

Für alle, die waren.

Für alle, die sind.

Für alle, die noch kommen.

Für meine Familie. Für Lenny.

Aus der Chirurgischen Klinik und Poliklinik Innenstadt
Klinikum der Ludwig-Maximilians-Universität München

Direktor: Professor Dr. med. Wolf Mutschler

Siremobil Iso – C 3D
Anforderungen und Modifikationen von Lagerung, Operationstisch und
Patienten

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München
vorgelegt von
Florian Joseph Heiner Dreyer
aus

München

2008

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. Ekkehard Euler

Mitberichterstatter: Priv.-Doz. Dr. med. Hermann Anetzberger
Priv.-Doz. Dr. med. Andrea Baur-Melnyk

Mitbetreuung durch den
promovierten Mitarbeiter: Dr. med. Thomas Dobler

Dekan: Prof. Dr. med. D. Reinhardt

Tag der mündlichen Prüfung: 17. April 2008

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung:	6
2.	Zielsetzung & Fragestellung	9
3.	Material und Methode	11
3.1	Siremobil Iso-C 3D.....	11
3.2	Operationstisch	13
3.3	Puppe und formalinfixierte Humanpräparate	14
3.4	Durchleuchtungsfähiges Material.....	15
3.5	Methode	16
4.	Lagerungsarten in Orthopädie und Unfallchirurgie.....	19
4.1	Rückenlage.....	19
4.1.1	Variationen	19
4.1.2	Risiken und Prävention von Lagerungsschäden	24
4.2	Seitenlage.....	28
4.2.1	Variationen	28
4.2.2	Risiken und Prävention von Lagerungsschäden	29
4.3	Bauchlage.....	33
4.3.1	Variationen	33
4.3.2	Risiken und Prävention von Lagerungsschäden	36
5.	Ergebnisse	42
5.1	Obere Extremität.....	42
5.1.1	Distale Obere Extremität.....	42
5.1.2	Proximaler Humerus und Schulter	47
5.2	Untere Extremität.....	104
5.2.1	Distale untere Extremität.....	104
5.2.2	Proximaler Femur und Becken.....	110

5.2.3	Lauenstein-Lagerung.....	114
5.3	Wirbelsäule und Rumpf.....	120
5.3.1	Halswirbelsäule.....	120
5.3.2	Brust- und Lendenwirbelsäule.....	126
6.	Auswertung.....	139
6.1	Obere Extremität.....	139
6.2	Untere Extremität.....	142
6.3	Wirbelsäule.....	144
7.	Diskussion.....	146
7.1	Technische Daten:.....	148
7.2	Bildqualität, Orts- und Kontrastauflösung.....	150
7.3	Frakturen:.....	151
7.4	Rumpfnahе Gelenke:.....	157
7.5	Wirbelsäule:.....	159
7.6	Strahlendosis:.....	163
7.7	Lagerungen:.....	163
7.7.1	Wirbelsäule:.....	166
7.7.2	Proximale obere Extremität und Schulter:.....	169
8.	Zusammenfassung.....	173
9.	Quellenverzeichnis.....	179
10.	Anhang.....	191
10.1.	Danksagung.....	191
10.2.	Lebenslauf.....	193

1. Einleitung

Operationen in Orthopädie und Unfallchirurgie erfordern exakte Beurteilungsmöglichkeiten zu Implantatlage und Repositionsqualität bei Frakturen und Korrekturen angeborener oder degenerativer Fehlstellungen des Bewegungsapparates. In der operativen Therapie von Frakturen, Achsfehlstellungen wie auch in der Endoprothetik bedarf es exakter Ergebnisse zur Reproduzierbarkeit der anatomischen Gegebenheiten unter Berücksichtigung einer korrekten Implantation von Schrauben, Platten oder Endoprothesen.

Der Einsatz konventioneller intraoperativer Bildverstärker erlaubt zweidimensionale Strukturdarstellungen, woraus vor allem bei einfachen Schaft- oder Gelenkfrakturen gute Repositionsergebnisse resultieren. Allerdings sind vor allem komplexe, multiplanare Gelenkflächen und kleine anatomische Areale sowie knöcherne Überlagerungsartefakte z.B. an Becken oder Schulter limitierende Faktoren der Beurteilungsqualität.

So resultieren z.B. bei Pedikelschraubenimplantationen bei dorsalen Instrumentationen bis zu 40% Fehllagen (Wendl et al., 2003; Kahler, 2004; Weinstein et al., 1988; Schwarzenbach et al., 1997). Aber auch komplexe ossäre Formen mit multiplen, teilweise stark gekrümmten Gelenkflächen, wie z.B. am Talus und Calcaneus ist eine für gutes Outcome ausreichende Reposition mit intraossärer Implantatlage oft schwierig darzustellen bzw. zu überprüfen (Euler et al., 2001).

Aus diesen Gründen sind optimierte Darstellungsalternativen erforderlich, die die intraoperativen Ergebnisse zeitnah abbilden und somit gleichzeitig notwendige

Anpassungen und gegebenenfalls Optimierung der Repositionen und/oder Implantatlage ermöglichen.

Computer-assistierte Verfahren in Orthopädie und Unfallchirurgie haben sich durchgesetzt, die Akkuranz komplizierter Eingriffe zu verbessern, hier haben sich insbesondere Computertomographie-gestützte sowie zwei- und dreidimensionale Fluoroskopiesysteme bewährt (Gebhard et al., 2000; Laine et al., 1997; Laine et al., 2000; Schlenzka et al., 2000).

Im Vergleich zu herkömmlicher Durchleuchtung ließen sich bereits neben verbesserten Repositionsergebnissen auch Reduktionen der Strahlendosis nachweisen (Kanlic et al., 2006).

Allerdings erlauben vor allem die präoperativ mittels Computertomographie akquirierten Datensätze der zu operierenden Region nur begrenzte Anpassung an intraoperative Lageveränderungen der einzelnen Komponenten sowie die Verfolgbarkeit freier Frakturfragmente in der operativen Therapie komplexer Frakturen (Wendl et al., 2003; Berlemann et al., 1997; Gebhard et al., 2000; Grützner et al., 2001; Nolte et al., 1995).

Das Siremobil Iso-C 3D der Firma Siemens, Medizintechnik, Erlangen, stellt alternativ neben dem Einsatz als herkömmlicher Bildverstärker die Option dar, über eine motorgesteuerte Orbitalbewegung von 190° 50 – 100 äquidistante Durchleuchtungsbilder eines im Isozentrum positionierten Objektes zu erstellen. Mittels einer angeschlossenen Computereinheit wird aus den erhaltenen Bildern ein multiplanarer Datensatz errechnet, der eine dreidimensionale Beurteilbarkeit der durchleuchteten Struktur erlaubt. Auf diese Weise können Überlagerungsartefakte reduziert und Repositionen und Implantatlagen in Relation zu Gelenkfläche, Frakturfragmenten und Weichteilen gesetzt und exakt beurteilt werden.

Somit sind Einsätze als konventioneller Bildverstärker, zur exakten Beurteilung von Frakturen, Repositionsergebnissen und Implantatlagen mittels 3D-Scan als auch bei navigierten Operationen denkbar (Gebhard et al., 2005).

Darüber hinaus konnten bereits unter Gebrauch des Siremobils Iso-C 3D z.B. Osteoidosteom-Resektionen komplikationslos minimalinvasiv durchgeführt werden (Kendoff et al., 2005).

Allerdings ergeben sich gegenüber dem Gebrauch herkömmlicher C-Bögen Anforderungen an Lagerungen, Operationstischen und Lagerungshilfen sowie an Positionskonstellationen von Siremobil Iso-C 3D, Patientenlagerung und Tischstellung, um verwertbare Bildakquisitionen zur Darstellung des dreidimensionalen Datensatzes zu ermöglichen.

Die zu beurteilende Struktur im Isozentrum des Siremobils Iso-C 3 D darf während des 3D-Scans nicht verändert werden, darüber hinaus müssen kollisionsfreie Orbitalbewegungen gewährleistet sein, um eine multiplanare Rekonstruktion aus ausreichender Anzahl von Durchleuchtungen zu ermöglichen.

Insbesondere für den intraoperativen Einsatz des Siremobils Iso-C 3D müssen somit Möglichkeiten zu Gerätpositionierungen und Patientenlagerungen ebenso wie Anforderungen an Lagerungshilfen und Operationstischen aufgezeigt werden.

Des Weiteren ist es erforderlich, besondere Schwierigkeiten im Gebrauch an bestimmten anatomischen Regionen aufzuweisen und problemorientierte Lösungen anzubieten.

Auf diese Weise ist die optimierte Akquisition einer beurteilbaren, multiplanaren Rekonstruktion unter Vermeidung von Lagerungsschäden und Kollisionsschäden möglich, Repositionsergebnisse können verbessert und Implantatfehllagen vermindert werden.

2. Zielsetzung & Fragestellung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dem intraoperativen Einsatz des Siremobils Iso-C 3D hauptsächlich in Unfallchirurgie und Orthopädie und den daraus resultierenden, im Vergleich zum Gebrauch von bisher verwandten Bildwandlern neu entstandenen Anforderungen. Im Mittelpunkt der Betrachtungen liegt die Lagerung des Patienten sowie die Anforderungen an Material und Form des Operationstisches und seiner Ergänzungselemente.

Des Weiteren sollen Lösungsvorschläge sowohl zu Lagerungsmodifikationen, als auch zu Material- und Tischvarianten dargestellt werden, die entsprechend den Rotationsbewegungen des C-Bogens und den anatomischen Patientenvoraussetzungen eine volle Orbitalbewegung unter Vermeidung von Lagerungs- und Kollisionsschäden gewährleisten.

Analog dazu werden diejenigen in Unfallchirurgie und Orthopädie relevanten Regionen gesondert dargestellt, bei denen eine vollständige Rotation des Siremobils nicht ohne Schädigung von exponierten anatomischen Strukturen oder ohne Kollision mit Komponenten des OP-Tisches möglich ist, und in deren Bereich somit eine optimale Bildakquisition aufgrund von Raum- oder auch Materialproblematik nicht erreicht werden kann. Auch hier werden Lösungsoptionen vorgeschlagen, die einen Einsatz des Geräts ermöglichen.

Insbesondere werden folgende Ziele und Fragestellungen verfolgt:

Zunächst werden die Voraussetzungen von Tisch und Patient dargestellt, die eine volle Orbitalbewegung von 190° gewährleisten, ohne Kollisionen mit dem C-Bogen zu provozieren. Hierbei gilt es zu berücksichtigen, dass die Beurteilbarkeit

der Bildfolge der jeweiligen anatomischen Regionen gewährleistet ist. Besondere Bedeutung erlangen Form, Materialzusammensetzung und -positionierung von einzelnen Komponenten der Tischauflage, die im Strahlengang des Siremobils Iso-C 3D liegen.

Des Weiteren werden die Anforderungen an die Lagerung des Patienten und gegebenenfalls Modifikationen untersucht, die vonnöten sind, um die geforderte Orbitalbewegung zu ermöglichen. Diese Optionen sollen einerseits zur Durchleuchtung der Extremitäten bezeichnet werden, andererseits sollen mögliche Lagerungsvariationen aufgezeigt werden, die bei der Rotation während der Durchleuchtung der rumpfnahen anatomischen Gebiete Hüfte / Becken und Schulter sowie der Wirbelsäule notwendig werden.

Darauf aufbauend müssen diese benötigten Lagerungen und die Stellung des Siremobils zu Tisch und Patient so modifiziert werden, dass sich die Vereinbarkeit der technischen Anforderungen durch Tisch und C-Bogen bei gleichzeitiger Vermeidbarkeit von Lagerungs- und Kollisionsschäden erreichen lässt.

In Zusammenfassung der erhaltenen Erkenntnisse wird bei erfolgten Lagerungs- und Positionsmodifikationen die dreidimensionale Darstellung und die Beurteilbarkeit der Extremitäten und der großen rumpfnahen Bereiche (Schulter, Hüfte/Becken und Wirbelsäule) abschließend überprüft. Daraus resultierend sollen gegebenenfalls weitere Veränderungen im Zusammenspiel zwischen Patientenlagerung, Tisch- und C-Bogen-Positionierung erarbeitet werden, deren Kombination die computergesteuerte Errechnung einer objektivierbaren Bildfolge zulässt.

2.1 Material und Methode

2.2 Siremobil Iso-C 3D

Zur Verfügung stand ein Prototyp des Siremobil Iso-C 3D der Firma Siemens, Medizintechnik, Erlangen. Dieses Gerät besteht aus einem C-Bogen mit 17cm-Bildverstärker und Röntgenröhre mit integrierter Tiefenblende, sowie der zugehörigen Elektronikeinheit, und einem Monitorwagen mit Computer und Monitor zur Visualisierung der errechneten Bilder.

Wie die meisten momentan gebräuchlichen C-Bogen-Einheiten ist das Siremobil ein mobiler Röntgenverstärker mit den Optionen der kontinuierlichen und der gepulsten Durchleuchtung. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, digitale Radiographie einzusetzen. Mit dieser Option lassen sich sowohl digitale Einzelbilder als auch Subtraktionsserien anfertigen, die v.a. zur Gefäßdarstellung eingesetzt werden.

Der Unterschied zu herkömmlichen C-Bögen besteht beim Siremobil in der Geometrie des Bogens, bei dem sich während der Orbitalbewegung das Abbildungsobjekt immer im Zentrum, dem so genannten Isozentrum, befindet. Zusätzlich ist der Bogen mit einem Elektromotor ausgestattet, der eine standardisierte isozentrische Orbitalbewegung von 190 Grad ermöglicht. Dabei durchleuchtet das Gerät mehrmals im DR- Mode ein im Isozentrum positioniertes Objekt. Die Winkelabstände der einzelnen Durchleuchtungen bleiben dabei konstant, die Anzahl der Durchleuchtungen ist durch den Anwender bestimmbar.

Die durch uns gewählte und aufgrund der erreichten Bildqualität praktikabelste Darstellung wird nach einer Orbitalbewegung mit 100 Projektionsaufnahmen in ca. 120 Sekunden erreicht.

In diesem Modus wird aus den gewonnenen Bildern über bestimmte Algorithmen ein Kubus von 256 x 256 x 256 Voxeln mit einer Kantenlänge von 119 mm ermöglicht errechnet und auf die Workstation transferiert.

Auf dem Monitor werden die errechneten Bilder primär als Schnittbilder in Koronar-, Sagittal- und Transversalebene dargestellt. Entlang frei gewählter Schnittlinien lässt sich das dreidimensionale, in die Ebenen aufgesplittete Bild virtuell „durchwandern“.

Auf diese Weise lassen sich z.B. implantierte Schrauben entlang ihres Verlaufs verfolgen und gemäß ihrer Stellung zur Gelenkoberfläche, zu Frakturfragmenten und gegebenenfalls zu Weichteilen beurteilen. Somit lässt sich das Siremobil Iso-C 3D ebenfalls zur markerlosen Navigation einsetzen (Ritter et al., 2002).

Während bei bisherigen Durchleuchtungseinheiten Projektionen aus meist zwei Ebenen ohne dreidimensionale Rekonstruktion erfolgten, und die Stellung des Isozentrums zur Optimierung der Beurteilbarkeit verändert werden konnte, ist dies beim Siremobil im 3D-Modus nicht mehr möglich. Hier können zwar 100 Betrachtungswinkel verarbeitet werden, die Stellung des C-Bogens zum Durchleuchtungsfokus darf aber während des Rotationsvorgangs nicht mehr verändert werden. Andernfalls ist die Errechnung eines dreidimensionalen Datensatzes nicht mehr durchführbar. Dadurch ergeben sich neue Schwierigkeiten, die in dieser Form bei herkömmlichen intraoperativen Röntgenverfahren nicht bekannt waren.

2.3 Operationstisch

Als Patientenaufgabe stellte die Firma Maquet einen Operationstisch zur Verfügung, bei dem optional anstelle der herkömmlichen Rückenunterstützung eine Rückenplatte aus Karbon befestigt werden konnte.

Der auf einer stationären OP-Tisch-Säule fixierte Tisch ist 230 cm lang, und hat eine Gesamtbreite von 60 cm, durch die Tischplatte, die sich nach kranial verjüngt, liegt die Breite im Kopfbereich bei 54 cm.

Die Höhe der Auflagefläche kann zwischen 74,5 und 117,5 cm variiert werden. Durch die Längsverschiebung von bis zu 105 cm ergibt sich nach kranial ein frei mit dem Siremobil zu umrundender Bereich mit Längen von zwischen 45 und 150 cm, analog dazu wird fußwärts eine Längsverschiebung von bis zu 113 cm erreicht. Sowohl nach links als auch nach rechts lässt sich der Tisch um 25 Grad kippen, kopf-, bzw. fußtiefe Neigungen können bis zu 15 Grad erreicht werden.

Alle motorischen Bewegungen werden durch eine kabellose Fernbedienung angesteuert.

Um die Mobilität zu erhalten, kann ein Transporter unter den Tisch eingebracht werden. In Neutralstellung senkt sich der ferngesteuerte Tisch auf den Wagen, sobald die mechanischen Verbindungen verankert sind, wird der Sockel per Teleskop vom Boden abgehoben.

Die neurochirurgische Rückenplatte besteht vollständig aus CFK, was eine Strahlendurchlässigkeit von jeder Position ergibt. Sie ist über Aufnahmekolben, die durch „Druckknöpfe“ gesichert sind, kompatibel zum OP-Tisch. An ihrer

Kopfseite ist eine Schwalbenschwanznut eingelassen, die es ermöglicht, gegebenenfalls notwendige Kopfstützen oder eine Tischverlängerung, ebenfalls aus Karbon-Material, über einen Adapter zu befestigen.

Die CFK-Rückenplatte hat eine Gesamtlänge von 90 cm, ihre Breite variiert von 60 cm im Becken- und Hüftbereich auf eine Minimalbreite von 39,5 cm im Kopfbereich. Ohne das mitgelieferte Spezialschaumkernpolster, das an die Platte angeklebt werden kann und ca. 6 cm dick ist, hat die Platte eine Höhe von ca. 7 cm.

2.4 Puppe und formalinfixierte Humanpräparate

Zur Beurteilung der Bildqualität der nach einem 3D-Scan errechneten Schnittbilder stand für die Durchleuchtung ein formalinfixiertes, komplettes Humanpräparat zur Verfügung, mit dem die Darstellung aller anatomischer Regionen in allen Lagerungsvariationen ermöglicht werden konnte.

Um während der Lagerungssequenzen ohne eigentliche Erprobung des Durchleuchtungsmodus nicht ausschließlich auf formalinfixierte Humanpräparate zurückgreifen zu müssen, wurde speziell für diese Lagerungsstudien eine Ausstellungspuppe zur Verfügung gestellt.

Bei der verwendeten Puppe handelt es sich um eine handelsübliche Schaumstoffschaufensterpuppe mit Drahtskelett, deren Größe und Proportionen annähernd denen eines erwachsenen Menschen entsprachen.

Bei einer Gesamtlänge von 175 cm betrug die mediale Beinlänge 83 cm bis zur vermuteten Symphyse, die laterale 96 cm bis zum ungefähren Sitz der Spina iliaca

anterior superior. Gemessen vom Mittelpunkt der Verbindungslinie zwischen den auf dieser Höhe angesiedelten Spinae iliacae anteriores superiores und der Höhe des Halsansatzes ergab sich eine Rumpflänge von 49 cm.

Die Kopf-Hals-Partie erstreckte sich über eine Gesamtlänge von 30cm, wobei vom Halsansatz bis zur Kinnhöhe eine Halslänge von 9 cm gemessen wurde, und der Kopf somit 21 cm maß.

Bei einer Abduktion von 90° betrug der Fingerspitzen-Handgelenk-Abstand 20 cm, die Unterarmlänge bis zum mutmaßlichen Olecranon betrug 27 cm, für die Oberarmlänge bis zur Achsel ergaben sich 28 cm. Daraus resultiert eine Gesamtlänge des Arms von den Fingerspitzen bis zur Achsel bei 90° abduziertem Arm von 75 cm.

Die maximale Schulterbreite von 48 cm ergänzte sich zu einem Umfang an der breitesten Stelle von 115 cm. Der Brustumfang lag ebenso wie der Hüftumfang bei 94 cm. Für den Taillenumfang ergaben sich 79 cm.

Auch die Umfänge der Extremitäten und des Kopfes entsprachen denen eines durchschnittlichen normalgewichtigen Menschen. Der Wadenumfang an der breitesten Stelle (34 cm ab Fußsohle) war 38 cm, der des Oberschenkels (67 cm ab Fußsohle) 47 cm, das Kniegelenk umfasste 33 cm.

Gemessen von der Fingerspitze des Mittelfingers lag die umfangreichste Stelle des Unterarms (28 cm) bei 40 cm, die des Oberarms (30 cm) bei 57 cm.

Der Kopfumfang betrug an der breitesten Stelle 60 cm.

2.5 Durchleuchtungsfähiges Material

Aufgrund den vorgefertigten, den Anforderungen für den herkömmlichen OP-Gebrauch angepassten Formen und Bewegungsausmaßen des Tisches und seiner

Ergänzungselemente war es nicht immer möglich, eine Rotation des Bildwandlers in vollem Ausmaß zu erreichen. Zusätzlich erschwerten Materialkomponenten der Bauteile eine ausreichend beurteilbare Darstellbarkeit der zu durchleuchtenden Region. In erster Linie erhöhten die Metallelemente der tragenden Strukturen die Artefaktbildung.

Um sowohl diese zu reduzieren, als auch eine vollständige oder zumindest eine für eine beurteilbare Bildgebung ausreichende Orbitalbewegung zu gewährleisten, kamen neu entwickelte Konstruktionen und Materialien zum Einsatz, anhand derer die Ansprüche erarbeitet wurden, die im Gebrauch der Kombination von Operationstisch und Siremobil entstanden.

Vor allem durchleuchtungsfähige Materialien standen hierbei im Vordergrund, bei denen der Artefakte bildende Metallanteil in den Durchleuchtungsgebieten auf ein Minimum reduziert wurde.

Dabei handelte es sich um zum Tisch kompatible Carbon - und GFK- Platten, aber auch aus Naturfaserverbundstoff speziell für diese Studie gefertigte Auflagen, deren Form den medizinisch relevanten Lagerungsanforderungen entsprechen, sowie der Orbitalbewegung des C-Bogens ausreichend Raum bieten sollten.

2.6 Methode

Mit dem Siremobil Iso-C 3D und dem Operationstisch von Maquet wurde an Leichenpräparaten sowie an einer Schaufensterpuppe die Praktikabilität der Orbitalbewegungen um verschiedene Foci getestet.

Vor allem die in der Unfallchirurgie und operativen Orthopädie relevanten anatomischen Regionen waren von großem Interesse. Da der Einsatzschwerpunkt

des Iso-C 3D größtenteils bei Operationen in Gelenknähe liegt, wurde hierauf das meiste Augenmerk gelegt.

Um ein sinnvolles und gründliches Arbeiten zu gewährleisten, wurde ein Arbeitsschema entwickelt, das sich nach den anatomischen Regionen gliederte: angefangen von der unteren Extremität, die ebenso wie die daraufhin untersuchte obere Extremität in distale und proximale Durchleuchtungsgebiete aufgeteilt war. Als drittes Gebiet wurde die Wirbelsäule entsprechend ihrer Anatomie von Hals-, über Brust- zur Lendenwirbelsäule sowie die Beckenregion betrachtet.

Um jedes dieser Schwerpunktgebiete wurde nach den bisher gängigen Methoden in den bisher verwendeten Lagerungen mit dem Siremobil Iso-C 3D rotiert. Zusätzlich wurden auch Patientenpositionen und Tischstellungen angewandt, die beim Gebrauch mit herkömmlichen C-Bögen nicht vonnöten oder unmöglich waren. Auch das Siremobil wurde von jedem möglichen Winkel zu Tisch und Patient eingefahren.

Auf diese Weise konnten Probleme aufgezeigt werden, die sich im Gegensatz zu den C-Bögen ergaben, mit denen nur im 2D-Modus durchleuchtet werden konnte. Diese Probleme waren einerseits in den Tischkonstruktionen begründet. Hier war die Form der benötigten Anschlussplatten für die Kombination mit dem Siremobil inkompatibel.

Andererseits mussten unter Berücksichtigung von Lagerungsschäden und der eingeschränkten Motilität der zu durchleuchtenden Gelenke Positionierungen verworfen werden, bei denen eine volle Rotation des C-Bogens um das Präparat oder die Puppe möglich wäre.

Anhand der verwandten Schaufensterpuppe konnten auf diese Weise verschiedene Lagerungsoptionen bezüglich Lagerungsschäden und Kollisionen mit dem Siremobil Iso C 3D ausgetestet werden.

Bei praktikablen Positionierungen konnte die Bildqualität der zu durchleuchtenden anatomischen Region anhand eines 3D-Scans um den jeweiligen Fokus am formalinfixierten Humanpräparates dargestellt und beurteilt werden.

3. Lagerungsarten in Orthopädie und Unfallchirurgie

Um postoperative Lagerungsschäden zu vermeiden, sollten Lagerungsverantwortlichkeiten der jeweiligen anatomischen Region sowie die peri- und intraoperative Überwachung ebenso wie das standardisierte Vorgehen bei Lagerung und Polsterung klar festgelegt sein (Mc Ewen, 1996; Krettek, 2002; Weissauer, 2002).

