einer übermäßigen Strahlenbelastung durch die präoperativen 3D-CT-Diagnostik kann dahingehend entgegnet werden, dass die Untersuchung aufgrund der Schichtung im Hochkontrastbereich mit einer geringen Dosis (120 kV, 70 mA) durchgeführt wird. Die vom Gerätehersteller angegebene Dosis für eine Thoraxskelettschichtung beträgt ca. 91 mGy·cm. Darüber hinaus ist der Informationsgewinn durch die dreidimensionale Visualisierung in der präoperativen Planung erheblich und überwiegt unseres Erachtens die mögliche Gefährdung durch die Strahlenexposition.

### Fazit für die Praxis

Die verbesserte präoperative Planung mit der 3D-Rendering-Mode-Computertomografie und die Anwendung von resorbierbarem Osteosynthesematerial in Kombination mit altbewährten chirurgischen Remodellierungstechniken verringert die chirurgische Invasivität und führt, vorerst mittelfristig nachuntersucht, zu sehr zufrieden stellenden Ergebnissen der Kielbrustdeformität. Unter Anwendung dieser beschriebenen Methoden sind Langzeitergebnisse noch ausständig und können erst nach Abschluss des Körperwachstums präsentiert werden.

### Literatur

1. Ashammakhi N, Peltoniemi H, Waris E et al. (2001) Developments in craniomaxillofacial surgery: use of self-reinforced bioabsorbable osteofixation devices. *Plast Reconstr Surg* 108:167
2. Fonkalsrud EW, Beanes S (2001) Surgical management of pectus carinatum: 30 years' experience. *World J Surg* 25:898
3. Kobayashi S, Yoza S, Komuro Y et al. (1997) Correction of pectus excavatum and pectus carinatum assisted by the endoscope. *Plast Reconstr Surg* 99:1037
4. Matsui T, Kitano M, Nakamura T et al. (1994) Bioabsorbable struts made from poly-L-lactide and their application for treatment of chest deformity. *J Thorac Cardiovasc Surg* 108:162
5. Ravitch MM (1960) The operative correction of pectus carinatum (pigeon breast). *Ann Surg* 151:705
6. Robicsek F (2000) Surgical treatment of pectus carinatum. *Chest Surg Clin N Am* 10:357
7. Robicsek F, Cook JW, Daugherty HK, Selle JG (1979) Pectus carinatum. *J Thorac Cardiovasc Surg* 79:52
8. Shamberger RC, Welch KJ (1987) Surgical correction of pectus carinatum. *J Ped Surg* 22:48
9. Shaw WW, Aston SJ, Zide Barry M (1990) Chest wall reconstruction. Pectus carinatum. In: McCarty J (ed) *Plastic surgery*. W.B. Saunders Company, Philadelphia, p 3742
10. Takahashi N, Okamoto K, Sakai K (2001) Three-dimensional reconstructions with volume-rendering method of the arytenoid and cricoid cartilages by means of multidetector row CT. *Nippon Igaku Hoshasen Gakkai Zasshi* 61:310
11. Vandenhouten R, Kottenhoff R, Grebe R (1995) 3D colour visualization of label images using volume rendering techniques. *Med Inform* 20:149