Im Folgenden wird auf Standard-Lagerungsarten in Orthopädie und Unfallchirurgie und mögliche Modifikationen unter Berücksichtigung der Prävention von Lagerungsschäden eingegangen.

3.1 Rückenlage

3.1.1 Variationen

3.1.1.1 Einfache Rückenlage

Die Anforderungen an die einfache Rückenlage sind nicht so umfangreich wie an ihre Variationen und an Seiten- oder Bauchlage. Trotzdem können z.B. bei ungenügender Polsterung oder falscher Lagerung Komplikationen resultieren, deren Therapie sich oft als langwierig erweist.

Im Folgenden soll auf die korrekten Positionierungen, exponierte anatomische Beschaffenheiten und deren speziellen Schutz vor Lagerungsschäden eingegangen werden.

Der Patient wird auf den Rücken gelegt, der Kopf kann in einer Kopfschale fixiert werden. Die Arme sind ausgelagert, um Infusion und Oxymeter anzuschließen, gegebenenfalls müssen sie am Körper angelagert sein, um den Zugang zum Operationsfeld nicht zu behindern.

Die Beine liegen parallel auf dem Tisch.

Diese Grundposition ist Ausgangslage für einige Variationen, die entsprechend ihren Operationsanforderungen wie z.B. Lokalisation des Operationsfeldes oder Zugangsweg angewandt werden (Rüedi et al, 1984).

3.1.1.2 Lawn-Chair-Position

Eine in Unfallchirurgie und Orthopädie häufig eingesetzte Lagerungsvariation der Rückenlage ist die „Lawn-Chair-Position“ oder Beach-chair-Lagerung. Sie wird bei Operationen an der proximalen oberen Extremität und der Schulter bevorzugt.

Bei dieser Lagerung wird der Patient aus der Mittellinie auf die Seite des Tisches gelegt, von der der Zugangsweg gewählt wird, so dass die verletzte Schulter über den Tischrand hinausragt. Der auszulagernde Arm für die Narkoseinfusionen auf der nicht zu operierenden Seite rutscht dadurch ein wenig mehr auf den Tisch.

Zur Prävention eines Sturzes vom Tisch wird auf der zu operierenden Seite eine Seitenstütze im Thoraxbereich angebracht.

Kopfwärts bedarf es meist eines gemeinsamen Abschlusses der Schulter mit der Tischkante. Der Oberkörper wird um ca. 30 bis 60 Grad erhöht.

Der Kopf des Patienten wird in einer Kopfschale fixiert, dabei sollte er zur gesunden Seite gedreht werden.

Bei einigen Tischen wird für die Positionierung des Kopfes eine orthograd zur Tischlängsachse verlaufende Gleitschienenverlängerung verwendet. Hier gilt es,

eine den Operateur im Bewegungsausmaß nicht oder wenig einschränkende Länge zu verwenden.

Diese Lagerung ermöglicht ausreichende Bewegungsfreiheit und Aktionsradius von ventral wie auch von lateral (Anderton, 1991).

3.1.1.3 Trendelenburg-Position

Eine in der Unfallchirurgie selten angewandte Lagerung ist die sogenannte Trendelenburg-Position. Bei ihr ist bei gestrecktem Körper der Kopf abgesenkt und die Beine angehoben. Die Körperachse schließt mit der Horizontalebene maximal einen Winkel von 35 bis 40 Grad ein.

Zur Sturzprophylaxe kopfwärts wird der Kopf parallel zur Horizontalen mittels Lagerungspolster, Keilkissen oder soweit am Operationstisch vorhanden, per Fernbedienung gesteuerte Scharniergelenke im HWS-Bereich, unterstützt.

Die Knie können, um Abrutschen des Körpers der Schwerkraft entsprechend entgegenzuwirken, bei gestrecktem Hüftgelenk, leicht angewinkelt werden, auch dies lässt sich normalerweise über den Tisch selbst einstellen. Allerdings wird diese unphysiologische Haltung vom Patienten nicht immer ohne postoperative Schmerzen toleriert. Bei moderneren Tischen ist die Auflage oft bereits mit einem Belag ausgestattet, der dem Abgleiten entgegenwirken soll.

Die Trendelenburg-Position ermöglicht die Kranialisierung abdomineller Strukturen, so dass sie hauptsächlich bei abdominalchirurgischen, gynäkologischen und urologischen Eingriffe eingesetzt wird. Denkbar wäre sie zudem bei ventralem Zugangsweg zur Lendenwirbelsäule (Rüedi et al, 1984).

Die Risiken dieser Lagerung bestehen darin, dass durch die Lageveränderung, die man von der einfachen in die Trendelenburg-Rückenlage vollzieht, einige Komplikationen auftreten können. Die beiden wichtigsten sollen kurz erwähnt werden.

Durch das Abknicken des Kopfes und das Absenken des Oberkörpers aus der Horizontalebene kann der Tubus in einen Hauptbronchus, meist den rechten, dislozieren. Deswegen sollte nach der Umlagerung nochmals der Sitz des Tubus überprüft werden.

Des Weiteren kann durch Einsatz relaxierender Narkotika Hemmung der Blutoxygenierung resultieren.

Durch Diaphragmarelaxation wird einerseits Beatmung notwendig, andererseits positionieren die nach kranial gelagerten abdominellen Strukturen das Zwerchfell lungenwärts. Vor allem die dadurch eingeschränkte Endinspiration in Narkose lässt die Trendelenburg-Position für einige Operateure und Anästhesisten obsolet erscheinen (Anderton, 1988; Ostrow et al., 1994).

3.1.1.4 Anti-Trendelenburg-Position

Die Anti-Trendelenburg-Position stellt die spiegelbildliche Lagerung dar. Hier sind der Kopf hoch- und die Beine tiefgelagert. Der Winkel zwischen der Horizontalen und der Körperachse sollte nicht zu groß sein, allerdings sind die Risiken nicht vom selben Ausmaß wie bei der Trendelenburg-Lagerung.

Da durch die Anti-Trendelenburg-Position ein venöser Rückstau in die Venae jugulares und damit in Kopf und Hals vermieden wird, ist diese Lagerung für Operationen in diesen Regionen besonders geeignet.

Insbesondere bei intrakraniellen Operationen, des Mittelohrs und bei plastischen Eingriffen findet diese Variation Verwendung.

In Unfallchirurgie und Orthopädie spielt die Anti-Trendelenburg-Position bei operativen Versorgungen an der Halswirbelsäule eine Rolle.

Zur Sturzprävention des narkotisierten Patienten wird eine gepolsterte Stütze im rechten Winkel zur Tischebene auf Fußhöhe montiert. Die Arme werden seitlich abgestützt, um ein Herunterhängen zu vermeiden.

Die Gefahr bei dieser Lagerung ergibt sich aus der Pathophysiologie: vergleichbar mit langen stehenden Positionen können in dieser Lagerung in Narkose ohne relevante Zirkulationsmuskelpumpe Mehrbelastungen des Herz-Kreislaufsystems resultieren.

Hypotensive Vorgehensweisen durch die Anästhesie werden über das Maß verstärkt. Auf diese Besonderheit muss geachtet werden, da es andernfalls zu entsprechenden Komplikationen kommen kann. Darüber hinaus können zeitgleich v.a. kraniale Gefäße kollabieren und Minderperfusionen der cerebralen Strukturen resultieren (Anderton, 1988).

3.1.1.5 Spezielle Lagerung für Knie-Operationen

Für Knieoperationen, insbesondere arthroskopische, positioniert man den Patienten in einfacher Rückenlage, nur ab dem Kniegelenk unterscheidet sich diese spezielle Lagerung. Hier ist der Tisch um 90 Grad abgeklappt, oder, wenn möglich, abmontiert.

Bei dieser Lagerung polstert man den Oberkörper vergleichbar der einfachen Rückenlage, unter die flektierten Knie kommen Polsterungen, das zu Operierende wird einige Zentimeter höher gelagert.

3.1.1.6 Lauenstein-Lagerung

Vor allem für Operationen des proximalen Femurs stellt die Lauenstein-Lagerung eine weitere Option dar, den Patienten zu positionieren.

Hierbei liegt der Patient auf dem Rücken, das gesunde Bein wird ausgelagert: in der Hüfte wird es bei 40 bis 50 Grad Abduktion knapp 90 Grad gebeugt. Das Knie wird ca. 60 Grad flektiert. Je nach Lokalisation der Fraktur bzw. des zu operierenden pathologischen Befundes kann das Bein im Hüftgelenk leicht innenrotiert werden, so dass der Fuß nach lateral zeigt.

Das zu operierende Bein wird bei leichter Abduktion in Neutralposition gelagert.

Die Lauenstein-Lagerung ermöglicht bei Gebrauch konventioneller, zweidimensionaler C-Bogen-Durchleuchtung überlagerungsfreie radiologische Darstellungen des proximalen Femurs im seitlichen Strahlengang.

3.1.2 Risiken und Prävention von Lagerungsschäden

Die Prävention von Lagerungsschäden lässt sich aus den oben beschriebenen Lagerungsvarianten und den im Folgenden aufgezählten vorrangig gefährdeten Strukturen herleiten.

Der Patient sollte intraoperativ so wenig wie möglich bewegt werden, Lageveränderungen verursachen erhöhte Risiken, Polsterungen verrutschen und provozieren auf diese Weise Druckschäden.

Die Arme sollten an Armstützen fixiert werden, da sie vom Tisch rutschen könnten. Die Befestigung vermeidet u.a. Schulterkapselverletzungen, Schläge gegen den Arm und plötzliche Zugschäden des Plexus brachialis.

In jeder Lagerungsposition kann es bei ungenügender Beachtung von Lagerungsregeln nach 30 bis 40 Minuten zu Nervenschäden kommen (Anderton, 1988).

Gegenüber Bauch- und Seitenlage sind die bei der Rückenlage auftretenden Schwierigkeiten wie Drucknekrosen von Haut, Muskeln und Nerven allerdings weniger aufwändig zu umgehen, die Vermeidung von Lagerungsschäden durch exaktes Positionieren von Lagerungskissen und –polster gestaltet sich im Vergleich einfacher.

Bei der Rückenlage sind vor allem folgende Nerven stark gefährdet:

Zugschäden des Plexus brachialis aufgrund der anatomischen Nähe zu Humeruskopf, erster Rippe und Clavicula können bei Abduktion des Arms über 110° auftreten. Zugkräfte können bei Abduktion über 90° durch seitliche Rotation und Inversion der Halswirbelsäule zum abduzierten Arm reduziert werden. Auf diese Weise reduzieren sich Risiken für passagere oder persistierende Folgeschäden wie Paresen, Hyp- und Dysästhesien.

Im Sulcus nervi ulnaris am Epikondylus medialis humeri resultieren durch die fehlende Ausweichmöglichkeit des Nerven Druckschäden bei unzureichender Polsterung oder Lagerung des Ellenbogens auf Kanten.

Ist eine Lagerung auf dem Tisch mit entsprechender Abstützung nach lateral nicht praktikabel, ist der Arm auf einer Lagerungshilfe auszulagern. Hier werden zudem Gelkissen zur Druckschadenprävention untergelegt.

Beim Gebrauch von Narkosebügeln und angelagertem Arm auf der Seite der am Operationstisch befestigten Halterung werden Druckläsionen des Nervus radialis umgangen, indem der Narkosebügel auf Kopfhöhe angebracht wird (Anderton, 1991).

Um Behinderungen und unphysiologische Belastungen auf ausgelagerte Arme zu vermeiden, ist bei Operation mit vielen Positionsveränderungen des Operateurs auf die Aufhängung des Arms auf der zu operierenden Seite zu achten. Dies gilt z.B. für Implantationen von Hüftprothesen.

Die Aufhängung erfolgt hierbei mittels am Narkosebügel montierten, gepolsterten Armfesseln (Sommer, 1999).

Neben diesen nervalen Schäden können bei fehlender Polsterung Dorsalgien und Lumbalgien auftreten. Relaxation und daraus folgende eingeschränkte muskuläre Unterstützung insbesondere der lumbalen Lordose kann optional durch aufblasbare oder Gelkissen partiell ausgeglichen werden, so dass postoperative lumbosakrale Beschwerden reduziert oder vermieden werden können (Anderton, 1988).

Hyperextensionsstellung der Kniegelenke können intraoperative Kreuzband- und Kapselschäden theoretisch hervorrufen, hyperextensionsbegünstigende Belastungen zum Beispiel durch Aufstützen von Operateur oder Operationspersonal erhöhen das

Risiko zusätzlich. Anderton stellt fest, dass in der Literatur zwar keine derartigen Verletzungen beschrieben seien, vernünftigerweise sollten ähnliche Risiken jedoch vermieden werden.

Präventiv werden die Kniegelenke in Rückenlage, soweit vom Zugangsweg zulässig, mit Polsterrollen unterstützt, zeitgleich ist darauf zu achten, dass durch hohe Fersenpolsterungen ohne Unterstützung der Kniegelenke Hyperextensionsbelastungen derselben begünstigt werden.

Leichte Kniegelenksflexion wird bei entsprechenden Operationstischen zusätzlich mittels Absenken der unterschenkelunterstützenden Tischanteile in den Tischscharnieren erreicht (Anderton, 1988; Sommer, 1999; Feyerabend, 1964).

Um Risiken von Druckschäden der Haut und daraus resultierenden Nekrosen oder Dekubitalulcera zu minimieren, müssen insbesondere exponierte Auflageregionen mit geringem Weichteilmantel, wie Occiput, Fersen und Sacrum ausreichend durch Kissen und Lagerungspolster gepolstert sein (Anderton, 1988; Sommer, 1999). Derzeit werden in vielen deutschen operativ tätigen Kliniken Gelkissen und –matten in verschiedenen Formen eingesetzt.

Nach Einleitung der Narkose ist zu kontrollieren, dass der Patient nicht die Beine übereinander geschlagen hat. Durch Kompression von Vena saphena magna, parva oder Arteria dorsalis pedis gegen ossäre Strukturen ohne ausreichenden Weichteilschutz können abhängig von der Position der Beine Minderdurchblutung der entsprechenden Areale, arterielle Stase sowie tiefe Beinvenenthrombosen resultieren. Durch ungenügende Kollateralisierung begünstigte Thrombosen wiederum stellen ein erhöhtes Risiko für Lungenembolien dar.

Darüber hinaus können durch intraoperative Druckerhöhung der beschriebenen Gefäße postoperativ Kompartmentsyndrome auftreten.

In der Lawn-Chair-Position ist darauf zu achten, dass der Kopf nicht überstreckt wird und gut fixiert ist. Damit der Körper nicht nach kaudal abrutschen kann, muss unter die Knie ein dickes Polster geschoben werden, unter die Fersen oder die Unterschenkel kommt ein dünnes.

Alternativ können Polsterrollen und Gelkissen eingesetzt werden. Beim Gebrauch von seitlichen Stützen zur Sturzprävention des Oberkörpers vom Tisch verhindern kleine Polster oder Gelkissen zwischen Oberkörper und Stütze übermäßige Druckbelastungen.

3.2 Seitenlage

3.2.1 Variationen

3.2.1.1 Einfache Seitenlage

In einfacher Seitenlage ist die Körperachse in Sagittal- und Frontalebene gerade gelagert, die nicht zu operierende Seite liegt auf.

Beide Arme werden rechtwinklig antevertiert, der untere auf einer Armstütze fixiert, der obere an Narkosebügel montierten, gepolsterten Armfesseln befestigt.

Das aufliegende Bein wird im Hüftgelenk circa 30 – 45° und im Kniegelenk ungefähr rechtwinklig flektiert, so dass sich eine Position des Patienten ergibt, die durch ventral und dorsal angebrachte Polsterstützen stabilisiert wird. Bei Hüft- und Beckenoperationen werden diese Stützen kopfwärts angebracht, ventral im Bereich des distalen Sternums, dorsal am thorakolumbalen Übergang. Eingriffe mit kranial gelegenem Zugangsweg bedingen Befestigung der Stützen in Beckenhöhe (Rüedi et al., 1984).

Zusätzlich werden die Knie mit einem Gurt um den Tisch fixiert (Sommer, 1999).

3.2.1.2 Abgeknickte Seitenlage

Die abgeknickte Seitenlage kann bei orthopädischen und traumatologischen Eingriffen, insbesondere bei ventralen, lumbalen und thorakolumbalen Spondylodesen mit seitlichem Zugang, eingesetzt werden.

Diese Lagerungsoption ermöglicht aufgrund von Straffung dermalen und muskulärer Strukturen einen vereinfachten Zugangsweg, zudem resultiert aus dieser Lagerung ein erhöhtes Platzangebot zwischen Beckenkamm und Rippen.

Bei horizontaler Oberkörperlage sind die Beine im Hüftgelenk zum Boden hin abgeknickt. Bei derzeit handelsüblichen Operationstischen wird die gesamte Tischebene fußwärts gekippt, so dass die untere Extremität bodenwärts zeigt. Anschließend wird der Oberkörper wieder parallel zum Boden gelagert (Feyerabend, 1964).

3.2.2 Risiken und Prävention von Lagerungsschäden

Bei den Operationen, bei denen die Seitenlage verwendet wird, handelt es sich meistens um zeitintensive und aufwändige Vorgehen. Diese Lagerungsart ist grundsätzlich ein Kompromiss zwischen Stabilität und ausreichendem Schutz vor Lagerungsschäden.

Durch die komplizierte Lagerung des Patienten und die kleinere Auflagefläche des zu Operierenden auf dem Operationstisch kann es leichter zu Schäden kommen als in Bauch- oder Rückenlage.

Prinzipiell gilt festzustellen, dass insbesondere dermale, muskuläre und nervale Strukturen im Bereich von knöchernen Prominenz gefährdet sind. Hier reicht der körpereigene Weichteilschutz nicht aus, langwierigen Druck- und Zugbelastungen standzuhalten.

Um den seitengelagerten Patienten vor Lagerungsschäden zu schützen, werden zusätzlich zur gepolsterten Tischauflage eine Reihe von Polsterkissen und Stützen eingesetzt. Hier können Schaumgummilagerungspolster, Watterollen oder Gelkissen verwendet werden.

Um Drucknekrosen des aufliegenden Ohrs zu vermeiden, wird der Kopf in einem hufeisenförmigen Polster oder auf einem Lochkissen gelagert.

Diese Lagerungshilfe ist auf einer Höhe anzubringen, die es ermöglicht, die Halswirbelsäule in ihrer physiologischen Haltung in der Longitudinalachse zu belassen. So können übermäßige Zugbelastungen der cervicalen Strukturen, v.a. des deckenwärts gerichteten Plexus brachialis, verhindert werden.

Ätiologisch vergleichbar sind Hautschäden am Beckenkamm und am Knie, deren Folge Schmerzen, Parästhesien und Nekrosen sind.

Besonders gefährdet ist auch der aufliegende M. deltoideus, der durch Auslagerung des Arms als Hauptstütze und -auflagefläche des Oberkörpers dient. Hieraus ergeben sich ossär verursachte Kompressionsbelastungen, die durch das Rumpfgewicht verstärkt werden und damit zu Drucknekrosen, Schmerzen und Funktionsschäden des M. deltoideus führen können.

Zugschäden der cervicalen, paravertebralen Muskulatur können in Seitenlage durch ungenügende Unterstützung des Kopfes auftreten.

Bedingt durch die Relaxation in Narkose wird die Halswirbelsäule bodenwärts flektiert, woraus Überdehnungen der deckenwärts gerichteten, sowie Kontrakturen der bodenwärts positionierten Muskulatur resultieren können.

Um eine weitere Zugentlastung der nicht aufliegenden Schulterpartie zu gewährleisten, wird zusätzlich zur kopfunterstützenden Lagerungshilfe der obere Arm auf dem Narkosebügel oder vergleichbarer Stützen kopfwärts fixiert, d.h. bei 90° Anteversion wird der Schulter-Arm-Komplex im Scapulo-Thorakal-Gelenk nach kranial rotiert. Diese Position ermöglicht zudem vergrößertes Platzangebot für Operationen im thorakolumbalen Bereich.

Zwischen das untenliegende flektierte und das oben liegende extendierte Knie wird ein Schaumgummilagerungskissen geschoben, das mindestens vom proximalen Drittel des Oberschenkels bis kurz über den Auflagepunkt von oberer Tibia mit unterem M. gastrocnemicus reichen sollte. Besonders gilt es hier, auf die exakte Polsterung vor allem der distalen Extremität zu achten, da sowohl Tibia als auch das Kniegelenk des oben liegenden Beins ohne suffizienten Polsterschutz aufgrund der punktuellen Druckbelastung Muskel- und Hautnekrosen provozieren.

Ist eine optimale Lagerung und Polsterung nicht gewährleistet, kann die Seitenlage schwerwiegende Langzeitschäden exponierter Nerven provozieren. Die Folge sind Hypästhesien, Paresen und Schmerzen.

Unter den aufliegenden Thorax wird auf Höhe der Achsel und der Thoraxwand eine Watte- oder Polsterrolle geschoben, so dass neben Haut- auch Plexus brachialis – Kompressionen des aufliegenden Armes reduziert werden.

Bei den ausgelagerten, durch Ausleger unterstützten Armen sind vor allem Kompressionsschäden zu vermeiden. Besondere Beachtung sollten die exponierten Strukturen erhalten.

Durch die Auslagerungshilfen können durch ungenügenden Schutz Druckschäden des Nervus radialis insbesondere im Verlauf um den Humerus entstehen, so dass Druckexpositionen am Humerus zwischen Thoraxwand und Auslagerungshilfe verhindert werden müssen.

In Seitenlage sind an den unteren Extremitäten insbesondere Nervus peroneus communis und Nervus ischiadicus vor Druckexpositionen zu schützen.

Der Nervus peroneus communis schlingt sich um das Fibulaköpfchen, so dass in Seitenlage vor allem das aufliegende Bein vermehrtem Druck ausgesetzt ist, der durch Polster oder Gelkissen ausreichend reduziert werden muss.

Vorwiegend bei kachektischen Patienten stellt die Austrittsstelle des Nervus ischiadicus aus dem Becken, das Foramen ischiadicum majus zwischen der ischiokruralen Muskulatur, eine potentielle Lokalisation von Druckschäden dar. Besonders bei reduzierter Ausprägung des Weichteilmantels bedarf diese Region in Seitenlage ausgiebigen Lagerungsschutz.

3.3 Bauchlage

3.3.1 Variationen

3.3.1.1 Einfache Bauchlage

In der Bauchlage wird der Patient so auf den Tisch gelagert, dass sein Kopf in einer Kopfschale am oberen Ende des Tisches liegt. Die Arme können bei Bedarf bei gleichzeitiger Pronation und Anteversion im thorakoscapulären Gelenk nahezu endgradig abduziert werden. Dies ist vor allem bei Operationen im Lendenwirbelsäulenbereich üblich. So kann der Anästhesist die Arme z.B. für Infusionen relativ problemlos nutzen. Bei Operationen im Halsbereich werden die Arme am Körper anliegend gelagert. Ggf. kann das Operationsgebiet durch zusätzlichen Zug an den Armen weiter aufgespannt werden.

Die Beine des Patienten liegen parallel auf dem Tisch.

Um einen besseren Zugang zu erhalten und das Operationsgebiet aufzuspannen, besteht die Möglichkeit, vor allem bei Zugängen zu Brust- und Lendenwirbelsäule unter Becken und Abdomen ein Rahmenpolster zu fixieren, die diesen Bereich im Vergleich zu Kopf und Schultern sowie Beine anhebt (Anderton, 1988).

Auf diese Weise resultieren Hyperkyphosen insbesondere an lumbaler und thorakaler Wirbelsäule, wodurch z. B. dorsale Instrumentationen durch vergrößertes Platzangebot erleichtert werden.

3.3.1.2 Georgia prone position

Die Georgia prone position ist eine Variation der Bauchlagerung, die vorwiegend bei operativen Versorgungen im LWS -Bereich angewandt wird. Sie hat den

Vorteil, die physiologische Lendenlordose auszugleichen. Anhand dieser Positionierung lässt sich eine vereinfachte operative Darstellung der lumbalen Strukturen durch Druckentlastung der Lendenwirbelsäule erreichen. Dies erreicht man durch Flexion von Hüfte und Knie um 90 Grad aus der einfachen Bauchlage. Die Unterschenkel werden entsprechend von einer angebauten Tischplatte unterstützt. Unter den Bauch wird ein Polster auf Lendenhöhe angebracht, das vor allem diesen Bereich anheben soll. Um die Distanz des Operateurs zum Zugangsareal zu verringern, werden die Arme antevertiert und flektiert nach kranial gelagert (Anderton, 1988).

3.3.1.3 Mekka-Lagerung

Durch Modifikation der Georgia prone position können intraabdominelle Druckerhöhungen und daraus resultierende intraspinale Blutdruckerhöhungen bei Eingriffen am Wirbelkanal reduziert werden. Aufgrund von verminderter Kompression der Vena cava inferior kann der Kollateralkreislauf über das epidurale Venengeflecht entlastet werden.

Zudem sind intraoperative, mechanische Belastungen auf Lebersinus, inguinale und Jugularvenen verringert.

Nach Intubation und Narkoseeinleitung in Rückenlage auf einem gesonderten Tisch wird dieser seitlich am Operationstisch fixiert. Die Beine werden in Hüft- und Kniegelenken flektiert, so dass die Fußsohlen mit der Tischunterlage vollen Kontakt haben. Nun erfolgt die Umlagerung auf den Operationstisch zunächst in Georgia prone position und die Befestigung einer Polsterrolle fußwärts am Ende des Tisches. Diese wird über ein umgekehrtes U aus Lagerungsbügeln auf Höhe der Glutealmuskulatur und so weit nach fußwärts eingestellt, dass die Haltung des

Patienten bei Kontakt der Glutealmuskulatur mit dem Polster der eines betenden Muslimen gleicht.

Die Hauptauflageflächen stellen somit neben der Glutealmuskulatur die ventrale Thoraxwand, die auf einem zusätzlichen Polsterquader auf dem Tisch gelagert werden kann, und die antevierten und leicht abduzierten Arme dar, die auf seitlich am Tisch angebrachten Stützen gepolstert werden, sowie die auf Gelmatten gepolsterten Unterschenkel.

Anderton et al. beschreiben bei über dem Kopf gelagerten Armen eine Plexus brachialis – Lähmung nach LWS-Operation (Anderton et al., 1994).

Die Lagerung des Kopfes erfolgt in seitlicher Rotation auf einem Ringgelkissen.

Dabei ist auf kompressionsfreie Lagerung des Abdomens sowie Vermeidung von Druckbelastung auf die exponierten Strukturen zu achten.

Abschließend wird der gesamte Tisch kopfwärts abgesenkt und die, die Beine unterstützende, Lagerungshilfe im Scharniergelenk des Tisches bodenwärts gesenkt. Dies bietet dem Operateur durch Kyphosierung der Lendenwirbelsäule vergrößerte Intervertebralaräume und somit erleichterte Zugangswege bei Diskektomien oder Spinalkanaldekompensationen der LWS.

Aufgrund von durch die Lagerungshilfe hervorgerufenen Metallartefakten und Rotationsbehinderungen konventioneller C-Bogen wird die Mekkagerung bei dorsalen Instrumentation (gegebenenfalls kombiniert mit Dekompensationen) nicht eingesetzt.

3.3.2 Risiken und Prävention von Lagerungsschäden

In Bauchlage ist sorgfältige Polsterung der exponierten Strukturen ebenso wie ihre exakte prophylaktische Lagerung unbedingt erforderlich. Im Folgenden wird beschrieben, auf welche Techniken besonderes Augenmerk gelegt werden sollte.

Die Narkoseeinleitung mit Intubation erfolgt vor Umlagerung in Rückenlage. Durch das Umpositionieren des dann vollständig bewegungsunfähigen und bewusstlosen Patienten zuerst in Seiten-, und dann in Bauchlage ist die Gefahr, Lagerungsschäden auszulösen, deutlich erhöht.

Beim Umlagern sollten Hyperextensions- sowie laterale Hyperflexionsstellungen der cervicalen Wirbelsäule unbedingt vermieden werden. Der vollständig relaxierte Patient hat keine Möglichkeit, unphysiologische Bewegungen oder Gelenkstellungen selbstständig zu kompensieren. Aus Hyperextensionsstellungen oder –Bewegungen der Halswirbelsäule beim Umlagern oder beim Positionieren in Bauchlage ohne bauchunterstützendes Polster können Cervikalgien und Dorsalgien resultieren (Anderton, 1988).

Im Bereich der Schulter kann es bei unvorsichtigen Umlagerungen zu erheblichen Verletzungen kommen. Durch die komplette Relaxation des narkotisierten Patienten können keine Abwehr- oder Schutzbewegungen ausgeführt werden, die z.B. Subluxationen oder komplette Dislokationen verhindern könnten. Die Folge dieser unphysiologischen Bewegungen wären Kapsel-Band-Verletzungen.

Auch der Plexus brachialis kann im Lauf des Umlagerungsvorgangs Traktionsverletzungen erleiden, was zu sensiblen und motorischen Ausfällen der

gesamten oberen Extremität führen kann. Auch in Bauchlage selbst kann die Zugbelastung auf den Plexus brachialis v.a. bei nahezu maximaler Elevation und Extension der Arme ohne ausreichende schützende Pronation und / oder der ventralen Scapulatranslation zu hoch sein.

Des Weiteren können in dieser Haltung Schulterschmerzen entstehen, bei flektiertem Ellenbogengelenk klagen die so positionierten Patienten nach Operationen von wenigen Minuten über Parästhesien in den distalen Abschnitten der oberen Extremitäten (Anderton, 1988).

Außerordentlich gefährdet für Verletzungen, z.B. des Rückenmarks, sind Patienten mit osteoporotisch veränderter Halswirbelsäule, Spondylophyten, oder rheumatoiden degenerativen Veränderungen. Eine bereits bestehende Protrusion einer cervicalen Bandscheibe wirkt ebenfalls begünstigend für resultierende Verletzungen der Medulla spinalis (Anderton, 1988).

Darüber hinaus sind Strukturen, die in Bauchlage auf dem Tisch aufliegen, bzw. Strukturen, die sich subcutan unter den aufliegenden Partien insbesondere intraabdominell befinden, überwiegend Weichteile, deren Verletzungsrisiko durch unphysiologische Druckbelastung deutlich gesteigert ist.

Zusätzlich zu Drucknekrosen und Nervenschäden kann es durch die Kompression der ventralen Weichteile zu mechanischen Verschlüssen der großen Blutgefäße in der Leiste und des Abdomens kommen. Neben mangelnder arterieller Versorgung der distalen Komponenten kann durch eine Abflussbehinderung der Venen ein Rückstau und damit eine Überfüllung des epiduralen venösen Systems resultieren. Auch die hepatischen Lebersinus sind bei der Bauchlage durch ihre Nähe zur Auflagefläche gefährdet (Anderton, 1988).

Die Auflagefläche des Kopfes stellt somit das Gesicht dar. Hier gilt die erhöhte Empfindlichkeit der prominenten Grundformen zu beachten, v.a. die Haut der Nasenspitze ist extrem empfindlich gegenüber Kompressionsbelastungen.

Die Stirn sollte deshalb unter Benutzung eines Ring- oder eines Hufeisenkissens oder –Gelkissens die einzige Auflagefläche des Gesichts darstellen. Bei fehlplatziertem Polster entsteht Druck auf die Augäpfel, der bei gefährdeten Patienten passagere Glaukomsituationen auslöst, die allerdings bis zur Erblindung führen können.

Vor allem durch endgradige seitliche Rotation, die durch das Eigengewicht verstärkt wird, resultiert zu starke Zugbelastung auf den Plexus brachialis der vom Gesicht abgewandten Schulter.

Bei Lagerungen, bei denen die Hüfte des Patienten höher als dessen Brust liegt, berichtet Anderton von Patienten mit im Anschluss an die Operation bis in die paravertebrale Muskulatur ausstrahlende Cervikalgien vor allem bei Rotationsbewegungen des während der Operation in Hyperextension gelagerten Kopfes (Anderton, 1988).

Somit gilt zu beachten, dass die Halswirbelsäule in physiologischer Neutralstellung gelagert und weder hyperextendiert noch hyperflektiert wird. Auf eine Seitenrotation in Bauchlage sollte soweit möglich verzichtet werden (Anderton, 1988).

Die auf ein Hufeisenkissen gelagerte Stirn ist im Idealfall der einzige Auflagekontakt des Gesichts. Besondere Beachtung gilt hier den Augen und der Nase, Kompressionsbelastung bereits über wenige Minuten provoziert die oben beschriebenen Lagerungsschäden.

Zur Vermeidung von oberflächlichen Drucknekrosen an der unteren Extremität stützt man die Füße mit einer Schaumgummirolle oder einem Gelkissen auf Höhe der Sprunggelenke ab. Unter die aufliegenden Kniepartien wird ein flaches Polster geschoben, das Aufschürfungen und Kompressionsschäden verhindern soll.

Bei Operationen, die nicht an der cervicalen, sondern der thorakalen und/oder lumbalen Wirbelsäule durchgeführt werden, werden die Arme im Schultergelenk flektiert und antevertiert, im Ellenbogengelenk flektiert, ausgelagert, um dem am Kopfende platzierten Anästhesiepersonal erleichterten Zugang zu den für die Narkoseführung benötigten oberen Extremitäten bieten zu können, und im Rumpfbereich freien Zugang zum Operationsgebiet zu gewährleisten. Dabei ist darauf zu achten, dass der Winkel zwischen Arm und Rumpf ca. 70° nicht überschreitet. Bei Abduktion darüber hinaus können, wie bereits im Kapitel über Rückenlage beschrieben, Traktionsverletzungen des Plexus brachialis resultieren.

Die am Tisch fixierten Armauslagerungshilfen sind meist ausreichend gepolstert, um Folgeschäden zu vermeiden, trotzdem ist eine Kontrolle insbesondere der Kanten sowohl des Tisches als auch der Stützen unbedingt erforderlich. Im Bereich des mittleren Drittels des medialen Humerus sowie am medialen Epicondylus dürfen keine punktuellen und/oder länger wirkenden Kräfte auftreten, die die Nervi ulnaris oder radialis quetschen könnten.

Aus demselben Grund muss vermieden werden, dass die Arme an den Seiten des Tisches herabhängen könnten. Dies gilt speziell für den Umlagerungsvorgang, bei dem die Arme noch nicht vollständig fixiert sind.

Wie bei allen Lagerungen muss auf eine hinreichende Polsterung der exponierten Hautareale geachtet werden. Dies sind in Bauchlage vorwiegend die Oberflächen

über prominenten Knochen ohne ausreichende Weichteilpolsterung an der ventralen Seite des Patienten, insbesondere über Spina iliaca anterior superior, den Kniegelenken und den ventralen Anteilen der Füße.

Speziell durch umfangreiches Umpositionieren des Patienten aus der Rückenlage in die Bauchlage muss beachtet werden, dass bei unsachgerechter Traktion des Patienten Hautabschürfungen und Blasen entstehen. Betroffen können alle dermalen Partien sein, über das Maß hinaus gefährdet sind auch hier die oben erwähnten prominenten Lokalisationen (Anderton, 1988).

Abweichend von dieser Grundposition des zu operierenden Patienten, besteht die Option, z.B. bei Operationen an der Halswirbelsäule, die Arme seitlich an den Körper anzulagern.

Auch hier gilt es, die oben erwähnten exponierten anatomischen Beschaffenheiten vor Lagerungsschäden zu schützen. Ein Heruntergleiten der Arme vom Tisch bodenwärts kann durch seitlich am Tisch auf Ellenbogen- und Handgelenkhöhe angebrachte Abstützplatten vermieden werden. Diese müssen so gepolstert sein, dass die gesamte Kontaktfläche, insbesondere die Kanten der Stützen kein erhöhtes Risiko für Kompressionsschäden darstellt.

Eine nur in der Bauchlage verwendete Lagerungshilfe stellt das rahmenförmige Lochkissen dar, das zwischen Patient und Tisch vom Thorax- bis in den Inguinalbereich positioniert wird. Die Rahmenform reduziert Druckbelastungen der intraabdominellen Strukturen und somit intraoperative Blutungen aus den epiduralen Kollateralgefäßen bei dorsalen Instrumentationen (Sommer, 1999). Zudem resultiert aus Kyphosierung eine Vergrößerung des interlaminären Fensters, was eine intraoperative Darstellung der intraspinalen Strukturen sowie der Facettengelenke und der Pedikel erleichtert.

Beim Gebrauch dieses Rahmens ist besonders darauf zu achten, dass das Gefäß-Nerven-Bündel am Ligamentum inguinale nicht komprimiert wird. Wird die Lagerungshilfe zu weit nach medial platziert, entsteht eine unphysiologische Kompression auf das Gefäßnervenbündel (A., V., N. femoralis) nahe des Leistenbandes, was erhebliche Komplikationen wie z.B. passagere oder irreparable Ausfälle des N. femoralis, oder arterielle und venöse Thrombosen, aber auch Minderdurchblutung der unteren Extremität zur Folge haben kann (Anderton, 1988).

Bei einigen Operationen muss z.B. aus Platzgründen auf das Rahmenpolster verzichtet werden. In diesem Fall wird die Thoraxwand des Patienten mit einem rechteckigen Schaumgummipolster unterstützt, bei dem die lateralen Kanten bezüglich Position und Härte überprüft werden müssen, um das Risiko einer übermäßigen Druckbelastung der Achselweichteile auszuschließen und gegebenenfalls dieses durch weitere Polster und /oder Umpositionieren des Kissens zu reduzieren.

Bei weiblichen Patienten sollte bei jeder Variation der Bauchlage durch Lateralisation der Mammae Kompressionsschäden vermieden werden (Anderton, 1988).

Analog ist bei männlichen Patienten insbesondere bei Georgia prone position und Mekkalagerung darauf zu achten, dass Hoden und Penis frei von Kompression gelagert sind (Sommer, 1999).

4. Ergebnisse

4.1 Obere Extremität

Im Bereich der oberen Extremität ergeben sich zumindest im distalen Anteil wenige Komplikationen bei der Rotation um die zu durchleuchtende Struktur. Lediglich bei rumpfnahen anatomischen Regionen wie am proximalen Humerus sowie am Schultergelenk selbst lassen sich Kollisionen des C-Bogens mit dem Tisch bei vollständiger Orbitalbewegung kaum vermeiden.

4.1.1 Distale Obere Extremität

Eine ähnliche Position des C-Bogens zur durchleuchtenden Struktur vergleichbar der bei der unteren Extremität mit orthograder Stellung zur Beinachse ist im Bereich der oberen Extremität aufgrund möglicher Lagerungsschäden nicht praktikabel.

Um Kollisionen des C-Bogens mit dem Tisch zu vermeiden, müsste der zu operierende Arm in einem Winkel von 90° ausgelagert werden. Wie bereits oben beschrieben, lassen sich postoperative Zugschäden jedoch bereits ab ca. 70° nachweisen (Anderton, J.M.; 1988).

Eine kollisionsfreie Lagerungsalternative mit deutlich geringerem Risiko postoperativer Lagerungsschäden ist aufgrund des niedrigen Querschnitts von Arm und Auslagerungshilfe möglich. Bei paralleler Positionierung der C-Bogen-, zu Körper- und Tischachse ergeben sich weder Zusammenstöße mit dem Tisch oder

der ausgelagerten Extremität, noch lassen sich übermäßige Plexus-brachialis-Zugschäden nachweisen.

Auf eine spezielle Position der C-Bogen-Basis ist im Weiteren nicht zu achten, das Siremobil kann sowohl von kranial als auch von kaudal über die zu durchleuchtende Region eingefahren werden. Die Position des Gerätes hängt somit im Wesentlichen von den räumlichen Gegebenheiten sowie der sterilen Abdeckung und der Position der anästhesiologischen Gerätschaften ab.

Diese Positionierung ist in Rückenlage z.B. bei Eingriffen an der Hand möglich,



Abbildung 1: ausgelagerter Arm, Siremobil Iso-C 3D in Startposition, sterile Abdeckung zirkulär um ausgelagerte Extremität



Abbildung 2: Nahaufnahme bei steril abgedecktem Arm, freie Orbitalbewegung möglich

ebenso wie bei Operationen in Bauchlage am proximalen Unterarm, distalen Oberarm und vor allem bei Versorgungen von Frakturen mit Beteiligung des Ellenbogengelenkes, die evtl. einer Olecranonosteotomie bedürfen.



Abbildung 3: Bauchlage, ausgelagerter Arm bei Operation am Olecranon, Siremobil Iso-C 3D in Startposition



Abbildung 4: Bauchlage, ausgelagerter Arm bei Operation am Olecranon, Siremobil Iso-C 3D in Endposition, freie Orbitalbewegung möglich

Neben den bereits erwähnten Schutzmaßnahmen zur Vermeidung von Lagerungsschäden ist im Speziellen bei der Auslagerung des zu operierenden Armes eine ausreichende Polsterung desselben zu gewährleisten.

Entscheidend für die Durchleuchtungsqualität ist, dass im Durchleuchtungskubus kein artefakterzeugendes Metallelement zu finden ist, und dass eine entsprechende Ruhigstellung des Armes gewährleistet ist. Dies wird durch zusätzliche Fixierung mit einem Lagerungsgurt um Auslagerungsstütze und Handgelenk erreicht.

Eine solche Auslagerungshilfe kann z. B. aus einer mit außerhalb des Rotationswegs des Siremobils angebrachten Stützen abgesicherten Kohlenfaserplatte bestehen, die an den Operationstisch angestellt wird. Optional käme eine am Tisch fixierte Unterstützung aus durchleuchtungsfähigem Material wie z.B. Carbon in Betracht.

4.1.2 Proximaler Humerus und Schulter

Bei körpernahen Regionen der oberen Extremität ergeben sich bei der Rotation des Siremobils im Gegensatz zu den distalen Abschnitten wesentlich mehr Komplikationen.

Vor allem am proximalen Humerus und am gesamten Schultergelenk ist es schwierig, eine Positionierung des C-Bogens zu erreichen, mit der eine ausreichende, kollisionsfreie Orbitalbewegung des C-Bogens gewährleistet werden kann. Limitierend für die Bewegung und damit für die Beurteilbarkeit der aus der herabgesetzten Anzahl von Durchleuchtungssequenzen errechneten Schnittbilder sind vor allem die unvermeidbaren Kollisionen mit Tisch, Tischsockel und der Kopfschale. Bei einigen Positionierungen des C-Bogens zum Tisch und dem besonders gelagerten Patienten wäre aus technischer Sicht eine volle Orbitalbewegung von 190° möglich, dabei ergäben sich jedoch unvermeidbare Lagerungsschäden vor allem der cervicalen Strukturen, so dass diese Lagerungen nicht zum Einsatz kommen dürfen.

Darüber hinaus muss eine praktikable Narkoseführung ermöglicht werden, was aufgrund der räumlichen Enge im Kopf-Rumpf-Bereich, hervorgerufen durch interdisziplinäre Personaldichte um ein relativ kleines anatomisches Areal

(Operateur mit Assistent und Op-Schwester, C-Bogen und Anästhesiezubehör), erschwert ist.

Im Folgenden wird auf die unterschiedlichen Lagerungsmöglichkeiten und die verschiedenen Positionsoptionen des C-Bogens eingegangen, die dabei aufgetretenen Schwierigkeiten werden erläutert.

4.1.2.1 Lawn-Chair-Lagerung

4.1.2.1.1 C-Bogen in der Vertikalebene

Orthograd zu Tisch und Patient von der verletzten Seite

Wird das Siremobil von der verletzten Seite aus im rechten Winkel zur Körper- und Tischlängsachse über die zu beurteilende Schulter eingebracht, genügt der Rotationsdurchmesser zwischen Strahlenquelle und Bildwandler des C-Bogens nicht aus, um die Schulter kollisionsfrei zu umrunden.

Aus der Distanz des Schultergelenks, und der noch größeren Entfernung der C-Bogen-Basis zur mittleren Körperlängsachse ergibt sich ein benötigter Rotationsdurchmesser, der größer als der gegebene des Siremobils ist.

Dieser benötigte Raum vergrößert sich zudem durch die diagonale Oberkörperhochlagerung bei vertikal rotierendem C-Bogen. Die daraus resultierende zu umrundende Gesamthöhe des Patienten zum C-Bogen ist zu groß, um eine kollisionsfreie Orbitalbewegung gewährleisten zu können.



Abbildung 5: Lawn-Chair-Lagerung, C-Bogen in der Vertikalebene, orthograd zu Tisch und Patient von der verletzten Seite, Startposition 80°, Kollision mit gesunder Schulter



Abbildung 6: Lawn-Chair-Lagerung, C-Bogen in der Vertikalebene, orthograd zu Tisch und Patient von der verletzten Seite, Endposition 25°, Kollision mit Tisch

Aus den genannten Faktoren ergibt sich für diese Position des Siremobils zum Tisch ein gesamtes Bewegungsausmaß von 80 Grad. Dabei müsste die Orbitalbewegung bei 55 Grad starten und über die Neutralstellung bei 25 Grad enden. Dies ist weder von der Grundeinstellungsoption des Geräts her, noch von der Rekonstruktionsfähigkeit der Software möglich. Eine Änderung dieser Einstellungen kann derzeit aus technischen Gründen nicht erfolgen.

Orthograd zu Tisch und Patient von der gesunden Seite

Steht die Basis auf der gesunden Seite und rotiert von hier um die verletzte Schulter, ist die Bewegung ebenfalls von 55 Grad über die Nullstellung bis 25 Grad eingeschränkt. Auch hier ergeben sich die oben bereits aufgeführten Probleme.



Abbildung 7: Lawn-Chair-Lagerung, C-Bogen in der Vertikalebene, orthograd zu Tisch und Patient von der gesunden Seite, Startposition 55°, Kollision mit gesunder Schulter



Abbildung 8: Lawn-Chair-Lagerung, C-Bogen in der Vertikalebene, orthograd zu Tisch und Patient von der gesunden Seite, Endposition 25°, Kollision mit Tisch

4.1.2.1.2 Diagonal zu Tisch und Patient

Von kranial, von der verletzten Seite

Ist die Siremobil-Basis bei Durchleuchtungen der proximal gelegenen anatomischen Regionen beim in Lawn-Chair-Position gelagerten Patienten diagonal, kranial und auf der verletzten Seite positioniert, lässt sich das Rotationszentrum über das Schultergelenk fokussieren, bei der Rotation ergeben sich jedoch Kollisionen mit der Rückenunterstützenden Tischplatte.

Ein Rotationswinkel von 80 Grad kann nicht überschritten werden, vor allem der Empfängerzylinder ist aufgrund seiner Höhe der limitierende Faktor.

Von kranial, von der gesunden Seite

Bei diagonaler Stellung des Siremobils zur Tischlängsachse bietet die Position der Basis auf der unverletzten Seite kranial des Patienten eine weitere Option.

Vor allem bei oberen Extremitäten mit großem Durchmesser bei 70° abduziertem Arm kann es bei der Rotation zu Kollisionen kommen, so dass eine kurzfristige Abduktion von 90° während des Durchleuchtungsvorgangs ermöglicht werden müsste.

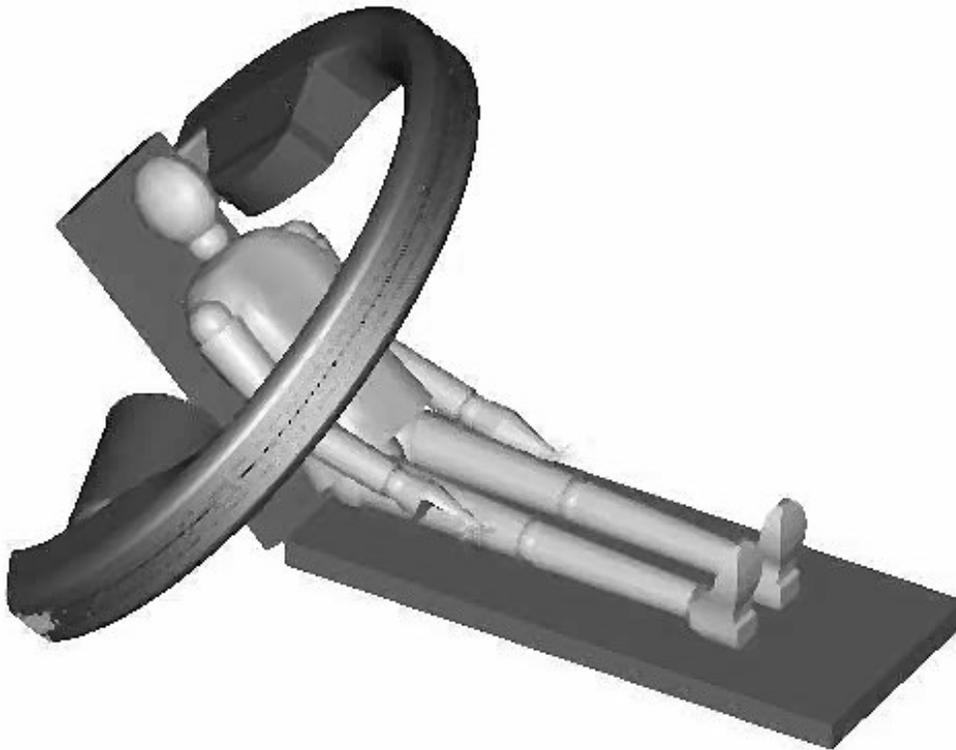


Abbildung 9: Schema einer möglichen Iso-C 3D – Stellung in Lawn-Chair-Lagerung

Vor allem der Kopf stellt bei der Durchleuchtung der Schulter ein nur schwer überwindbares Hindernis dar. Nur bei endgradiger Flexion zur gesunden Seite hin kann eine kollisionsfreie Rotation erfolgen, wie bereits beschrieben, können hieraus jedoch erhebliche postoperative muskuläre und neurologische Zug- und Druckschäden resultieren (Anderton, J.M.; 1988).

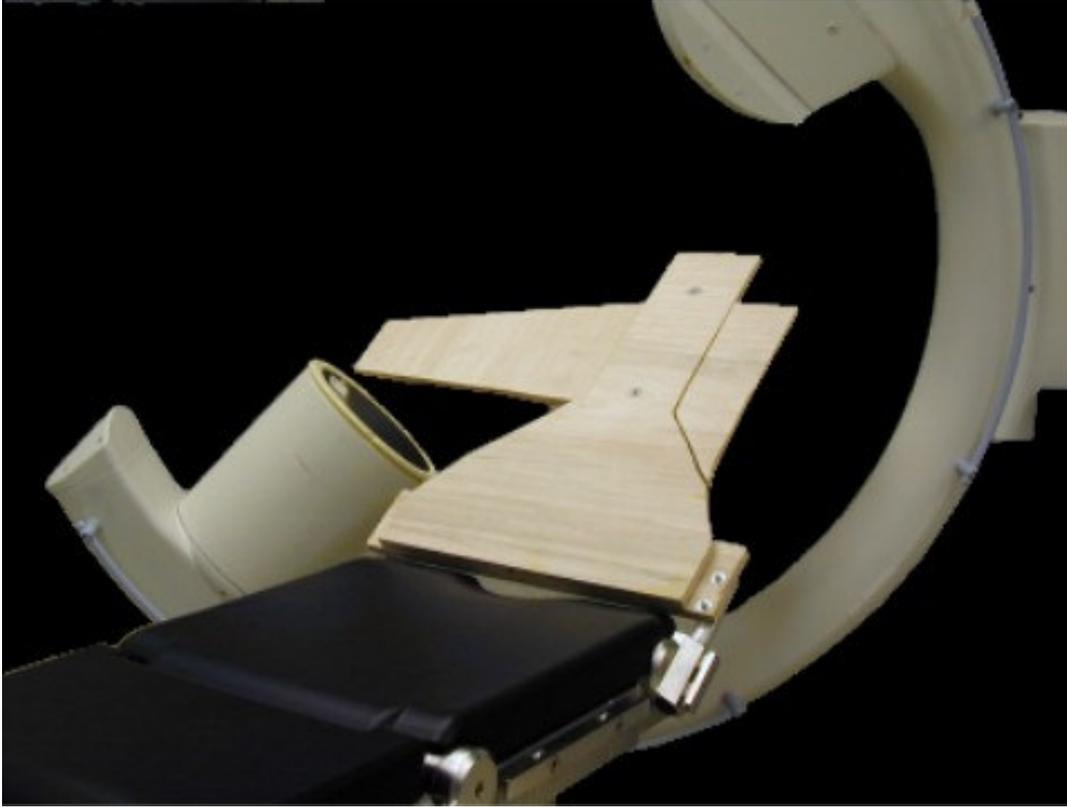
Unter Verwendung bisher verwandter, rechteckiger Rückenplatten kollidierten die prominenten Siremobil-Bauelemente im Bereich des thorakolumbalen Übergangs mit der Rückenplatte.

Aus diesem Grund wurde eine spezielle Rückenunterstützung mit einer Breite von 15 – 20 Zentimeter entworfen. Nur im Beckenbereich, am Anschluss der Platte an den Tisch, besteht die übliche Tischbreite. Auf diese Weise sind Becken und Wirbelsäule ausreichend gestützt und gepolstert. Überstehendes Plattenmaterial, das die Rotation des C-Bogens behindern könnte, ist auf ein Minimum begrenzt.

Auf der Rückseite dieser Platte führt eine metallfreie Schiene eine dadurch höhenvariable Armstütze, auf der der zu operierende Arm ausgelagert werden kann. Auf der kontralateralen Seite ist eine Schulter unterstützende Polsterung auf dem Niveau der Platte angebracht, die Druckschäden in diesem Bereich vermindern soll.

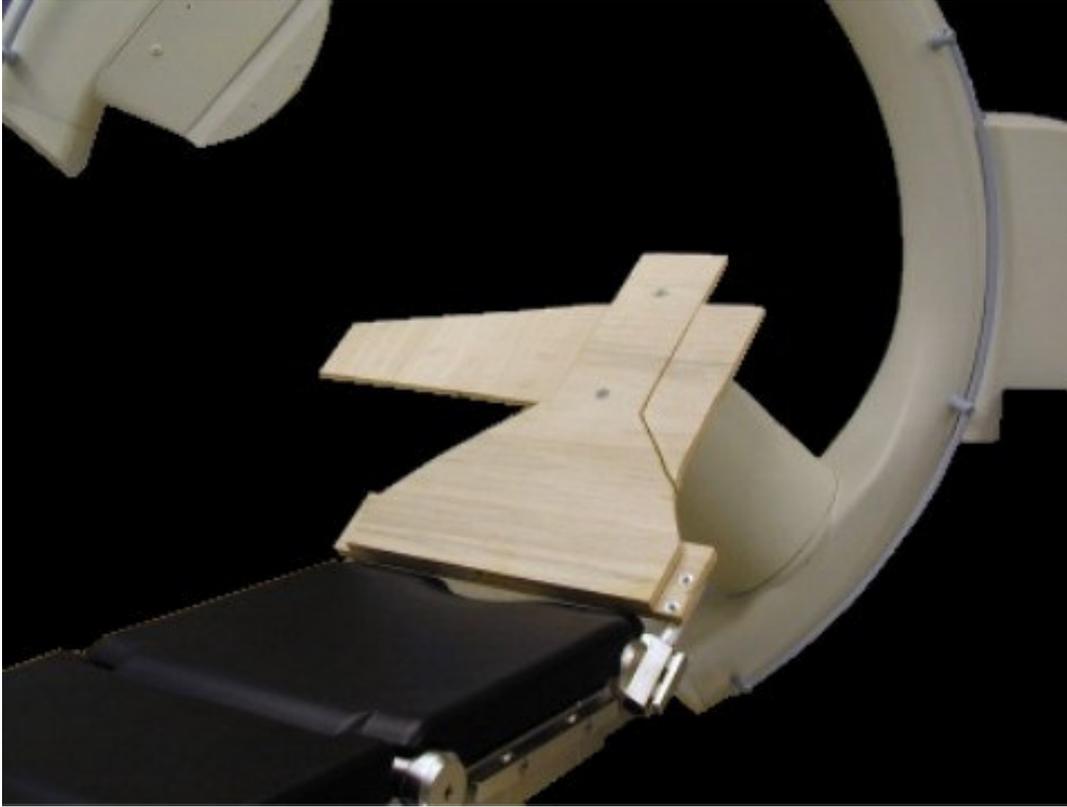
Am kranialen Ende kann eine herkömmliche Kopfstütze angebracht werden, die so wenig Metall wie möglich enthalten sollte.

Mit dieser speziellen Schulterplatte wird die Rotation des C-Bogens um die proximale obere Extremität erleichtert. Durch die Ausnutzung des neu gewonnenen Raumes lässt sich das kollisionsfreie Rotationsausmaß des Siremobils ausbauen.



Abbildung

10: Schulterplatte mit minimaler Rückenabstützung, ohne Polster, Orbitalbewegung bei diagonaler Stellung des Iso C 3D zum Tisch kollisionsfrei durchführbar



Abbildung

11: Schulterplatte mit minimaler Rückenabstützung, ohne Polster, Orbitalbewegung bei diagonaler Stellung des Iso C 3D zum Tisch, Empfänger im Kopfbereich ohne Kollision

Bei dieser Lagerungsoption müssen Patient, Tisch und C-Bogen exakt positioniert werden. Andernfalls ist selbst mit dieser auf das Siremobil ausgelegten Rückenplatte eine Orbitalbewegung von ausreichendem Umfang nicht durchführbar.

Der Patient wird so weit wie möglich mit der zu operierenden Schulter an den Tischrand gelegt, in der Lawn-Chair-Position ist die Hüfte um ca. 40 Grad flektiert. Die Längsachsen des Tisches und des C-Bogens schließen einen Winkel von 50 Grad ein.

Der Kopf muss zur Risikominimierung einer Kollision mit dem Iso-C 3D zur unverletzten Seite rotiert und flektiert werden.

Die Kopfstütze wird dazu nach Möglichkeit lateralisiert.

Dabei ist unbedingt auf eine anatomiegerechte Lagerung der cervicalen Strukturen zu achten.



Abbildung 12: Lawn-Chair-Lagerung, diagonal zu Tisch und Patient, von kranial, von der gesunden Seite, Startposition, Perspektive von kaudal



Abbildung 13: Lawn-Chair-Lagerung, diagonal zu Tisch und Patient, von kranial, von der gesunden Seite, Startposition, Perspektive von der verletzten Seite

Bei einem Körpervolumen entsprechend dem der verwandten Puppe ist eine kollisionsfreie volle Orbitalbewegung von 190° möglich, bei muskulöseren oder adipösen Personen kann der C-Bogen in dieser Konstellation nur von maximal 30° bis 190° Grad rotieren. Der zu zentrierende Fokus befindet sich aufgrund einer erhöhten Schulterbreite weiter lateral.

Die Startposition von 30° bezieht sich auf die Position des Empfängerzylinders unterhalb der Rückenplatte, 30° von der eigentlich konstruierten Ausgangsstellung des Siremobils entfernt, die Orbitalbewegung erfolgt dann unterhalb des Tisches nach kaudal beckenwärts. In der erreichbaren vollen Endposition von 190° steht der Zylinder in der Horizontalebene der verletzten Schulter.



Abbildung 14: Lawn-Chair-Lagerung, diagonal zu Tisch und Patient, von kranial, von der gesunden Seite, Perspektive von kranial, Empfängerzylinder in Startposition

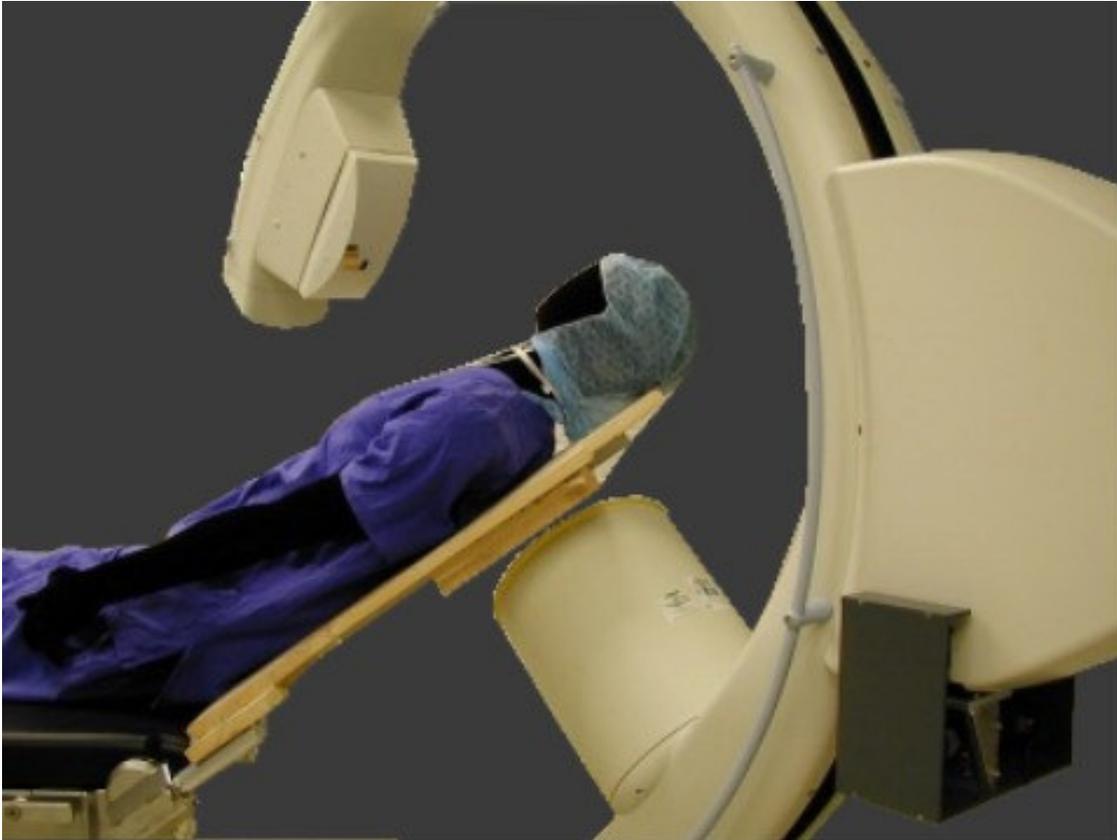


Abbildung 15: Lawn-Chair-Lagerung, diagonal zu Tisch und Patient, von kranial, von der gesunden Seite, Perspektive von der gesunden Seite, Empfängerzylinder in Startposition

Der sich daraus ergebende Bewegungsumfang von 160° erlaubt eine Errechenbarkeit eines Datensatz zur Akquisition einer dreidimensional beurteilbaren Bildmenge.



Abbildung 16: Lawn-Chair-Lagerung, diagonal zu Tisch und Patient, von kranial, von der gesunden Seite, Perspektive von der gesunden Seite und kaudal, Empfängerzylinder in Endposition

Die resultierende Bildqualität ist aus technischer Sicht eingeschränkt, allerdings konnte im praktischen Gebrauch keine deutliche Qualitätsminderung erkannt werden.

Unter Verwendung von bisher gebräuchlichen Bildwandlern bei Operationen am proximalen Humerus und am Schultergelenk erfolgte die sterile Abdeckung des Patienten so, dass die Narkoseführung von kranial erfolgen konnte.

Augrund der räumlichen Enge und des bei der Orbitalbewegung des Siremobils benötigten Platzes zeigt sich die Positionierung des anästhesiologischen Inventars

beim Einsatz des Iso-C 3Ds unter Berücksichtigung des Operationsfeldes und einer entsprechenden sterilen Abdeckung deutlich erschwert.

Eine praktikable Alternative bietet bei seitwärts flektiertem Kopf die Narkoseführung von der nicht zu operierenden Seite aus. Dabei kann die sterile Abdeckung zur gesunden Seite kaudal der C-Bogen-Elemente einen ausreichenden Zugang zum Patienten bieten.

Des Weiteren müssen die bisher bodenwärts hängenden Abdecktücher eng an den Tisch gewickelt oder geklebt werden, um eine freie Orbitalbewegung zu ermöglichen, und die Sterilität des Operationsgebietes zu erhalten.

Gegebenenfalls kann während der Durchleuchtung das zu operierende Gebiet steril abgedeckt werden, um eine mögliche Kontamination auf jeden Fall zu vermeiden.

Von kaudal, von der verletzten Seite

Bei der Fokussierung der proximalen oberen Extremität unter Einsatz des Siremobils von der verletzten Seite und Basisplatzierung auf Beckenhöhe kann bei der Orbitalbewegung keine endgradige Start- oder Endposition erreicht werden. Aufgrund des zu großen Abstandes zur kontralateralen Schulter und des daraus resultierenden benötigten Rotationsdurchmessers kollidieren Strahlenquelle und Empfänger mit der Unterseite des Tisches und der nicht zu operierenden Schulter des Patienten.

Daraus ergibt sich eine Orbitalbewegung von 60-80°, aus der sich kein Datensatz errechnen lässt.

Von kaudal, von der gesunden Seite

Analog dazu kollidiert bei Positionierung des Siremobils auf der gesunden Seite im Bereich des Beckens die Kamera mit der Tischbasis, wenn die zu betrachtende Schulter fokussiert wird.

Zudem wird durch die erforderliche Nähe der Gerätbasis zum Tisch das Ausmaß der Orbitalbewegung verringert, der Empfängerzylinder kollidiert mit der Tischplatte.

4.1.2.2 Parallel zu Tisch- und Patientenlängsachse

Bei kollisionsfreier Orbitalbewegung des C-Arms unter paralleler Stellung der Siremobillängsachse zur Tischlängsachse muss der Patient zur Fokussierung des gewünschten Durchleuchtungskubus auf die proximale obere Extremität so weit auf den Tischrand gelagert werden, dass die Stabilität der Lagerung nicht mehr gewährleistet ist. Jeder Versuch zur Vermeidung dieser Instabilität erhöht das Risiko von Lagerungsschäden.

4.1.2.2.1 C-Bogen aus der Vertikalebene gekippt

Das größte Bewegungsausmaß bei der Orbitalbewegung um die proximale obere Extremität lässt sich grundsätzlich durch eine orthograde Stellung der Rotationsebene des C-Bogens zum Oberkörper des Patienten erreichen.

In Kombination mit der bisher bei Operationen im Schulterbereich gebräuchlichen Lawn-Chair-Lagerung würde dies eine Seitneigung des C-Bogens aus der Vertikalebene bedeuten.

Allerdings ist mit dem aktuellen Siremobil eine Errechnung eines Datensatzes bei einer Seitneigung von über 20 Grad Kippung nicht möglich.

Grundsätzlich ist eine Kalibrierung des Gerätes zur Darstellung einer dreidimensional beurteilbaren Bildmenge bei größerer Kippung aus der Vertikalebene realisierbar, allerdings müsste aufgrund des Gewichts des C-Bogen-Arms und der damit verbundenen vermehrten seitlichen Bewegung eine größere Standardabweichung in die Berechnung mit einbezogen werden, so dass mit ungenaueren Bildern zu rechnen wäre.

Orthograd zu Tisch und Patient von der verletzten Seite

Trotz einer gerätgerechten seitlichen Neigung des C-Bogens mit Positionierung der Siremobil-Basis orthograd zur Tischlängsachse auf der zu operierenden Seite des Patienten zeigt sich bereits in der maximal möglichen Startposition keine ausreichende Auslenkung des C-Arms zur computerunterstützten Orbitalbewegung.



Abbildung 17: Lawn-Chair-Lagerung, C-Bogen aus der Vertikalebene gekippt, orthograd zu Tisch und Patient von der verletzten Seite, Perspektive von kranial, Kollision des Senders mit der Tischunterseite



Abbildung 18: Lawn-Chair-Lagerung, C-Bogen aus der Vertikalebene gekippt, orthograd zu Tisch und Patient von der verletzten Seite, Perspektive von lateral, Kollision des Senders mit der Tischunterseite

Ca. 35-45° vor der endgradigen Startposition kollidiert die Strahlenquelle mit der Rückseite der Rückenplatte.



Abbildung 19: Lawn-Chair-Lagerung, C-Bogen aus der Vertikalebene gekippt, orthograd zu Tisch und Patient von der verletzten Seite, Perspektive von der gesunden Seite, Kollision des Empfängerzylinders mit der gesunden Schulter



Abbildung 20: Lawn-Chair-Lagerung, C-Bogen aus der Vertikalebene gekippt, orthograd zu Tisch und Patient von der verletzten Seite, Perspektive von der verletzten Seite, Kollision des Empfängerzylinders mit der gesunden Schulter

Ebenso kann keine absolute Endposition erreicht werden, nach Überschreiten der Neutralstellung des Siremobils stößt der Empfänger bei einer weiteren Rotation von ca. 45° an die gesunde Schulter.



Abbildung 21: Lawn-Chair-Lagerung, C-Bogen aus der Vertikalebene gekippt, orthograd zu Tisch und Patient von der verletzten Seite, Perspektive von der verletzten Seite, Kollision des Empfängerzylinders mit der gesunden Schulter

Orthograd zu Tisch und Patient von der gesunden Seite

In einer Lawn-Chair-Position mit Hüftflexion von ungefähr 35 bis 45 Grad und einer Seitneigung des C-Bogens von 15 bis 20 Grad kann eine Orbitalbewegung von 100° bis 105° erreicht werden. Die Startposition liegt bei 55 Grad und geht in die Endposition von maximal 50 Grad über. Dabei wird die Neutralstellung überschritten.

Im Vergleich zur Rotation ohne Seitneigung erhöht sich das Ausmaß der Orbitalbewegung um ca. 20° , zur computergesteuerten Rotation ist jedoch eine

Startposition von $90 - 95^\circ$ erforderlich. Zudem lässt sich bei einer Orbitalbewegung von unter $120 - 125^\circ$ keine dreidimensionale Darstellung aus der durchgeführten Durchleuchtung errechnen.

4.1.2.2.2 Diagonal zu Tisch und Patient

Von kranial, von der verletzten Seite

Eine Seitkipfung der Strahlenachse nahezu parallel zur Oberkörperlängsachse ist aus bereits oben genannten technischen Grundvoraussetzungen nicht praktikabel.

Von allen getesteten Positionierungen des Siremobils zum Operationstisch und zum Durchleuchtungsfokus der verletzten oberen Extremität ist das Ausmaß der Orbitalbewegung minimal, wenn das Iso-C 3D diagonal von der zu operierenden Seite von kranial aus über die Schulter positioniert wird.

Aufgrund des relativ breiten Durchmessers vor allem des Empfängerzylinders ist eine volle Ausrichtung weder in Startposition noch in Endposition durchführbar.

Eine kollisionsfreie Bewegung des Siremobils ist in erheblich zu kleinem Bewegungsumfang möglich, so dass die technische Darstellbarkeit eines Datensatzes nicht gegeben ist.

Aufgrund dieser beiden Faktoren muss diese Positionierungsoption verworfen werden.

Eine Kippung aus der Vertikalebene, die den Winkel zwischen Strahlenachse und Oberkörperlängsachse einem rechten Winkel annähert, vergrößert im Vergleich zur oben dargestellten Positionierung den Bewegungsumfang des C-Bogens um die zu operierende Schulter, eine kollisionsfreie Orbitalbewegung, deren Ausmaß einen errechenbaren Datensatz zulässt, ist aber auch hier nicht gegeben.

Analog zur vergleichbaren Position des Siremobils zu Tisch und Patient in der Vertikalebene, liegt der Fokus des Strahlengangs zu weit entfernt von der mittleren Längsachse des Tisches. Diese Konstellation vergrößert auch hier den vergleichbaren Rotationsraum, eine verwertbare Bildmenge kann jedoch nicht gewonnen werden.

Von kranial, von der gesunden Seite

Positioniert man den C-Bogen diagonal zu Tisch und Patient von kranial, ausgehend von der gesunden Seite, und rotiert entsprechend nach kaudal zur verletzten Seite, ergibt diese Position in der Vertikalebene eine der wenigen Optionen, ein beurteilbares Bild zu erhalten. Eine Kippung aus dieser Ebene im Rahmen der kalibrierten Möglichkeiten, so dass der Winkel zwischen Tischlängsachse und Strahlenachse verkleinert wird, provoziert analog zu den oben beschriebenen diagonalen Positionen (des Siremobils zum Tisch) mit Kippung aufgrund der Breite des Empfängerzylinders und seiner geringeren Distanz vorzeitige Kollisionen mit Tisch und Patient.



Abbildung 22: Lawn-Chair-Lagerung, C-Bogen aus der Vertikalebene gekippt, diagonal zu Tisch und Patient von kranial und der gesunden Seite, Kollision des Senders mit der Unterseite des Tisches, Perspektive von kraniallateral



Abbildung 23: Lawn-Chair-Lagerung, C-Bogen aus der Vertikalebene gekippt, diagonal zu Tisch und Patient von kranial und der gesunden Seite, Kollision des Senders mit der Unterseite des Tisches auf Schulterhöhe, Perspektive von kranial

Die Seitneigung aus der Vertikalebene im Sinne einer orthograden Stellung der Strahlenachse zur Oberkörperlängsachse ergäbe im Kopfbereich des Patienten mehr Rotationsraum, der allerdings im Hüftbereich durch die Kippung einzubüßen ist.



Abbildung 24: Lawn-Chair-Lagerung, C-Bogen aus der Vertikalebene gekippt, diagonal zu Tisch und Patient von kranial und der gesunden Seite, Kollision des Senders mit der Unterseite des Tisches auf Beckenhöhe, Perspektive von kranial

In beiden Fällen ergeben sich verkleinerte Rotationsräume bei vermehrter Bewegungsunruhe, sowie bei großvolumigen Patienten Start- bzw. Endpositionen, die aufgrund der Software keine Orbitalbewegung erlauben, aus der sich ein errechenbarer Datensatz gewinnen ließe.



Abbildung 25: Lawn-Chair-Lagerung, C-Bogen aus der Vertikalebene gekippt, diagonal zu Tisch und Patient von kranial und der gesunden Seite, Kollision des Empfängerzylinders mit dem Kopf, Perspektive von kaudal, Startposition

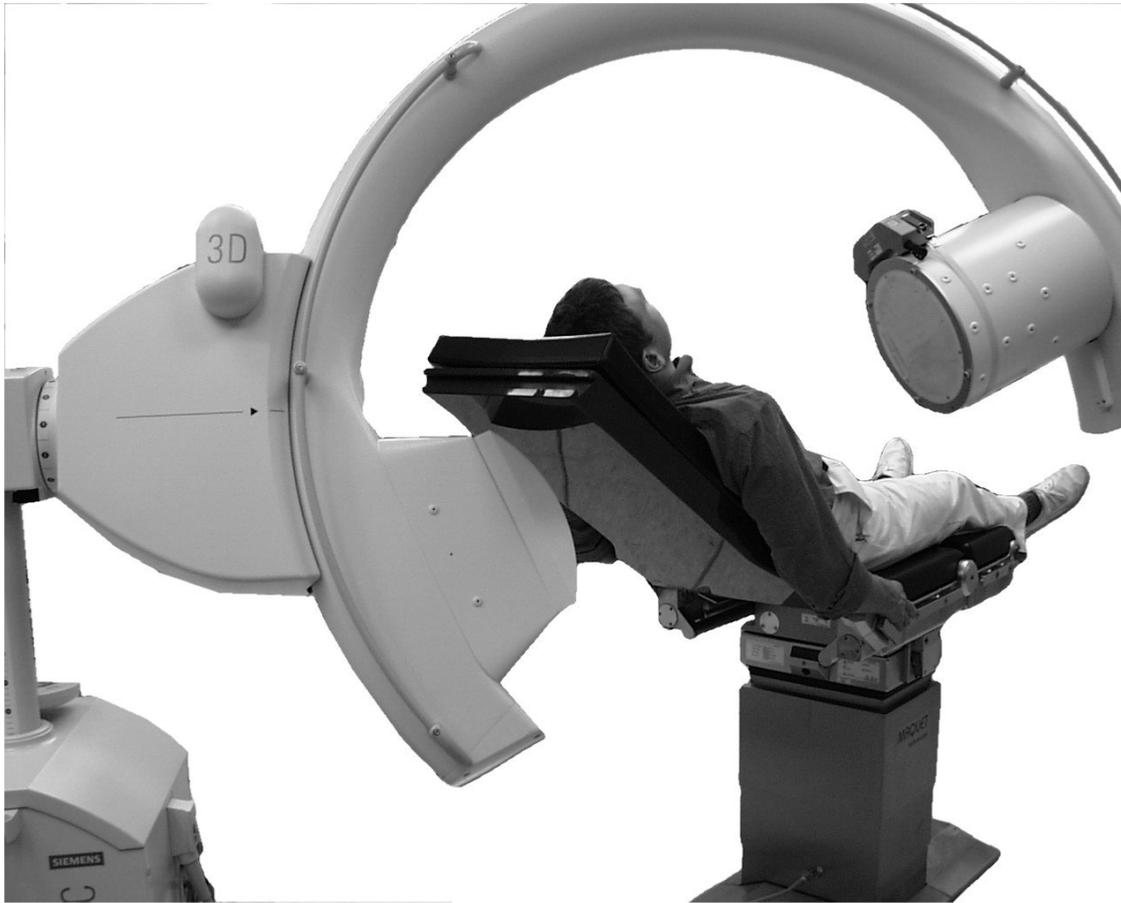


Abbildung 26: Lawn-Chair-Lagerung, C-Bogen aus der Vertikalebene gekippt, diagonal zu Tisch und Patient von kranial und der gesunden Seite, Kollision des Senders mit der Unterseite des Tisches, Perspektive von kranial, Endposition



Abbildung 27: Lawn-Chair-Lagerung, C-Bogen aus der Vertikalebene gekippt, diagonal zu Tisch und Patient von kranial und der gesunden Seite, Kollision des Senders mit der Unterseite des Tisches, Perspektive von kaudal, Endposition

Von kaudal, von der verletzten Seite

Auch eine Seitneigung aus der Vertikalebene unabhängig von der Richtung der Kippung bei einer diagonalen Position des Siremobils zu Tisch und Patient mit Stellung der Basis auf der zu operierenden Seite auf Höhe des Beckens ergibt keine Vergrößerung des Bewegungsausmaßes. Im Gegenteil erhöht sich auch hier das Kollisionsrisiko mit dem Tisch. Dadurch ist die Darstellbarkeit der proximalen oberen Extremität nicht gewährleistet.



Abbildung 28: Lawn-Chair-Lagerung, C-Bogen aus der Vertikalebene gekippt, diagonal zu Tisch und Patient, von kaudal und der verletzten Seite, Kollision des Senders mit der Tischunterseite, Perspektive von kranial



Abbildung 29: Lawn-Chair-Lagerung, C-Bogen aus der Vertikalebene gekippt, diagonal zu Tisch und Patient, von kaudal und der verletzten Seite, Kollision des Senders mit der Tischunterseite, Perspektive von der verletzten Seite



Abbildung 30: Lawn-Chair-Lagerung, C-Bogen aus der Vertikalebene gekippt, diagonal zu Tisch und Patient, von kaudal und der verletzten Seite, Kollision des Empfängerzylinders mit dem Kopf, Perspektive von kaudal



Abbildung 31: Lawn-Chair-Lagerung, C-Bogen aus der Vertikalebene gekippt, diagonal zu Tisch und Patient, von kaudal und der verletzten Seite, Kollision des Empfängerzylinders mit dem Kopf, Perspektive von kaudal

Von kaudal, von der gesunden Seite

Analog zur Position des C-Bogens in der Vertikalebene mit kaudaler Stellung der Basis auf der gesunden Seite und geplanter Rotation nach kranial über die verletzte Schulter ergibt sich auch bei einer Kippung eine unvollständige Orbitalbewegung, bei der keine endgradige Position erreicht werden kann. Dies macht eine motorgesteuerte Rotation unmöglich. Darüber hinaus wird durch die Seitneigung sowohl zur Oberkörperlängsachse als auch zur orthograden Stellung hin der

Bewegungsumfang aufgrund des erhöhten Kollisionsrisikos zusätzlich verkleinert, was die Berechnung eines dreidimensionalen Datensatzes unmöglich macht.

4.1.2.3 Rückenlage

4.1.2.3.1 C-Bogen in der Vertikalebene

Orthograd zu Tisch und Patient von der verletzten Seite

Wird im Gegensatz dazu der Oberkörper zur Durchleuchtung auf Rückenlage abgesenkt und das Siremobil von der kranken Seite eingefahren, wird weiterhin keine vollständig kollisionsfreie Bewegung erreicht, aber eine Orbitalbewegung von 130 bis 145 Grad wird ermöglicht.



Abbildung 32: Rückenlage, C-Bogen in der Vertikalebene, orthograd zu Tisch und Patient von der verletzten Seite, Endposition, Perspektive von diagonal kranial, keine Kollision des Empfängerzylinders mit dem Tisch



Abbildung 33: Rückenlage, C-Bogen in der Vertikalebene, orthograd zu Tisch und Patient von der verletzten Seite, Endposition, Perspektive von kranial, keine Kollision des Senders mit dem Tisch

Hier müsste der C-Bogen bei 40 bis 55 Grad starten und über die Neutralstellung auf die maximale Endposition von 95 Grad gebracht werden.



Abbildung 34: Rückenlage, C-Bogen in der Vertikalebene, orthograd zu Tisch und Patient von der verletzten Seite, Startposition, Perspektive von kranial, bei 40° bis 55° Kollision mit gesunder Schulter

Orthograd zu Tisch und Patient von der gesunden Seite



Abbildung 35: Rückenlage, C-Bogen in der Vertikalebene, orthograd zu Tisch und Patient von der gesunden Seite, Perspektive von kranial, Endposition bei ca. 55°, Kollision des Empfängerzylinders mit dem Tisch bzw. Patienten



Abbildung 36: Rückenlage, C-Bogen in der Vertikalebene, orthograd zu Tisch und Patient von der gesunden Seite, Perspektive von kranial, Startposition bei ca. 45°, Kollision des Senders mit der Unterseite des Tisches

Im Gegensatz dazu ergibt sich bei orthograder Stellung des C-Bogens zum in Rückenlage positionierten Patienten nur ein Winkel von knapp 100 Grad, wenn der C-Bogen von der gesunden Seite eingefahren wird. Um diesen Winkel zu erreichen, muss die Startposition bei 45 Grad und die Endposition nach einer Umdrehung über die Nullposition bei 55 Grad liegen. Über diesen Bewegungsumfang hinaus kollidiert vor allem der Empfängerzylinder mit dem Tisch.

Selbst bei einer Beurteilbarkeit der errechneten Bilder bei diesem Winkel wäre es technisch nicht möglich, den Scan zu starten, da die Startposition der Rotation immer bei 95 Grad liegen muss.

4.1.2.4 Diagonal zu Tisch und Patient

Von kranial, von der gesunden Seite



Abbildung 37: Rückenlage, C-Bogen in der Vertikalebene, diagonal zu Tisch und Patient, von kranial, von der gesunden Seite, Startposition von 95°, Perspektive von kranialateral

Eine weitere Option ist die diagonale Position des C-Bogens zum Tisch, bei der die Basis auf der gesunden Seite positioniert wird. Auch hier resultiert ein Rotationsweg von 150°.



Abbildung 38: Rückenlage, C-Bogen in der Vertikalebene, diagonal zu Tisch und Patient, von kranial, von der gesunden Seite, Startposition von 95°, Perspektive von kranialateral, keine Kollision des Empfängerzylinders im Beckenbereich



Abbildung 39: Rückenlage, C-Bogen in der Vertikalebene, diagonal zu Tisch und Patient, von kranial, von der gesunden Seite Endposition von 65°, Perspektive von kaudolateral, Kollision des Empfängerzylinders mit dem Kopf

Um eine kollisionsfreie Durchleuchtung zu gewähren, muss auch hier der Kopf seitlich gelagert werden, die Zugbelastung auf die cervicalen Strukturen reduziert sich im Vergleich mit in Lawn-Chair-Position gelagertem Patienten, da der C-Bogen in Rückenlage aufgrund des herabgesetzten Patientenquerschnitts leichter rotieren kann.

Beginnend bei 95 Grad Startposition, rotiert der C-Bogen über die Nullstellung auf eine Endposition von 65 Grad.

Zur praktikablen Narkoseführung empfiehlt sich eine zur gesunden Seite offene sterile Abdeckung.

Darüber hinaus müssen die Abdeckungen des OP-Tisches unterhalb der Rückenplatte verschlossen geklebt werden, um kollisionsfreie Bewegungen in voller Sterilität zu gewährleisten.

Zusätzlich ist eine sterile Abdeckung des Wundgebietes während einer Orbitalbewegung denkbar.

Von kaudal, von der verletzten Seite

Analog zu dieser C-Bogen-Position kann die Basis auch an der zu operierenden Seite auf Hüfthöhe stehen.

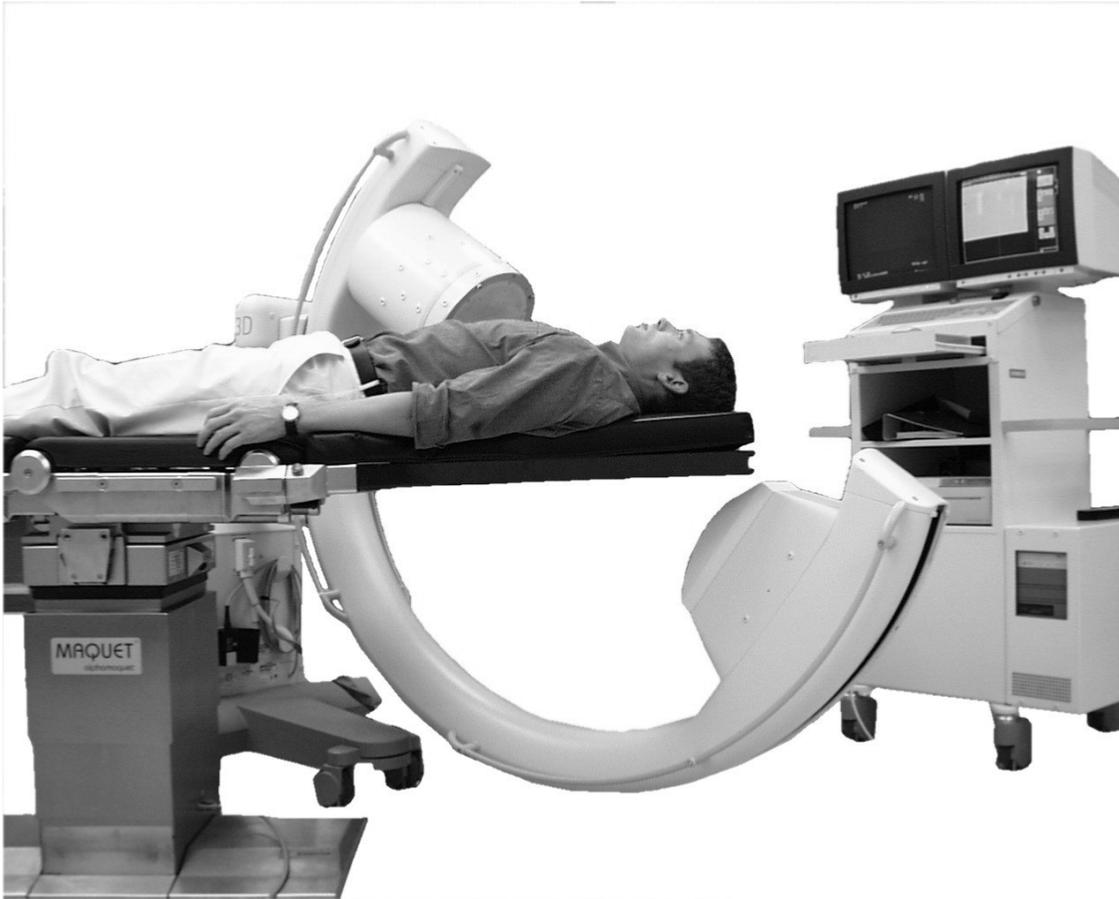


Abbildung 40: Rückenlage, C-Bogen in der Vertikalebene, diagonal zu Tisch und Patient, von kaudal, von der verletzten Seite, Perspektive von der gesunden Seite, Startposition von 35° , Kollision des Senders mit der Tischunterseite



Abbildung 41: Rückenlage, C-Bogen in der Vertikalebene, diagonal zu Tisch und Patient, von kaudal, von der verletzten Seite, Perspektive von kranial, Startposition von 35° , Kollision des Senders mit der Tischunterseite

Allerdings ist durch die Größe des Empfängerzylinders der Rotationsweg eingeschränkt. Das Ausmaß der Orbitalbewegung beschränkt sich aus einer maximalen Startposition von 35° über die Nullstellung auf eine Endposition von 55° .



Abbildung 42: Rückenlage, C-Bogen in der Vertikalebene, diagonal zu Tisch und Patient, von kaudal, von der verletzten Seite, Perspektive von kranial und der verletzten Seite, Endposition von 55° aufgrund der Kollision des Empfängerzylinders mit dem Kopf

Technisch ist diese eingeschränkte Rotation nicht möglich, da die Software des C-Bogens nur eine variable Endposition zulässt. Darüber hinaus kann aus einem Rotationsweg von 90 Grad kein beurteilbarer Datensatz errechnet werden.

Parallel zu Tisch- und Patientenlängsachse

Von der verletzten Seite auf Kopfhöhe ein- und auf Hüfthöhe auch wieder auszufahren, würde zwar keinen Zusammenstoß provozieren, aber das Gebiet der Schulter und des proximalen Humerus kann nicht fokussiert werden, das durchleuchtete Areal beschränkt sich auf den distalen Humerus.

Zur Optimierung der Position des C-Bogens über dem gewünschten Operationsgebiet wäre eine Umlagerung des Patienten nach lateral technisch denkbar, aufgrund des Stabilitätsverlusts in dieser Stellung des Patienten zum Tisch und der dadurch provozierten Lagerungsschäden allerdings nicht durchführbar.

4.1.2.4.1 C-Bogen aus der Vertikalebene gekippt

Orthograd zu Tisch und Patient von der verletzten Seite

Orthograd zu Tisch und Patient von der gesunden Seite

Diagonal zu Tisch und Patient

Von kranial, von der verletzten Seite

Von kranial, von der gesunden Seite

Von kaudal, von der verletzten Seite

Von kaudal, von der gesunden Seite

In Rückenlage erscheint generell eine Seitneigung aus der Vertikalebene wenig sinnvoll, da sich der Aktionsradius der Orbitalbewegung in jedem denkbaren Standpunkt des Siremobils zum Tisch und damit zum Patienten im Vergleich zur senkrechten Stellung des C-Bogens verkleinern würde. Dies gilt für orthograde Stellungen ebenso wie für diagonale Positionen. Zur weiteren Erläuterung sollen im Folgenden besonders letztere beleuchtet werden:

In der maximal möglichen Seitneigung von 15° bis 20° wird das Bewegungsausmaß vor allem dann verkleinert, wenn die Basis des Gerätes kranial von der gesunden Seite des Patienten eingefahren wird und der C-Arm über die verletzte Schulter nach kaudal schwenkt.

Bei einer Seitneigung, bei der der Bogen über dem Tisch über der gesunden, und unter dem Tisch unter der verletzten Schulter steht, resultiert ein Bewegungsausmaß von ca. 105° . Dabei lassen sich eine Startposition von 65° und eine Endposition bei 40° nach dem Überschreiten der Neutralstellung erreichen.

Steht die Basis am kranialen Ende des Tisches und damit der C-Bogen in einer Neigung über der erkrankten Seite über- und unter der gesunden Schulter unterhalb der Tischplatte, verringert sich das Platzangebot weiter: Startposition wäre in Neutralstellung, beendet wird die Rotation bereits bei 60° .

Vor allem die Höhe des Bildverstärkers wirkt bei beiden Varianten ursächlich limitierend auf das Bewegungsausmaß, mit geringerer Ausdehnung wäre eine Kollision mit der Rückenplatte vermeidbar bzw. mindestens ans geplante Ende der Orbitalbewegung zu setzen.

Bei allen getesteten Variationen ist eine Errechnung von Schnittbildern aufgrund des zu niedrigen Bewegungsausmaß nicht möglich, auch die Rotation selbst ist unter motorgetriebener und softwareunterstützter Durchleuchtung nicht durchführbar, da der Scan nicht bei der dafür benötigten Ausrichtung von 95° gestartet werden kann.

4.1.2.5 Seitenlage

Eine weitere Möglichkeit, einen Patienten zu lagern, ist, ihn in Seitenlage zu positionieren. Um dem Operateur einen praktikablen Zugangsweg bieten zu können, sollte die gesunde Schulter aufliegend gelagert werden.

Durch die Seitenlage des Patienten auf der Tischmitte und somit einem Durchleuchtungsfokus, der weit außerhalb des Mittelpunkts der Kombination von Patient und Tisch fixiert wird, ist eine vollständige Orbitalbewegung nicht durchführbar. Der Radius zwischen Strahlenquelle und Empfängerzylinder ist kleiner als die Strecke zwischen Schulter und Tischkanten, so dass die Strahlenquelle bereits nach einem Rotationsweg von ca. 50° an den Tisch stößt.

Der Rotationsweg um den Fokus Schulter startet in diesem Fall bei 45° Start- und endet bei 95° Endposition, ohne die Nullposition zu überschreiten.

Dieses Bewegungsausmaß verringert sich noch mehr bei breiteren Patienten als die bei unserem Versuch dargestellte Versuchsperson.

Aufgrund der zu geringen acquirierten Datenmenge lassen sich mit dem aktuellen Siremobil Iso-C keine für den Betrachter beurteilbaren Schnittbilder errechnen.



Abbildung 43: Seitenlage, Patient mittig gelagert, C-Bogen in der Vertikalebene, orthograd zu Tisch und Patient, 95° Endposition, Perspektive von kranial



Abbildung 44: Seitenlage, Patient mittig gelagert, C-Bogen in der Vertikalebene, orthograd zu Tisch und Patient, 45° Startposition, Kollision des Senders mit dem Tisch, Perspektive von kranial

Dieser Umfang lässt sich vergrößern, indem der Patient nahe der Kante des Operationstisches gelagert wird. Von dieser Seite wird das Siremobil eingebracht und die verletzte Schulter fokussiert.

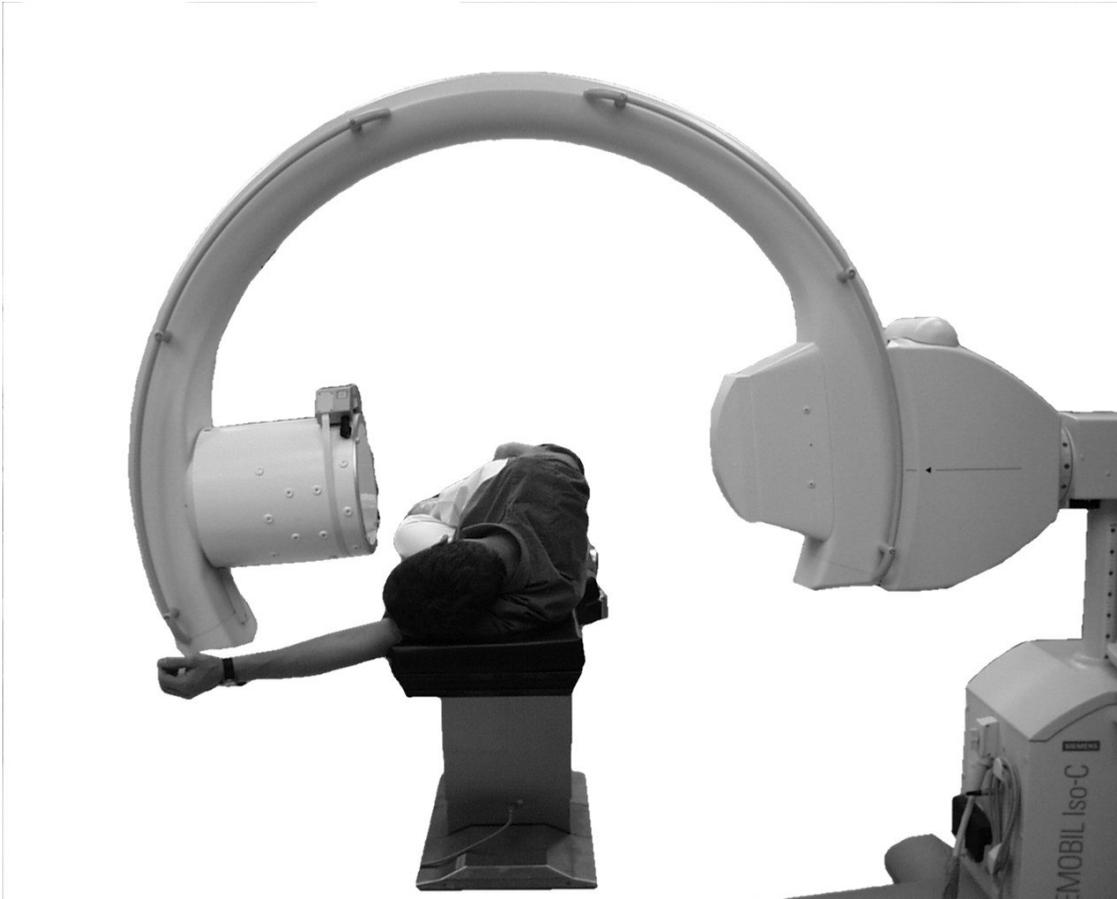


Abbildung 45: Seitenlage, Patient an den Tischrand gelagert, C-Bogen in der Vertikalebene, orthograd zu Tisch und Patient, 95° Endposition, Perspektive von kranial



Abbildung 46: Seitenlage, Patient an den Tischrand gelagert, C-Bogen in der Vertikalebene, orthograd zu Tisch und Patient, 25° Startposition, Perspektive von kranial

Hier erfolgt eine Rotation von 95 bis 25°, ohne die Neutralstellung zu überschreiten, und damit ein Rotationsweg von 70°, bei dem eine dreidimensionale Darstellung der zu durchleuchtenden Struktur nicht möglich ist.



Abbildung 47: Seitenlage, Patient an den Tischrand gelagert, C-Bogen in der Vertikalebene, orthograd zu Tisch und Patient, 25° Startposition, Perspektive von kranial-diagonal

4.2 Untere Extremität

4.2.1 Distale untere Extremität

Die Durchleuchtung der distalen unteren Extremität gestaltet sich bis zum proximalen Femur weitgehend unkompliziert.

Durch die überwiegend ventral und seltener lateral gewählten Zugangswege zur anatomiegerechten Reposition kann in den meisten Operationen an der distalen unteren Extremität auf die vergleichsweise komplikationsarme Rückenlage zurückgegriffen werden (Rüedi, Th.; 1984). Diese kann sowohl bei Implantation von Schrauben- und Plattenosteosynthesen bei z.B. Tibiakopf-, Sprunggelenks- oder Talusfrakturen, als auch bei intramedullären Verfahren wie beispielsweise bei Implantationen von UTN (unaufgebohrter Tibia Nagel), TEN (Titan Endo Nails) bei Fibulafrakturen mit Weichteilschäden oder DFN (Distaler Femur Nagel) bei distalen Femurfrakturen beibehalten werden. Auch bei Zuggurtungsosteosynthesen bei Patellaquerfrakturen und Metatarsale-V-Basis-Frakturen sowie bei Anlagen von Fixateur-externe-Systemen bei offenen Frakturen im Bereich des distalen Femurs, des Unterschenkels oder des Fußes ist die Rückenlage die bevorzugte Patientenlagerung (Sommer, R.; 1999).

Durch einen insgesamt geringeren Querschnitt beider Beine kombiniert mit dem OP-Tisch zeigt sich bei der Orbitalbewegung des Siremobils keine Kollisionstendenz. Bei zu breiten Tischauflagen kann es zu Behinderungen der Rotation kommen, durch Lagerung der unteren Extremitäten auf eine schmalere

oder konische Unterlage lassen sich mögliche Kollisionen mit dem Iso-C vermeiden.



Abbildung 48: Darstellung der distalen unteren Extremität, Rückenlage, orthograd zu Tisch und Patient, Startposition 95°



Abbildung 49: Darstellung der distalen unteren Extremität, Rückenlage, orthograd zu Tisch und Patient, Startposition 95° , Fokus auf Kniegelenke

Vor allem aufgrund der Variationsvielfalt bei Lagerungshilfen für die untere Extremität z.B. zum isolierten Auslagern nur einer Seite oder Abkippen der Unterschenkel zeigt sich bei vielen Operationstischen und ihren entsprechenden Variablen ein hoher Metallanteil.

Im Gebrauch mit herkömmlichen Bildwandlern im 2D-Modus konnte eine daraus resultierende Artefaktbildung durch Umpositionieren der Basis und des C-Arms oder des Patienten reduziert bzw. vermieden werden.

Eine Veränderung der Stellung des Siremobils zum Tisch und zum Patienten ist während einer Akquisitionsequenz von 100 Bildern um einen vorher definierten Fokus nicht möglich, da ein Positionswechsel während einer Orbitalbewegung keine anatomiegerechte Errechnung eines dreidimensionalen Datensatzes erlaubt.



Abbildung 50: Darstellung der distalen unteren Extremität, Rückenlage, orthograd zu Tisch und Patient, Endposition 95°



Abbildung 51: Darstellung der distalen unteren Extremität, Rückenlage, orthograd zu Tisch und Patient, Neutralstellung

Aus diesem Grund sollte die Unterlage in der zu beurteilenden Region aus durchleuchtungsfähigem Material wie z.B. Glasfaser, Carbon oder Holz bestehen.

Eine von der Fa. Maquet vorgeschlagene Lösungsoption ist eine Carbon-Platte, die lediglich im Anschlussbereich an den übrigen Tisch mit Metallelementen versehen ist. Somit ist diese Platte ab einem Abstand von ca. 10 cm vom Verbindungselement vollständig durchleuchtungsfähig.

Denkbar wäre auch ein Carbonrahmen, wie er gelegentlich bei Unterschenkelmarknagelungen verwandt wird (Seibert et al., 2000).



Abbildung 52: Darstellung der distalen unteren Extremität, Rückenlage, orthograd zu Tisch und Patient, kollisionsfreie Orbitalbewegung

Um eine Überlagerung durch das gesunde Bein in der Bildgebung zu vermeiden, kann dieses abgewinkelt ausgelagert werden. Allerdings sind die dafür benötigten zweigeteilten Beinauflagen meistens metallunterstützt, was, wie oben beschrieben, eine ausreichende Beurteilbarkeit des gewonnenen Datenmaterials verhindert.

Vor allem in den proximaleren Regionen entsteht ein außerordentlicher Aufwand, den Patienten unter Vermeidung von Lagerungsschäden umzulagern, so dass nur noch ein Bein ohne Artefakt erzeugende Lagerungshilfen im Durchleuchtungsfokus liegt.

Da auch durch parallel gelagerte Beine eine gut beurteilbare Darstellung möglich ist, kann der Operateur zwischen exakter Darstellung nur eines Beines mit

intensivem Lagerungsaufwand, und einfachem Positionieren des Patienten ohne störende Metallstreuung mit geringer Minderung der Bildqualität entscheiden.

Grundsätzlich ist bei jeder Durchleuchtung mit breiteren Unterlagen darauf zu achten, dass das zu röntgende Bein so mittig wie möglich auf der Platte liegt, um eine kollisionsfreie Orbitalbewegung zu sichern.

4.2.2 Proximaler Femur und Becken

Im proximalen Bereich der unteren Extremität und am Becken zeigen sich beim Gebrauch des Siremobils Iso-C 3D im Vergleich zur distalen unteren Extremität deutlich anspruchsvollere Anforderungen sowohl an die Patientenlagerung als auch an den Tisch und seine Bauelemente.

In regulärer Rücken-, Bauch- oder Seitlage positioniertem Patienten ohne ausgelagerte untere Extremität ist eine orthograde Stellung des Siremobils zu Tisch und Patient die einzige, die eine vollständige Orbitalbewegung gewährleistet.

Da im Strahlengang im Bereich des proximalen Femurs, des Hüftgelenks und des Beckens eine große Dichte knöcherner Strukturen besteht, kommt es bei der radiologischen Darstellung mit dem Siremobil zu Überlagerungsphänomenen. Eine ausreichende Beurteilbarkeit ist gegeben, im Vergleich zur dreidimensionalen Darstellung z.B. der distalen Extremitäten ist die Befunderhebung deutlich erschwert. Aus diesem Grund werden Lagerungsalternativen oder Positionsvariationen des C-Bogens benötigt.

Bei paralleler Stellung der C-Bogenachse zur Tischlängsachse wird die Rotationsbewegung durch den Tisch behindert, alternative Lagerungsoptionen erlauben keine stabile und lagerungsschadenfreie Patientenposition.

Bei diagonalen Positionen des Siremobils zu Tisch und Patient kann durch den Rotationsdurchmesser zwischen Strahlenquelle und Empfänger einerseits und das in dieser Position des C-Bogens vergrößerte zu umrundende Volumen andererseits keine kollisionsfreie Orbitalbewegung ermöglicht werden.



Abbildung 53: Darstellung des proximalen Femurs und des Beckens, Seitenlage, orthograd zu Tisch und Patient, Startposition 95°, Lagerung auf Carbonplatte und beige-stelltem Zusatztisch



Abbildung 54: Darstellung des proximalen Femurs und des Beckens, Seitenlage, orthograd zu Tisch und Patient, Startposition 95°, Lagerung auf Carbonplatte und beige-stelltem Zusatztisch, Fokus auf Sakroiliakgelenk

Wird das Siremobil orthograd zum Tisch über die Beckenregion eingefahren, können aufgrund der aus Metall bestehenden Tischscharniere und Verbindungselemente zwischen Rumpf- und Beinauflage, Artefaktbildungen resultieren.

Diese Metallartefakte können durch eine präoperative Lagerung des Patienten kaudalwärts umgangen werden, abhängig von der Patientengröße wird eine zusätzliche Tischverlängerung z.B. in Form eines Beistelltisches zur Unterstützung der distalen unteren Extremität benötigt.

Darüber hinaus sollte der Durchleuchtungsfokus soweit möglich in der Mitte des Tisches liegen, um eine Kollision der Siremobilelemente mit dem Tisch zu verhindern.

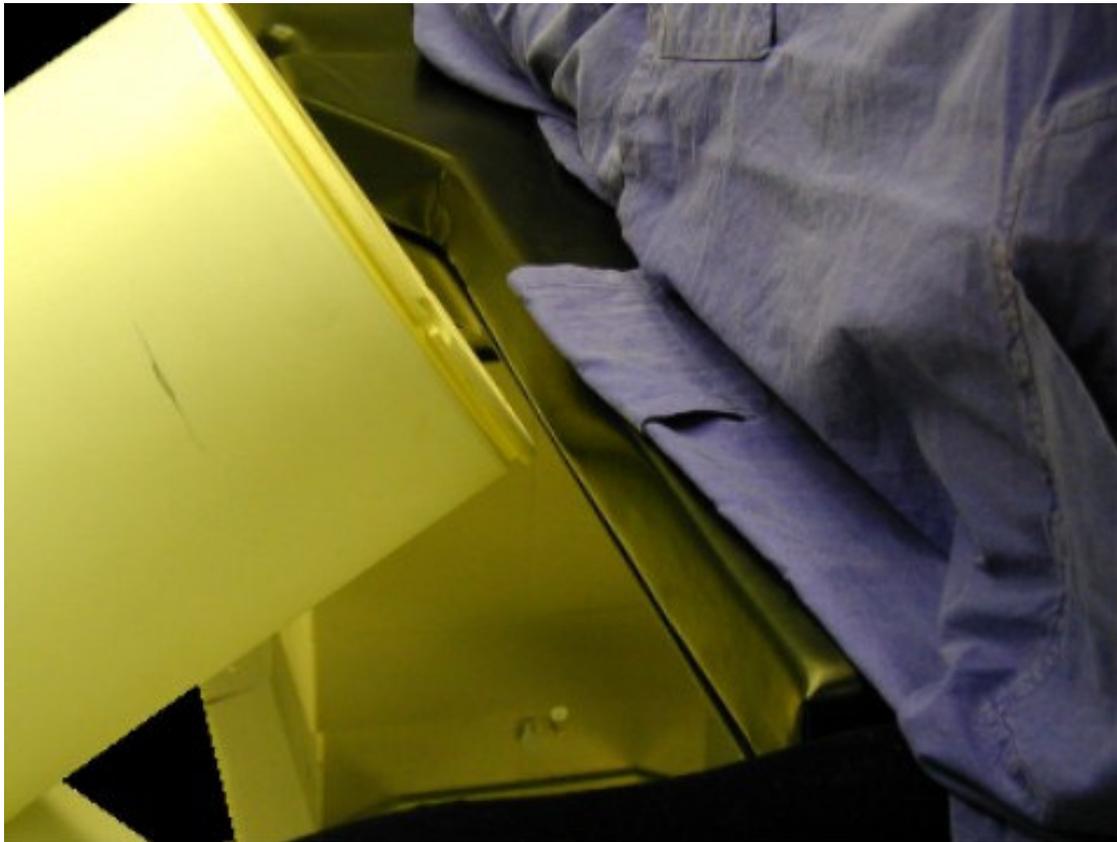


Abbildung 55: Darstellung des proximalen Femurs und des Beckens, Seitenlage, orthograd zu Tisch und Patient, kollisionsfreie Orbitalbewegung

Diese Lagerungsgrundlagen zur Durchleuchtung gelten nicht nur für Rücken- und Bauch-, sondern auch für die Seitlagerung.

4.2.3 Lauenstein-Lagerung

Ist eine Darstellung beider Hüften oder proximaler Extremitäten nicht beurteilbar oder erfordert die Operation eine noch genauere Bildgebung, besteht des Weiteren die Möglichkeit, die zu operierende Extremität solitär zu durchleuchten. Da aus oben erwähnten Gründen eine diagonale Stellung des C-Bogens zur Tischlängsachse in Rücken-, Bauch- oder Seitlage ohne ausgelagerte Extremitäten nicht praktikabel ist, muss der Patient alternativ in der Lauenstein -Position gelagert werden, was für das nicht zu operierende Bein eine Hüftabduktion von 40-50° und eine Flexion von nahezu 90° bedeutet. Das Knie wird um ungefähr 60° flektiert. Zusätzlich wird der Patient im Vergleich zu bisher gebräuchlichen Lagerungen in dieser Position um etwa 15 bis 25 Zentimeter weiter zum Fußende des Tisches gelegt, damit der Fokus nicht im Bereich der Tischscharniere liegt, deren Metall die Bildqualität negativ beeinflusst.

Der C-Bogen kommt von kaudal-lateral in einem Winkel von circa 45° zur Patientenlängsachse.



Abbildung 56: Darstellung des proximalen Femurs und des Beckens, Lauensteinlagerung, diagonal zu Tisch und Patient, von kaudal, Startposition 95°, Perspektive von kaudal



Abbildung 57: Darstellung des proximalen Femurs und des Beckens, Lauensteinlagerung, diagonal zu Tisch und Patient, von kaudal, Neutralstellung, Perspektive von lateral

So ist eine kollisionsfreie Rotation des Bogens gewährleistet.

Vorteil der Lauenstein – Lagerung ist, dass nur das zu beurteilende Hüftgelenk bzw. der proximale Femur abgebildet wird und keine Bildüberlagerung durch die restliche Hüfte oder die gesunde Extremität stattfinden kann, was die Befunderstellung einfacher und sicherer gestaltet.

Auch die Rotation selbst ist leichter zu bewerkstelligen, da das zu umfahrende Gebiet mit der Hüftseite samt Auflage schmäler ist, als der Umfang der gesamten Hüfte mit beiden Oberschenkeln auf einer entsprechend breiten Unterlage.



Abbildung 58: Darstellung des proximalen Femurs und des Beckens, Lauensteinlagerung, diagonal zu Tisch und Patient, von kaudal, kollisionsfreie Orbitalbewegung, Perspektive von kaudal



Abbildung 59: Darstellung des proximalen Femurs und des Beckens, Lauensteinlagerung, diagonal zu Tisch und Patient, von kaudal, kollisionsfreie Orbitalbewegung vergrößert, Perspektive von kaudal

Allerdings ist der präoperative Lagerungsaufwand erheblich größer, zusätzliche Stützen müssen angebracht werden, eine Verlängerung am Fußende kann vonnöten sein, Polsterungen am ausgelagerten Bein dürfen nicht vergessen werden.

Durch die lange unphysiologische Haltung der nicht zu operierenden Extremität ist das Risiko von Lagerungsschäden vor allem in Form von Druckläsionen der Nerven im Kniebereich, aber auch Muskelschäden, wie z.B. Kompartmentsyndrom, sowie Drucknekrosen der Haut, erhöht.

Um den räumlichen Vorteil nutzen zu können, ist als Auflage für das kranke Bein eine schmale Stütze notwendig. Solche Stützen sind meist metallgeführt, um die nötige Stabilität bei gleichzeitiger Mobilität zu gewährleisten.

Dieser Umstand bedeutet wiederum eine negative Beeinflussung der Bildqualität. Somit wäre eine zum Operationstisch kompatible, durchleuchtungsfähige einseitige Beinauflage zur Vermeidung von Metallartefakten hilfreich.



Abbildung 60: Darstellung des proximalen Femurs und des Beckens, Lauensteinlagerung, diagonal zu Tisch und Patient, von kaudal, Endposition 95°, Perspektive von lateral

4.3 Wirbelsäule und Rumpf

Die Lagerungsvoraussetzungen und -variationen zur dreidimensionalen radiologischen Darstellung der Wirbelsäule und des Rumpfes mit dem Siremobil Iso-C 3D gestaltet sich vergleichsweise weitestgehend unproblematisch.

Grundsätzlich ist im gesamten Durchleuchtungsbereich auf eine metall- und anderweitig artefakterzeugende Materialfreiheit zu achten. Bei vielen herkömmlichen Operationstischen sind vor allem Verbindungselemente metallunterstützt.

Darüber hinaus können herkömmliche Lagerungstechniken eingesetzt werden (Callahan et al., 1981).

4.3.1 Halswirbelsäule

So ist die Fixation des Kopfes auf einer entsprechenden Schale oder einem Ring beim Einsatz der dreidimensionalen Bildgebung durch das Siremobil bei Operationen an der Halswirbelsäule nur bei artefaktfreier Darstellung sinnvoll. Alternativ kann der Patient auf einer Carbon-Rückenplatte unter entsprechender Kopffixation gelagert werden.



Abbildung 61: Darstellung der Halswirbelsäule, Rückenlage, orthograd zu Tisch und Patient, freie Orbitalbewegung, Perspektive von kranial



Abbildung 62: Darstellung der Halswirbelsäule, Rückenlage, orthograd zu Tisch und Patient, Startposition 95°, Perspektive von kranial

Limitiert durch die Breite des Patienten bzw. des Tisches einerseits und dem Rotationsradius andererseits zeigt sich beim Einsatz des Iso-C 3D als einzige praktikable Positionskombination die orthograde Stellung des Siremobils zu Tisch und Patient.

Gegebenenfalls muss auf eine im Kopf- und Schulterbereich schmalere Rückenplatte zurückgegriffen werden, um eine kollisionsfreie Orbitalbewegung zu gewährleisten.



Abbildung 63: Darstellung der Halswirbelsäule, Rückenlage, orthograd zu Tisch und Patient, Startposition 95°, Fokus auf HWS, Perspektive von kranial



Abbildung 64: Darstellung der Halswirbelsäule, Rückenlage, orthograd zu Tisch und Patient, Startposition 95° , Fokus auf HWS, Abstand des Empfängerzylinders zum Tisch ausreichend für kollisionsfreie Orbitalbewegung, Perspektive von kranial

Unabhängig von der verwendeten Lagerung ergeben sich unter Beachtung dieser Richtlinien im Bereich der Halswirbelsäule keine weiteren Komplikationen bei der Darstellbarkeit knöcherner Strukturen mit dem Siremobil Iso-C 3D.



Abbildung 65: Darstellung der Halswirbelsäule, Bauchlage, Kopf im Halo-Ring fixiert, orthograd zu Tisch und Patient, Neutralposition, mögliche intraoperative Anordnung

Intraoperativ ist eine Anordnung der technischen Elemente wie folgt denkbar: Operateur und Assistent mitsamt OP-Schwester und Beistelltisch positionieren sich auf der Seite des Zugangs, während der C-Bogen von der anderen Seite über das zu durchleuchtende Areal eingefahren wird. Auf dieser Seite steht ebenfalls der Monitor mit dem den dreidimensionalen Datensatz berechnenden Computer. So kann der Operateur von seinem Standpunkt aus die errechneten Schnittbilder beurteilen.

Die sterile Abdeckung des Patienten sollte dabei unterhalb des Patienten und des Tisches verschlossen werden und nicht, wie bei bisher verwandten C-Bögen, auf den Boden hängen, so dass durch die der Orbitalbewegung angepasste modifizierte Abdeckung eine entsprechende Sterilität gewährleistet werden kann.

4.3.2 Brust- und Lendenwirbelsäule

Grundsätzlich sind bei operativen Versorgungen frischer traumatischer, osteoporotischer oder pathologischer Wirbelkörperfrakturen sowie von degenerativen Veränderungen der Wirbelsäule Bauch-, Seiten- und Rückenlage anwendbar. Abhängig von Lokalisation der Pathologie, Zugangsweg und Art der operativen Versorgung ist eine spezifische Lagerung erforderlich.

Vor allem in den thorakalen, thorakolumbalen und lumbalen Wirbelsäulenregionen werden aufgrund der häufig gewählten Zugangswege Bauchlage bei dorsalen Stabilisierungen und Seitenlage und Rückenlage bei ventralen Spondylodesen angewandt.

Wird der Durchleuchtungsfokus in den distalen Abschnitt der Wirbelsäule gelegt, können aufgrund metallführender Verbindungselemente Artefaktbildungen resultieren.

Unter Verwendung herkömmlicher Fluoroskopiegeräte erfolgt die Lagerung des Patienten so, dass Lendenwirbelsäule und lumbosacraler Übergang im Bereich der Tischscharniere bzw. des Tischsockels positioniert sind. Bei dieser Lagerungsoption resultieren beim Einsatz des Siremobils Iso-C 3D Kollisionen von Empfänger und Strahlenquelle mit dem Sockel.



Abbildung 66: Darstellung der Lendenwirbelsäule, Seitenlage, orthograd zu Tisch und Patient, Startposition 95°, Perspektive von kranial



Abbildung 67: Darstellung der Lendenwirbelsäule, Seitenlage, orthograd zu Tisch und Patient, Startposition 95°, Fokus auf LWS, Perspektive von kranial-diagonal, Lagerung auf Carbontisch, beige-stellter Zusatztisch

Aus diesem Grund muss der Patient auf der im Vorangegangenen bereits beschriebenen Carbon-Rückenplatte nach kaudal verlagert werden, um die entsprechende knöcherne Struktur und den benötigten Rotationsraum artefaktfrei und kollisionsfrei mit dem Iso-C 3D durchleuchten zu können.

Besonders bei großen Patienten kann ein zusätzlicher Beistelltisch zur Oberkörperlagerung erforderlich sein.

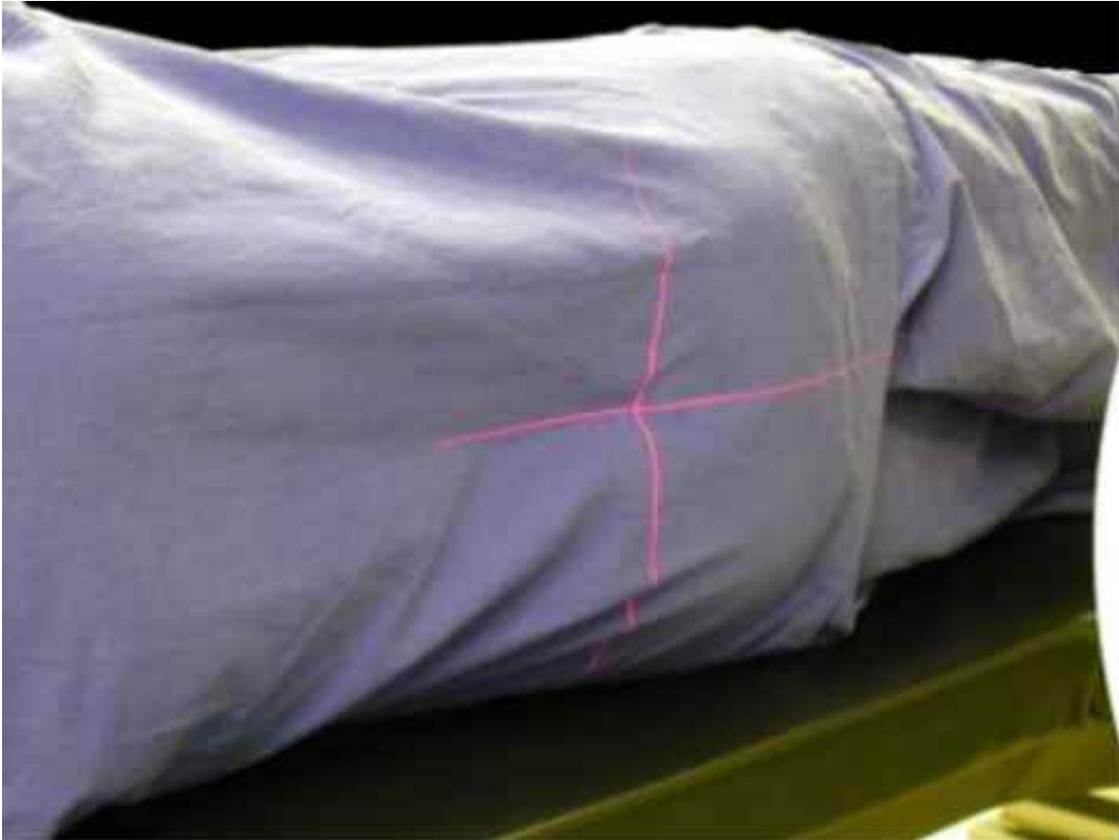


Abbildung 68: Darstellung der Lendenwirbelsäule, Seitenlage, orthograd zu Tisch und Patient, Startposition 95°, Fokus auf LWS vergrößert, Perspektive von kranial-diagonal



Abbildung 69: Darstellung der Lendenwirbelsäule, Seitenlage, orthograd zu Tisch und Patient, kollisionsfreie Orbitalbewegung, Perspektive von kranial-diagonal

Bei Operationen in Bauchlage gelten bezüglich der Lagerungsvariationen die eben erwähnten Modifikationen.

Während bei invasiven Versorgungen von Wirbelkörperfrakturen unter Einsatz bisher verwandter Röntgengeräte insbesondere im thorakolumbalen und lumbalen Bereich ein Polsterrahmen unter den Patienten geschoben werden konnte, um durch Lordosierung eine gewisse Aufrichtung des kyphotisch deformierten Wirbels zu erreichen, ist der Einsatz einer solchen Lagerungshilfe beim Gebrauch des Siremobilis Iso-C 3D aus geometrischen Gründen nicht zu empfehlen.



Abbildung 70: Darstellung der Lendenwirbelsäule, Bauchlage, orthograd zu Tisch und Patient, Neutralposition, Perspektive von kranial

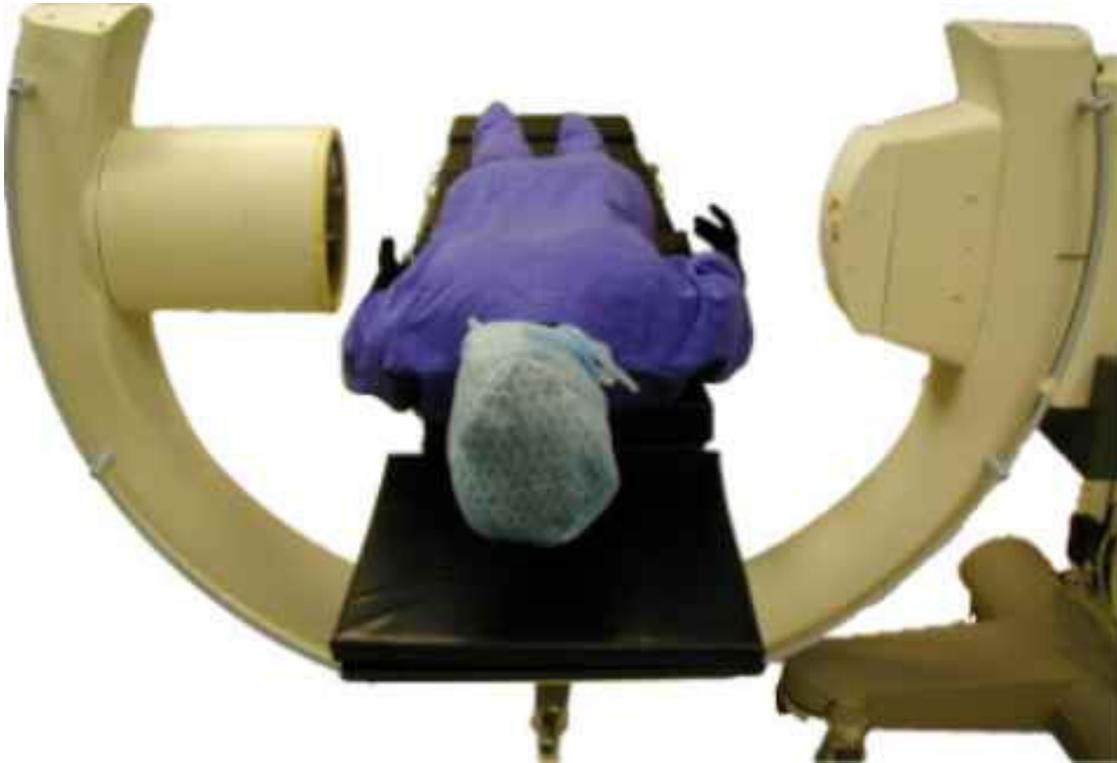


Abbildung 71: Darstellung der Lendenwirbelsäule, Bauchlage, orthograd zu Tisch und Patient, Startposition 95°, Perspektive von kranial

Durch die sich daraus ergebende vergrößerte Distanz des Durchleuchtungszentrums von der Tischplatte käme es zu Kollisionen des Empfängerzylinders und der Strahlenquelle mit den Tischkanten, eine beurteilbare Darstellung wäre nicht mehr realisierbar.



Abbildung 72: Darstellung der Lendenwirbelsäule, Bauchlage, orthograd zu Tisch und Patient, Startposition 95° , Fokus auf Übergang BWS-LWS, Perspektive von kranial-diagonal



Abbildung 73: Darstellung der Lendenwirbelsäule, Bauchlage, orthograd zu Tisch und Patient, Neutralposition, Fokus auf Übergang BWS-LWS, Perspektive von kranial



Abbildung 74: Darstellung der Lendenwirbelsäule, Bauchlage, orthograd zu Tisch und Patient, kollisionsfreie Orbitalbewegung, Perspektive von kranial-diagonal



Abbildung 75: Darstellung der Lendenwirbelsäule, Bauchlage, orthograd zu Tisch und Patient, kollisionsfreie Orbitalbewegung, Perspektive von kranial-diagonal



Abbildung 76: Darstellung der Lendenwirbelsäule, Bauchlage, orthograd zu Tisch und Patient, Neutralposition, mögliche intraoperative Anordnung von Siremobil, OP-Tisch und Instrumententischen, sterile Abdeckung mit Fixierung auch unterhalb des Tisches

Der peri- und intraoperative Aufbau sollte bei Operationen an der Rumpfwirbelsäule unter Einsatz des Iso-C 3Ds analog zur Halswirbelsäule erfolgen. Während das anreichende OP-Personal mit den entsprechenden Beistelltischen am Fußende des Patienten positioniert wird, kann das Siremobil mit Monitor und Computer auf der gegenüberliegenden Seite des Operateurs platziert werden. Auf diese Weise wird eine Beeinträchtigung des Bewegungsumfangs verhindert.

Die Einleitung und Führung der Narkose kann wie bei bisher angewandten Methoden von der Kopfseite hinter einem entsprechenden Schirm erfolgen.

Bei der sterilen Abdeckung sollte diese insbesondere im Bereich des für die Orbitalbewegung benötigten Raumes unterhalb des Tisches so an den Tisch fixiert werden, dass es zu keinem Zeitpunkt der Rotation um den Durchleuchtungsfokus zu einer Berührung der C-Bogen-Elemente mit der OP-Abdeckung und damit zu einem Sterilitätsverlust kommen kann.

5. Auswertung

Ein entscheidendes Kriterium für eine bewertbare Darstellung ist in jedem zu durchleuchtenden Bereich die Unterlage.

Bei metallunterstützten Tischteilen im Strahlengang ist bei einer Orbitalbewegung von 190° und 100 Fluoroskopien zur Errechnung eines dreidimensionalen Datensatzes eine Beurteilbarkeit der zu beurteilenden Region aufgrund von Metallartefakten nicht mehr gewährleistet.

Deswegen ist bei der Verwendung des Siremobils Iso-C 3D noch mehr als bei den bisher verwendeten Röntgenverfahren darauf zu achten, dass durch das verwendete Tischmaterial keine Artefakte im berechneten Bild entstehen können. Durch die bisher nicht angewandte Rotation gelangen Tischelemente in den Strahlenweg, deren Material bis jetzt nicht von der Durchleuchtungsfähigkeit abhängig gemacht wurde.

5.1 Obere Extremität

Für den Gebrauch des Siremobils Iso-C 3D an der distalen oberen Extremität ergeben sich keine Komplikationen. Der zu operierende Arm wird auf einer durchleuchtungsfähigen Lagerungshilfe in einem Winkel ausgelagert, der 110 Grad zwischen Hals und Humerus nicht unterschreitet. Parallel zur Körperlängs- und der Tischachse kann die Orbitalbewegung kollisionsfrei um den darzustellenden Fokus beendet werden.

Erst ab dem proximalen Humerusdrittel bis zur Schulter ist eine problemlose Rotation um den gewünschten Fokus sehr schwierig. Wie gezeigt, ergibt sich als eine von drei praktikablen Optionen die Positionierung des C-Bogens von kranial auf der gesunden Seite des in Lawn-Chair-Position gelagerten Patienten, so dass die Orbitalbewegung diagonal zur Patientenlängsachse erfolgt.

Eine exakte Vorbereitung ist notwendig, bei Stellungsänderungen des Siremobils zum Tisch ermöglicht Kollisionen sowie eine eingeschränkte Orbitalbewegung innerhalb der maximal gewonnenen Rotation von 40 bis 190°.

Der Gebrauch einer speziellen Schulterplatte, bei der ab Beckenhöhe fast nur die Wirbelsäule und der ausgelagerte Arm aufliegen, ist ebenso notwendig, wie die exakte Lagerung des Patienten. Die Lawn-Chair-Position schließt eine Hüftflexion von 40 Grad ein, der C-Bogen steht in einem Winkel von 50 Grad zum Tisch. Der Arm ist vergleichbar zu bisher durchgeführten Operationsmethoden ausgelagert.

Durch den präoperativen Aufbau können im Kopfbereich Platzprobleme resultieren. Deswegen kann eine alternative Anästhesieführung von der gesunden Seite aus notwendig sein.

Durch diese Planung kann der Operateur von der zu operierenden Seite aus handeln, eine Durchleuchtung oder ein computerassistiertes Verfahren kann ohne Umbau erfolgen.

Diese Methode, die Schulter zu durchleuchten, ist trotz akribischer Vorbereitung nicht bei jedem Patienten möglich. Vor allem bei adipösen Patienten, oder großen Köpfen kommt es zu Kollisionen mit dem Siremobil Iso-C 3D. Diese wären nur durch Patientenlagerungen zu beheben, die vor allem zu Plexus- oder HWS-

Schäden führen können. Solche postoperativen Beschwerden stehen aber in keiner Relation zum Operationserfolg.

In Rückenlage kann bei selber Stellung des Iso –C 3D um Operationstisch und Patient ebenfalls ein Orbitalbewegungsausmaß von 150° und somit eine ausreichende Beurteilbarkeit des dreidimensionalen Datensatzes erreicht werden.

Lagerungsbedingte Belastungen auf cervikale Strukturen vor allem durch die Seitwärtsneigung erscheinen in Rückenlage gegenüber der Beach-Chair-Lagerung nicht vergleichbar hoch.

Aufgrund des im Kopfbereich stehenden Siremobils und dem damit einhergehenden verringerten Platzangebot lässt sich alternativ zur Positionierung des Anästhesiepersonals und –geräts bei Operationen in Orthopädie und Unfallchirurgie unter Einsatz von herkömmlichen Durchleuchtungsgeräten eine Narkoseführung von der nicht zu operierenden Seite aus erwägen.

Im Bereich der Orbitalbewegung des C-Bogens sollte die darzustellende Schulter zirkulär auch unterhalb des Operationstisches abgedeckt sein, um die Rotation nicht zu behindern und die Sterilität des Operationsgebietes zu gewährleisten.

Zur gesunden Seite hin können die sterilen Abdeckungen an entsprechenden Haltestangen befestigt werden.

Letzte praktikable Positions-Option zum Einsatz des Iso-C 3D im Bereich der proximalen oberen Extremität stellt eine orthograde Stellung des C-Bogens zur Längsachse des in Rückenlage gelagerten Patienten dar. Die Siremobil-Basis wird auf die zu operierende Seite fixiert.

Abhängig vom Umfang des Patienten in der zu beurteilenden Region lassen sich Orbitalbewegungen von 125 bis 135° erreichen, so dass sich eingeschränkt beurteilbare Datensätze errechnen lassen.

In dieser Kombination kann die Narkoseführung von kranial erfolgen, der nicht zu operierende Arm muss zumindest während der Orbitalbewegung angelagert werden.

Analog zu den vorangegangenen beschriebenen Lagerungsoptionen bei operativen Versorgungsmöglichkeiten im Bereich der proximalen oberen Extremität empfiehlt sich eine sterile Abdeckung um das OP-Gebiet mit Fixation unterhalb des Tisches zur kontaktfreien Rotation des C-Bogens. Im Kopfbereich sollte die Abdeckung an Haltestangen befestigt eine Sterilitätsgrenze bilden.

Bei diesen Methoden, bei denen die Endposition nicht das voll mögliche Ausmaß von 95 Grad über Null erreichen kann, ist es wichtig, dass der C-Bogen beim Festlegen der Endposition nicht in der Startposition von 95 Grad steht. Wäre dies der Fall, ließe sich die Endposition nicht mehr variieren, was eine Einschränkung der Orbitalbewegung unmöglich macht und somit eine 3D-Rekonstruktion nicht zulässt.

Um die OP-Abdeckungen nicht im Rotationsweg hängen zu lassen, und somit freie Bewegung sowie Sterilität des C-Bogens zu gewährleisten, sollten die OP-Tücher unterhalb der Tischplatte eng zusammengeklebt oder –gebunden werden.

5.2 Untere Extremität

Analog zur oberen Extremität, ist der Einsatz des Siremobils Iso-C 3D im Bereich der distalen unteren Extremität komplikationsarm durchführbar.

Zur Vermeidung einer Kollision des Iso-C 3 D mit Tisch oder Patient ist eine nahezu orthograde Stellung der C-Bogenachse zur Tischlängsachse erforderlich, spitze Winkel bedingen Zusammenstöße.

Die fokussierende Region wird unter Berücksichtigung von Lagerungsschäden soweit möglich in der Tischmitte fixiert, eine vollständig durchleuchtungsfähige Unterlage ist erforderlich.

Zur Vermeidung von Überlagerungsartefakten in der dreidimensionalen Darstellung gegenüber der einfachen Rückenlagerung mit parallel gelagerten Beinen kann das nicht zu durchleuchtende Bein unter Abwägung eines erhöhten Risikos für Lagerungsschäden, insbesondere Drucknekrosen und Nervenschäden, ausgelagert werden.

Wesentlich komplizierter gestaltet sich der Einsatz des Siremobils Iso-C 3D im proximalen Femurdrittel sowie im Becken- und Hüftbereich.

Um Metallartefakte zu verhindern, ist die Positionierung des Patienten auf dem Tisch nach kaudal erforderlich, die zu beurteilende Region sollte außerhalb der Tischgelenke gelagert werden.

Bei orthograder Stellung des C-Bogens zur Tischlängsachse und gleichzeitiger kranialer Sockelposition können auf diese Weise sowohl in Rückenlage als auch in Seitenlage kollisionsfreie, vollständige Orbitalbewegungen ermöglicht werden. Aufgrund von Überlagerungen verschiedener knöcherner Strukturen im Strahlengang bei Orbitalbewegungen des Iso-C 3D ist mit verminderter Bildqualität zu rechnen.

Um diese zu vermeiden, wird alternativ auf die Lauenstein-Lagerung zurückgegriffen. Das gesunde Bein wird durch nahezu rechtwinklige Hüftflexion

und -abduktion von 40 bis 50 Grad bei gleichzeitiger Knieflexion von ungefähr 60 Grad aus dem Rotationsraum des C-Bogens positioniert.

Dieser wird von kaudal und medial in einem Winkel von circa 45 Grad zum Tisch über den Fokus fixiert.

Auf diese Weise kann solitär ein Hüftgelenk bzw. ein Femur unter Überlagerungsartefaktminimierung dargestellt werden, durch die Lauenstein-Lagerung erhöht sich die Gefährdung anatomischer Strukturen.

5.3 Wirbelsäule

Bei Beachtung oben genannter präoperativer Vorbereitungsratschlägen ist die Durchleuchtung der Wirbelsäule ohne Kollision durchzuführen. Der Patient kann in jeder Lagerung, die auch in bisherigen Wirbelsäulenoperationen verwendet wurden, operiert werden. Einzige Ausnahme stellen Interventionen an der tief lumbalen Wirbelsäule in Mekkalagerung dar, bei denen bei Orbitalbewegungen Kollisionen mit der Beinlagerungshilfe resultieren können.

Entscheidend für eine gute Darstellbarkeit ist die ausreichende Entfernung vom Tischsockel. Bei orthograder Stellung des C-Bogens zur Plattenlängsachse wird ein Zusammenstoß vermieden. Dies gilt für jede Region der Wirbelsäule.

Von entscheidender Bedeutung für eine gute Beurteilbarkeit der errechneten Bilder ist das Material der Auflage unter dem zu durchleuchtenden Fokus. Zur Artefaktvermeidung sind so wenige Metallbestandteile wie möglich zu empfehlen. Bei einer Operation im Bereich des lumbosacralen Übergangs und der unteren Lendenwirbelsäule wird der Patient so nach kranial oder kaudal gelagert, dass die Tischscharniere nicht mehr im Strahlengang liegen. Je nach Größe des zu

Operierenden ist eine Verlängerung zur fachgerechten Kopfpolsterung oder Beinabstützung notwendig.

Bei Halswirbelsäuleneingriffen wird der Kopf des Patienten stabil auf einer Platte gelagert, die im Gegensatz zu bisher verwandten Lagerungshilfen keine Metallschienen enthält.

Neben fixierter und somit stabiler Lagerung zur Vermeidung von Lagerungsschäden ist darauf zu achten, dass die Gesamthöhe der zu durchleuchtenden Struktur mit Tisch und entsprechenden Lagerungshilfen im minimiert ist. Vor allem bei Eingriffen im thorakalen, thorakolumbalen und lumbalen Bereich ist auf entsprechende Rahmenkissen zu verzichten.

6. Diskussion

Der Begriff „Computer-assistiertes Operieren“ fasst Anwendungen zusammen, die in der Lage sind, die Akkuranz von Operationen zu verbessern. In der Traumatologie und Orthopädie werden Computertomographie-gestützte und zwei- wie auch dreidimensionale Fluoroskopie-basierte Navigationssysteme bevorzugt (Gebhard et al., 2000).

Bei Computertomographie-basiertem navigiertem Operieren sind verglichen mit allen eingesetzten Navigationssystemen Datensätze mit besserer Bildqualität zu erstellen, die Bildgebung erfolgt präoperativ und wird anschließend mittels entsprechend kompatiblen Systemen zur OP-Planung verwandt. Vor allen Dingen bei Eingriffen an der Wirbelsäule und am Becken hat sich der Einsatz dieses Verfahrens bereits etabliert.

Nachteilig stellen sich jedoch im Vergleich zu anderen Navigationssystemen vor allem in der Traumatologie der zusätzliche intraoperative Einsatz eines C-Arms und die nur bedingt mögliche Beurteilungsfähigkeit von Repositionen und Implantatpositionierung dar.

Unter Berücksichtigung von Minderung der Bildqualität bei jedoch in den meisten anatomischen Regionen zur Frakturbeurteilung genügender Beurteilungsmöglichkeit sind aufgrund der frei wählbaren intraoperativen Bildgewinnung fluoroskopiegestützte Systeme vor allen Dingen in der Frakturversorgung optimal einsetzbar.

Bei der Auswahl eines Navigationssystems ist somit nicht nur auf das Operationsspektrum einer Klinik einzugehen. Es müssen zudem bereits vorhandene, gegebenenfalls kompatible Bestandteile sowie Vorkenntnisse des eingesetzten Personals, insbesondere der Operateure berücksichtigt werden (Hüfner et al., 2004).

Der Einsatz von Computer-assistierten Operationen in Orthopädie und Unfallchirurgie erlaubt über direkt intraoperativ überprüfbare Bildgebung präzisiertere Knochenschnitte sowie optimierte Implantatlagen und kann bessere Repositionsergebnisse erzielen als bei konventionellen Vorgehen. Darüber hinaus wird neben einer genaueren Dokumentation eine Strahlenreduktion erreicht (Kanlic et al., 2006).

Allerdings ist Navigation nicht bei jeder traumatologischen oder orthopädischen Operation notwendig, bei vergleichbarer Präzision kann auf Computerunterstützung verzichtet werden. So stellte sich in einem Präzisionsvergleich zwischen mechanischen Zielvorrichtungen und Navigation bei der Implantation von distalen Verriegelungsschrauben proximaler Femurnägel (PFN) zwar keine Erhöhung der Akkuranz dar. Die fluoroskopiegestützte Navigation erforderte jedoch einen gesteigerten perioperativen Aufwand durch Auf- und Abbau des Navigationssystems. Die durchschnittliche Operationszeit bei der Platzierung der Verriegelungsschrauben stieg von 6,9 Minuten bei der mechanischen Verriegelung auf 37,6 Minuten unter Navigation, für Auf- und Abbau werden durchschnittlich 44 Minuten benötigt (Suhm et al., 2000; Suhm et al., 2003).

Selbst bei nicht navigiert durchgeführten Eingriffen in der Orthopädie und Unfallchirurgie kann der Einsatz des Siremobils Iso-C 3D zusätzliche Informationen darstellen. Neben der Bilddarstellung wie bei herkömmlichen Fluoroskopiegeräten erlaubt ein 3 D-Scan die verbesserte Beurteilbarkeit von Repositionen und Implantatlagen, gegebenenfalls kann auf Mehraufwand durch Navigationssysteme verzichtet werden (Nolte et al., 2000).

6.1 Technische Daten:

Das Siremobil Iso-C 3D der Firma Siemens, Medizintechnik, Erlangen besteht aus einem C-Bogen mit Bildverstärker und Röntgenröhre mit integrierter Tiefenblende, sowie der zugehörigen Elektronikeinheit, und einem Monitorwagen mit Computer und Monitor zur Visualisierung der errechneten Bilder.

Wie die meisten momentan gebräuchlichen C-Bogen-Einheiten ist das Siremobil Iso-C 3D ein mobiler Röntgenverstärker mit den Optionen der kontinuierlichen und der gepulsten Durchleuchtung. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, digitale Radiographie einzusetzen. Mit dieser Option lassen sich sowohl digitale Einzelbilder als auch Subtraktionsserien anfertigen, die v.a. zur Gefäßdarstellung eingesetzt werden.

Zusätzlich ermöglicht die Akquisition von 50 – 100 äquidistanten Durchleuchtungen einer Orbitalbewegung von maximal 190° die dreidimensionale Darstellung eines im Isozentrum des C-Bogens positionierten Kubus einer Kantenlänge von 119 mm.

Auf dem Monitor werden die errechneten Bilder primär in Koronar-, Sagittal- und Transversalebene dargestellt. Entlang frei gewählter Schnittlinien lässt sich der Kubus in der gewünschten Ebene dreidimensional darstellen. Die Auflösung der gewonnenen Datensätze ist hier immer identisch (Rock et al., 2001; Linsenmaier et al., 2002; Ritter et al., 2002).

Auf diese Weise lassen sich z.B. implantierte Schrauben entlang ihres Verlaufs verfolgen und gemäß ihrer Stellung zur Gelenkoberfläche, zu Frakturfragmenten und gegebenenfalls zu Weichteilen beurteilen.

Gegenüber bisher eingesetzten C-Armen erfordert diese Acquisition während des 3D-Scans konstante Stellungsverhältnisse des Operationstisches, der Patientenlagerung sowie der Siremobil-Position zueinander. Andernfalls ist ein verwertbarer Datensatz nicht rekonstruierbar.

Vor Investition in ein Siremobil Iso-C 3D ist die Wertigkeit eines Einsatzes bei den von der jeweiligen Klinik durchgeführten Eingriffen zu überdenken. Die Verbesserung von Repositionsergebnissen und akkuraten Implantatlagen im Vergleich zum Patientenoutcome ist gegen gegebenenfalls verlängerte Operationszeiten und hohen Investitionskosten abzuwägen. Vor allem bei zeitlich begrenzten Eingriffen mit guten bis sehr guten Outcome-Ergebnissen ohne Verwendung des Siremobils Iso-C 3D oder anderen kostenintensiven Bildgebungssystemen muss die Durchführung eines 3D-Scans diskutiert werden.

Die hohen Anschaffungskosten eines Siremobils Iso-C 3D werden durch Bedarf von durchleuchtungsfähigen Lagerungshilfen zusätzlich gesteigert. Allerdings relativiert sich der Investitionsaufwand durch den Einsatz als konventioneller C-Bogen. Darüber hinaus kann das Gerät bei navigierten Operationen an multiplen anatomischen Regionen und vielen verschiedenen Eingriffen eingesetzt werden (Grützner et al., 2004; Wendl et al., 2003).

Die Organisation bei parallelem intraoperativen Gebrauch gestaltet sich jedoch aufwändig. Die Mobilität zwischen verschiedenen Operationssälen muss ebenso gewährleistet sein wie eine zeitgerechte Abstimmung zwischen verschiedenen, eventuell zeitgleichen Eingriffen. So können intraoperative Wartezeiten auf den Einsatz des Siremobils Iso-C 3D verhindert werden.

6.2 Bildqualität, Orts- und Kontrastauflösung

Rock et al. untersuchten anhand eines Catphan-Qualitätsphantoms die Hochkontrastauflösung des Siremobils Iso-C 3 D im Vergleich mit einem Spiral-CT. Diese Auflösungsbeurteilung erfolgte in den drei Raumachsen x, y und z, die z-Achse wurde als Patientenlängsachse definiert. Die Beurteilung erfolgte durch zwei Radiologen, hier zeigte sich für beide Verfahren eine Beurteilbarkeit von maximal 9 Linienpaaren/ Zentimeter in x- und y- Achse, in der Patientenlängsachse ergaben sich für die Computertomographie und deren Sekundärrekonstruktionen nur 5-6 Linienpaare / Zentimeter gegenüber ebenfalls 9 Linienpaaren/Zentimeter unter Einsatz des Siremobils Iso-C 3 D.

Damit ergibt sich gemäß den „Leitlinien der Bundesärztekammer für CT-Untersuchungen im Hochkontrast“, zitiert nach Rock et al., eine Auflösung über der Anforderung von entsprechend sechs Linienpaaren. Insbesondere in der z-Achse bietet das Siremobil Iso-C 3 D gegenüber dem Spiral-CT eine verbesserte Beurteilbarkeit.

Im Anschluss erfolgte die Frakturspaltbeurteilung an einem exartikulierten Femurpräparat mit durch den Untersucher zugefügter Femurspiralfraktur, deren Spaltbreite durch zwei Schrauben von 2 mm bis zur „minimalen Nachweisgrenze“ (Rock et al., 2001) verändert werden konnte. Auch hier erfolgte der Vergleich mittels CT und Siremobil Iso-C 3D durch zwei Radiologen. Bei Durchführung des 3D-Scans mit hartem Knochenfenster konnte der Frakturspalt in beiden Techniken nachgewiesen werden.

Darüber hinaus wurde die Bildqualität an 18 Leichenpräparaten getestet. Abhängig von der Größe der Gelenke konnte eine Dosisanpassung eingestellt werden. Hier zeigte sich eine gute Differenzierung der Kortikalis bei gelegentlich eingeschränkter Beurteilbarkeit der spongiösen Strukturen an den kleinen

Gelenken, wobei sich die Bildqualität auch bei höherer Strahlendosis im Bereich der proximalen, rumpfnahen Gelenke sowie der Wirbelsäule reduzierte. Kortikale Strukturen konnten hier abgegrenzt werden, vor allen Dingen im Rumpfbereich ist eine Beurteilbarkeit des spongiösen Knochens nicht aussagekräftig.

Eine Beurteilung der Schulterregion wird aufgrund fehlender Möglichkeiten zu Positionierung des Gelenkes ins Isozentrum der Orbitalbewegung ausgeschlossen (Rock et al. 2001; Linsenmaier et al. 2002).

Bild- und Beurteilungsqualität von anatomischen Regionen, Frakturen und Osteosynthesen in-vitro und intraoperativ im Vergleich zu herkömmlichen bildgebenden Verfahren:

6.3 Frakturen:

Erste vergleichende Untersuchungen durch Kotsianos et al. an 14 Gelenkfrakturen unmittelbar verstorbener polytraumatisierter Patienten zeigten 2001 eine deutliche Überlegenheit gegenüber dem konventionellen Röntgen und Gleichwertigkeit im Vergleich zur Spiral- Computertomographie. Jeweils vier Radius-, Tibiakopf- und Olecranon-, sowie zwei Calcaneusfrakturen wurden mittels der beiden oben erwähnten Bildgebungen und den multiplanaren Rekonstruktionen sowie den dreidimensionalen Darstellungen des Siremobilis Iso-C 3D durch zwei ärztliche Mitarbeiter befundet und verglichen.

Gegenüber der Computertomographie stellt sich die Beurteilbarkeit spongiöser Strukturen vermindert dar, der Verlauf der Frakturlinie lässt sich jedoch der CT vergleichbar in den Rekonstruktionen des Siremobilis Iso-C 3 D beurteilen. Insgesamt zeigt sich unter Einsatz von CT und Siremobil Iso-C 3D in dieser Studie

kein Bedarf an weiterer Primärdiagnostik, im konventionellen Röntgen konnte die Anzahl der Frakturfragmente, Gelenkbeteiligung sowie im Bereich des Tibiakopfes die Diagnose nicht sicher beurteilt werden (Kotsianos et al., 2001).

Zur näheren Beurteilung konnten im Anschluss 22 Tibiakopffrakturen von Verstorbenen bezüglich Erkennbarkeit und Beurteilung des Frakturverlaufs in den Datensätzen des Siremobilis Iso-C 3D mit der Darstellbarkeit in Computertomographie und konventionellem Röntgen verglichen werden. Abschließend wurden die radiologisch erhobenen Befunde durch Präparation der Frakturen verifiziert.

Auch hier war es vier unabhängigen Untersuchern möglich, 97 % der dargestellten Frakturen richtig zu erkennen und gemäß AO-Kriterien zu klassifizieren.

Somit stellte sich die Beurteilungsqualität bezüglich Kniegelenksfrakturen der Computertomographie gleichwertig, dem konventionellen Röntgen überlegen dar (Kotsianos et al., 2002; Kotsianos et al., 2004).

Vergleichbar beurteilten Heiland et al. mittels sechs Untersuchern die Bildqualität und –beurteilbarkeit der errechneten Datensätze eines menschlichen Schädels unter Einsatz des Siremobilis Iso-C 3D im Vergleich zu bisher eingesetzten Computertomographietechniken. Unter Beurteilung von jeweils sechs anatomischen und sechs virtuellen Bezugspunkten konnte bezüglich der Beurteilbarkeit kein signifikanter Unterschied dargestellt werden, subjektiv ergab sich jedoch eine gegenüber der Computertomographie vor allem bei Metallartefakten herabgesetzte Bildqualität (Heiland et al., 2003).

An einem Alderson-Rando-Phantom und zweier intraoperativ gewonnener dreidimensionalen Datensätze zur präoperativen Planung einer ausgedehnten Zahnsanierung bei schwerkranken Patienten konnte weiterhin eine gute bis sehr

gute Beurteilbarkeit definierter Strukturen im Vergleich zu konventionell erhobenen Zahnstatus und Panoramaschichtaufnahmen demonstriert werden.

Darüber hinaus ergab sich in der Dosismessung eine gegenüber den konventionellen Verfahren verminderte, der Panoramaschichtaufnahme nahezu gleichwertige Strahlenexposition (Heiland et al., 2004).

Nach diesen ersten Studien stellten Heiland et al. bei Frakturen des zygomatico-maxillären Komplexes einen deutlichen Nutzen zur intraoperativen Beurteilbarkeit von Rekonstruktionen und Implantatlagen fest (Heiland et al, 2005).

Wich et al. berichten bei in drei Jahren insgesamt 442 durchgeführten 3D – Scans am gesamten knöchernen Bewegungsapparat mit dem Siremobil Iso-C 3D über eine intraoperative Revisionsrate von Implantatlage und/oder Repositionsergebnis von 7,3 % (Wich et al., 2004).

Zur Beurteilung kleiner Gelenke mit stark gekrümmten Gelenkflächen als Grenze der zweidimensionalen Interpretationssicherheit simulierten Euler et al. an vier Taluspräparaten mit Weichteilmantel artefaktbildende Schraubenversorgungen. Diese wurden von jeweils zehn Radiologen und Unfallchirurgen, die sich wiederum wieder in jeweils fünf Fachärzte und fünf Assistenzärzte mindestens im dritten Ausbildungsjahr gliederten, bezüglich Bildqualität und Schraubenlage in Relation zu Knochen und Gelenkfläche beurteilt. Hierfür erfolgte die Bildgebung durch konventionelles Röntgen, Durchleuchtung, Siremobil Iso-C 3D und Computertomographie, die gegeneinander bewertet werden sollten. Abschließend wurden die Ergebnisse in einer anatomischen Präparation objektiviert. Dabei zeigte sich zwar eine subjektive Minderung der Bildqualität des errechneten Datensatzes des Siremobil Iso-C 3D, im Vergleich zur Computertomographie konnten Schraubenlagen gleich, gegenüber der Durchleuchtung und dem

konventionellen Röntgen signifikant besser befundet werden (Euler et al., 2001; Wirth et al., 2004).

Intraoperativ konnte navigiertes retrogrades Anbohren einer osteochondralen Talusläsion anhand eines Fallbeispiels dokumentiert werden, in dem eine exakte Darstellbarkeit des Gelenkkörpers sowie des Bohrkanals erreicht wurde. In der postoperativen Computertomographie stellte sich eine im Bilddatensatz des Siremobilis Iso-C 3D kongruente Bohrkanallage dar (Kendoff et al., 2003).

Aufgrund der eingeschränkten Vergleichbarkeit mit in-vitro Untersuchungen erfolgte 2006 die Überprüfung einer „klinischen Wertigkeit des Iso-C 3D bei der Osteosynthese des Fersenbeins“ (Rübberdt et al., 2006).

Zwei unabhängige, im Umgang mit dem Siremobil Iso-C 3D vertraute, Untersucher beurteilten prospektiv 82 intraartikuläre, mittels kombinierter Schrauben-/Plattenosteosynthese (n=81) oder perkutaner Schraubenosteosynthese (n=1) versorgte Calcaneusfrakturen bezüglich Frakturposition und Materiallage. Die Qualität der Reposition der nach Sanders eingeteilten Frakturen bezog sich hierbei auf die Stufenbildung in der Facies articularis tali posterior sowie persistierenden Frakturdehiszenzen in Abhängigkeit von der Frakturlokalisation.

Gegenüber gestellt wurden intraoperativ nach Osteosynthese erstellte Datensätze des Siremobilis Iso-C 3D und entsprechende Durchleuchtungssequenzen, sowie postoperativ angefertigte computertomographische Schnittbilder. Mit diesen Ergebnissen konnten Rückschlüsse auf die intraoperative Interpretation des Operateurs und deren Relevanz für den Operationsverlauf gezogen werden.

Aus dieser Studie ergab sich für die Durchleuchtung keine Beurteilbarkeit der Sektoren I und II nach Sanders im Bereich der Facies articularis tali posterior. Sektor III konnte ausreichend beurteilt werden.

Zwischen Computertomographie und Siremobil Iso-C 3D ergaben sich für die Beurteilungsqualität bezüglich Dehiszenz der Frakturspalten und Repositionsqualität keine signifikanten Unterschiede, in 6 Fällen wurden Repositionen, in 12 Fällen Schraubenlagen korrigiert. Somit kommen die Autoren zum Schluss, dass der Einsatz des Siremobils Iso-C 3D dem im Umgang mit dem Iso-C 3D visuell erfahrenen Operateur wichtige Rückschlüsse für intraoperative Entscheidungen ermöglichen kann (Rübberdt et al., 2006).

Richter et al. stellten 62 operativ versorgte Fälle (50 Frakturen: 11 Pilon tibiale; 7 Weber C; 1 isoliertes Volkmann-Dreieck; 3 Talus; 20 Calcaneus; 1 Naviculare; 1 Cuboid; 6 Lisfranc-Dislokationen; 12 posttraumatische Subtalgelenksarthrosen) aus der Fuß- und Sprunggelenkschirurgie vor, an denen der intraoperative Einsatz und die klinische Wertigkeit des Siremobils Iso-C 3D dokumentiert wurde.

Hierbei führten acht unabhängige Operateure unterschiedlicher Ausbildungsstände unter Einsatz herkömmlich eingesetzter C-Bogen teils geschlossene, teils offene Repositionen und osteosynthetische Versorgungen sowie gegebenenfalls intraoperative Korrekturen durch.

Bei exaktem Repositionsergebnis und korrekt liegendem Osteosynthesematerial unter 2 D –Durchleuchtung erfolgte im Anschluss ein 3D-Scan mit dem Siremobil Iso-C 3D.

So verlängerten sich die Eingriffe um durchschnittlich 440 Sekunden (120 sec. Scan; 210 sec. Beurteilung und Entscheidungsfindung durch den Operateur), nach Beurteilung der Repositionsergebnisse und der Implantatlagen resultierten intraoperative Revisionen zur Korrektur von Implantatlage und/oder Reposition in 39% (24 von 62).

Unter Verwendung einer visuellen Analogskala von 1 – 10 wurde der Einsatz des Siremobils Iso-C 3D bezüglich Durchführbarkeit (9,2), Genauigkeit (9,5) sowie die klinische Wertigkeit (8,2) im Durchschnitt benotet.

Vor allem bei geschlossenen Repositionen und Osteosynthesen sehen Richter et al. das wichtigste Einsatzgebiet im Bereich der Fuß- und Sprunggelenkschirurgie, postoperative Computertomographien können unter Verwendung des Siremobils Iso-C 3 D vermieden werden.

Die Autoren kündigen zudem eine Studie an, die die Outcomes von Patienten mit intraoperativ konventionellen radiologischen Kontrollen gegenüber Outcomes von Operationen unter Einsatz des Iso-C darstellt (Richter et al., 2005).

Auch bei Metallimplantationen an der distalen oberen Extremität erscheint der Einsatz des Siremobils Iso-C 3 D eine adäquate Alternative zur Computertomographie, unabhängig von Stellungsvarianten des Iso-C 3D zum Objekt.

Anhand von Distanzmessungen zwischen implantierten Titanpins und Bohrkanälen am Leichenpräparat empfehlen Meier et al. die intraoperative Verwendung des Siremobils zur optimierten Beurteilung orthopädischer und traumatologischer Fragestellungen bezüglich Materialfehlage (Meier et al., 2005).

Allerdings sehen Wirth et al. keinen wesentlichen Unterschied zwischen Fluoroskopie, Radiographie und C-Bogen-CT des Siremobils Iso-C 3D bei distalen Radiusfrakturen (Typ C) an vier humanen Unterarmpräparaten in konventioneller Präparatlagerung (Wirth et al., 2007).

6.4 Rumpfnaher Gelenke:

Analog stellen König et al. 2005 eine Studie vor, in der 16-Zeilen-computertomographische Bildgebungen mit Schichtaufnahmen des Siremobilis Iso-C 3D von acht humanen Beckenpräparaten mit Body Mass Indexes (BMI) zwischen 20,2 und 42,94 verglichen werden. Drei unfallchirurgische und drei radiologische Befundende beurteilten subjektive Bildqualität ebenso wie die Darstellungsqualität der kortikalen und trabekulären Strukturen sowie die Abgrenzbarkeit der Weichteile der vier traumatologisch relevantesten Beckenregionen (Azetabulum, Oberschenkelhals, vorderer Beckenring und Iliosakralgelenk). Darüber hinaus sollten Aussagen über Artefakteinfluss nach sakroiliakaler Verschraubung getroffen werden.

Nach Implantation einer artefaktbildenden SI-Schraube zeigten sich signifikante Unterschiede in der subjektiven Qualität der dargestellten Strukturabbildungen, ohne Metallartefakt konnte kein entscheidender Qualitätsverlust festgestellt werden.

Im Bereich des vorderen Beckenrings ist in beiden Darstellungstechniken die Beurteilungsqualität höher als im iliosakralen Bereich, insgesamt konnten die im Umgang mit dem Siremobil Iso-C 3D vertrauten Unfallchirurgen bessere Beurteilungsnoten vergeben. Bezugnehmend auf die diagnostische Aussagekraft anhand eines fünfgliedrigen Scores, der beim Einsatz des Siremobilis Iso-C 3 D erstmalig von Euler et al. verwendet wurde, zeigt sich insgesamt eine vom BMI unabhängige verminderte Beurteilungsqualität gegenüber der computertomographischen Darstellung.

Aufgrund der in Orthopädie und Traumatologie im Vordergrund stehenden Beurteilbarkeit knöcherner Strukturen und deren Bewertung im Bereich des

Beckens lassen sich jedoch „intra- und postoperative Kontrollen des Siremobils Iso-C 3D bei bekannter Diagnose durchführen“ (König et al., 2005).

Darauf aufbauend konnte in einer Studie mit 10 Patienten mit Azetabulum- und 20 Patienten mit Beckenringfrakturen, die alle einer operativen Versorgung zugeführt wurden, die Einführung des Siremobils Iso-C 3D in die Beckenchirurgie validiert werden. Nach fünfmaliger postoperativer und 25-facher intraoperativer Erstellung eines dreidimensionalen Datensatzes durch jeweils 100 Durchleuchtungssequenzen des Iso-C 3D beurteilten die Operateure die Beurteilungs- und Bildqualität bezüglich Reposition und Implantatlage vor allem im Hinblick auf interventionelle Relevanz.

Obwohl die Bildqualität gegenüber computertomographischer Darstellungen vermindert ist, konnten oben genannte Parameter gut beurteilt werden.

Die intraoperative Repositionskontrolle ermöglicht somit größenverminderte Zugangswege, aus der Diagnose von Implantatfehlagen, unzureichenden Repositionen oder intraartikulär verbliebener Frakturfragmente resultieren Korrekturen noch im selben Eingriff.

Aus diesem Grund können postoperative Strahlenexpositionen durch computertomographische Kontrollen ebenso wie postoperative Komplikationen und Revisionseingriffe reduziert werden (Stöckle et al., 2005).

In einem Fallbericht einer geringfügig dislozierten Acetabulumfraktur mit deutlicher Gelenkstufe konnte durch die Durchführung eines 3D-Scans des Siremobils Iso-C 3D eine perkutan durchgeführte Reposition und passagere Kirschnerdrahtfixierung als anatomisch rekonstruiert dargestellt und anschließend perkutan mittels Schraubenosteosynthese fixiert werden. Weitere bildgebende

Diagnostik (CT) bzw. Erweiterung des Zugangsweges konnten dadurch umgangen werden (König et al., 2006).

6.5 Wirbelsäule:

Auch in der Wirbelsäulen Chirurgie haben sich seit Beginn des letzten Jahrzehntes computerunterstützte Operationsverfahren durchgesetzt. Die Akkuranz von Implantatlagen konnte zunächst gegenüber konventionellen Methoden gleichwertig, dann überlegen dargestellt werden (Laine et al., 1997; Laine et al., 2000; Schlenzka et al., 2000).

Innerhalb zweier In-Vitro-Studien konnte für den Einsatz des Siremobil Iso-C 3D an Brust- und Lendenwirbelsäule sowie im iliosakralen Bereich Bildqualität, Strahlenexposition und Navigationsgenauigkeit überprüft werden. Wang et al. untersuchten an 6 humanen Wirbelsäulenpräparaten von Th 1 bis S 1 mit 216 implantierten, davon 74 absichtlich fehlplatzierten Pedikelschrauben Erkennungsspezifität und –sensitivität von Computertomographie und multiplanaren Rekonstruktionen durch das Siremobil Iso-C 3D, objektiviert durch Inspektion der Präparate.

Die Pedikelverletzungen wurden hier in vier Grade (0-3) unterteilt, sowohl durch 3D-Scans des Iso-C 3D als auch durch die computertomographischen Darstellungen konnten alle Implantataustritte Grad 3, sowie thorakal Grad 2 erkannt werden.

Für den Einsatz des Siremobil Iso-C 3D ergab sich insgesamt eine höhere Sensitivität bei geringerer Spezifität zur Erkennung von Implantatfehlagen an Pedikeln, was vor allem im thorakalen Bereich die Sicherheit navigierter transpedikulärer Instrumentationen erhöhen soll (Wang et al., 2004).

Briem et al. dokumentierten bei 80 Sakroiliakalverschraubungen an 20 Humanpräparaten, welche bei äquivalenter Verteilung mittels Iso-C 3D-Navigation, Computertomographienavigation, Fluoroskopienavigation sowie konventioneller Durchleuchtung durchgeführt wurden, neben Durchleuchtungszeit und Strahlenexposition, sowie Bild- und Beurteilungsqualität auch Navigationspräzision.

Die Evaluation der Implantatlage erfolgte durch von zwei Radiologen beurteilten Dünnschichtcomputertomographien und 3D-Scans des Siremobils Iso-C 3D.

Postoperativ konnten keine Materialfehllagen bei den CT-basierten bzw. Iso-C 3D – gestützten Navigationen aufgedeckt werden, sowohl bei fluoroskopiegestützter Navigation als auch bei konventionellem Durchleuchtungseinsatz wurden jeweils vier der zwanzig Schraubenfehllagen belegt.

Gegenüber den Standardverfahren konnte zudem unter Einsatz des Iso-C 3D eine Reduktion der Durchleuchtungszeit bei überlegener Implantationspräzision nachgewiesen werden, die Operationszeit verlängerte sich nur in Relation zu nicht navigierten, verkürzte sich jedoch im Vergleich zu anderen Navigationsmethoden.

Wie bereits in vorangegangenen beschriebenen Studien erscheint die Bildqualität auch bei Verschraubungen im SI-Bereich vor allem bei voluminöseren Humanpräparaten mit daraus folgendem vergrößerten Querschnitt und Implantation von Referenzschrauben der Computertomographie unterlegen, zur sicheren Durchführung von Navigation und Beurteilung der Implantatlage reicht die erlangte Qualität jedoch primär aus (Briem et al., 2006).

Arand et al. dokumentieren zu Beginn des klinischen Einsatzes des Siremobils Iso-C 3D bei navigierten dorsalen Instrumentationen an Brust- und Lendenwirbelsäule Fehllagerungen, die denen konventioneller unter Einsatz Technik vergleichbar sind.

Die Operationszeit erhöht sich hierbei pro Wirbelkörper um 8,4 Minuten. Allerdings wird bei zunehmender Erfahrung mit dem Einsatz des Siremobils Iso-C 3D davon ausgegangen, dass sich die Fehlplatzierungsrate zunehmend verringert (Arand et al., 2001).

Diese wurde mittels postoperativem CT kontrolliert.

Erste klinische Erfahrungen beim intraoperativen Einsatz des Siremobils Iso-C 3D bei anterioren und posterioren Instrumentationen, minimal-invasiven und perkutanen Eingriffen an der gesamten Wirbelsäule sowie an der Schädelbasis relativieren zudem die Notwendigkeit postoperativer Bildgebung aufgrund des bereits im Operationssaal gewonnenen multiplanaren Datensatzes (Hott et al., 2004).

Bei mit dem Siremobil Iso-C 3 D navigierten dorsalen Instrumentationen an der gesamten Wirbelsäule bei Frakturen mit im Vordergrund stehenden Pedikelschraubenimplantationen im Vergleich zu CT-Navigationen, 2D-C-Bogen-Navigationen sowie konventionellen Operationen mit Lagekontrollen mittels Durchleuchtungen ergibt sich im Mittel die geringste Durchleuchtungszeit mit nur geringer Variabilität. Gleiches gilt für Kyphoplastien und bei degenerativ bedingt erforderlichen dorsalen Korrekturinstrumentationen.

Abhängig von der Beurteilungsqualität der Bildgebungstechnik nimmt diese Zeit in Reihenfolge (CT, C-Bogen, konventionell) zu.

Dabei bietet bei maximal bisegmentalen Fusionen ein 3D-Scan die geforderte Bildmenge, bei mehrsegmentalen Spondylodesen bedarf es eines additiven Scans. Zudem entspricht die dokumentierte durchschnittliche Operationszeit unter Iso-C 3D - Navigation der durchschnittlichen Dauer aller Operationen unter Einsatz der verglichenen intraoperativen Bildgebungen, allerdings verringert sich beim

Gebrauch des Iso-C 3D die Variabilität der Eingriffszeit, so dass die Operationsplanung optimiert wird.

Fehllagenquoten von bis zu 40% bei konventionell durchgeführten und bis zu 11% bei computerassistierten dorsalen Instrumentationen können durch den Einsatz einer navigierten Implantation mit dem Siremobil Iso-C 3D auf 0,71% bis 1,7% reduziert werden (Wendl et al., 2003; Grützner et al., 2004).

Bei 52 Eingriffen an der cervicalen Wirbelsäule mit Neuronavigation oder mit im Anschluss an die Eingriffe durchgeführten 3D-Scans durch das Siremobil Iso-C 3D konnte darüber hinaus aufgrund der absoluten Übereinstimmung im Vergleich mit postoperativ durchgeführten Computertomographien gefolgert werden, dass die Navigation mit dem Iso-C 3D eine der CT im Hinblick auf Dauer und Präzision adäquate Alternative darstellt, die die postoperative Durchführung einer Computertomographie vermeiden kann (Hott et al., 2004).

Auch bei lumbalen Spinalkanaldekompensationen lassen erste Erkenntnisse mit dem Siremobil Iso-C 3D auf eine hohe klinische Wertigkeit schließen, intra- oder postoperative Myelographien bzw. alternative postoperative Bildgebungen (MRT, CT) können umgangen, intraoperative Entscheidungen bezüglich der Operationstaktik können getroffen werden (Mauer, Kunz, 2006).

Der intraoperative Einsatz des Iso-C 3D im Hinblick auf postoperative Komplikationen bei Dekompensationen ohne postoperative Durchleuchtung ist jedoch abzuwägen.

6.6 Strahlendosis:

Im Vergleich zu Operationen an der Wirbelsäule mit CT-basierten und zweidimensionalen C-Bogen-Navigationen sowie konventionell durchgeführten Eingriffen durch erfahrene Operateure lässt sich eine Strahlendosisreduktion beim Gebrauch des Siremobils Iso-C 3D nachweisen. Ähnliches gilt für die untere Extremität. Unterstützt konnten diese Erfahrungen durch Labormessungen am Phantom werden.

Hierbei gilt zu betonen, dass generell durch navigierte Verfahren neben Nutz- auch Streustrahlung gegenüber konventionell durchgeführten Operationen vermindert wird, vor allem durch Anwendung des Siremobils Iso-C 3D (Gebhard et al., 2003).

6.7 Lagerungen:

Der Großteil der vorliegenden Studien geht nur eingeschränkt auf Lagerungsoptionen ein. Allerdings betonen einige Autoren bezüglich Hygieneanforderung, Darstellbarkeit durchleuchteter Strukturen in Relation zu Tischmodifikation und Lagerungsoptionen den Bedarf an Verbesserung (Stöckle et al., 2006).

Neben der intraoperativen Bildbearbeitung und der artefakterzeugenden temporären Fixation und/oder Markierung mit metallhaltigen Referenzbasen tragen Lagerungsmittel und Patientenlagerung entschieden zur Qualitätssicherung beim intraoperativen Einsatz des Siremobils Iso-C 3D bei (Rübberdt et al., 2006).

Bei navigierten Operationen muss die Referenzbasis bei der eventuell zusätzlichen Abdeckung während des 3D-Scans für die Kamera sichtbar bleiben. Demzufolge ist für computer-assistierte Eingriffe mit dem Siremobil Iso-C 3D z.B. eine sterile Klarsichtfolie zu empfehlen (Stöckle et al., 2006).

Generell ist für die Durchführung eines verwertbaren 3D-Scans aller anatomischen Regionen eine röntgendurchlässige Lagerungshilfe notwendig. Diese sollte keine Artefakte in den errechneten multiplanaren Rekonstruktionen erzeugen. Vollständig carbonhaltige Tische oder Standard-Operationstische mit metallfreiem Lagerungszubehör ermöglichen die Artefaktreduktion (Euler et al., 2003).

Im Bereich der distalen oberen Extremität kann solch eine Lagerungshilfe eine metallfreie oder vollständig carbonhaltige Platte sein, auf der der zu durchleuchtende Arm so ausgelagert werden soll, dass einerseits Lagerungsschäden vermieden werden, andererseits werden kollisionsfreie Orbitalbewegungen ermöglicht.

Eine praktikable Positionierung ist die parallele Stellung der C-Bogen-Längsachse zur Tischlängsachse. Vergleichbare Positionierungen wurden bereits 2005 beschrieben (Meier et al., 2005).

Die in den unfallchirurgischen Operationsräumen verwandte Lagerungshilfe besteht aus einer am Tisch befestigten Carbonplatte, die ebenfalls in Schockräumen eingesetzt wird. Abgestützt wird diese Platte durch einen handelsüblichen Ständer am Ende der Platte.

Analog ist die Darstellbarkeit der distalen unteren Extremität im Wesentlichen durch eine durchleuchtungsfähige Unterlage gekennzeichnet. Bis ca. zum mittleren Femurdrittel erlauben der Umfang beider Beine sowie die Breite der Carbonplatte

eine vollständige und kollisionsfreie Orbitalbewegung. Vor der Durchführung eines 3D-Scans muss entschieden werden, ob das nicht zu durchleuchtende Bein im Strahlengang gelagert bleiben kann und somit die Bildqualität durch Überlagerungen beeinflusst. Aufgrund der vollständigen 190°-Rotation erscheint die Bildqualität zur Beurteilung ausreichend.

Andernfalls ist eine Auslagerung so durchzuführen, dass Lagerungsschäden vermieden werden können. Dies kann im Bereich der Unterschenkel ein Abwinkeln des Knies bedeuten, in proximaleren Regionen kann die modifizierte Lauensteinlagerung eine vollständige Rotation lediglich einer unteren Extremität ermöglichen.

Allerdings ist hierfür in den meisten Fällen eine geteilte Platte vonnöten. Diese sind jedoch meist metallunterstützt, was einen Einsatz des Siremobils Iso-C 3D unmöglich macht. Darüber hinaus muss die Anschaffung einer weiteren, vollständig durchleuchtungsfähigen, teilbaren Lagerungshilfe gegenüber ihrem Nutzen gut abgewägt werden.

Bis auf diese Modifikation kann vor allem bei Orbitalbewegungen um beide Beine die Lagerung abhängig vom Zugangsweg und zur Vermeidung von Lagerungsschäden gewählt werden.

Bei 3D-Scans an den distalen Extremitäten wird das Operationsgebiet entweder durch ein OP-Tuch abgedeckt, das gegebenenfalls unter dem Tisch unsteril zusammengeklebt wird oder eine tütenförmige Abdeckung von distal nach proximal über die Lagerungshilfe gezogen. Nach dem durchgeführten Scan werden diese Abdeckungsergänzungen mittig durchschnitten und bodenwärts fallen gelassen. Die sterile Abdeckung des Siremobils kann gewechselt werden, wenn ein

erneuter Scan oder der Gebrauch zweidimensionaler Durchleuchtung vonnöten ist (Stöckle et al., 2006).

Alternativ wird lediglich ein Abdecktuch präoperativ unter den Operationstisch geklebt, das bei Durchführung nur eines Scans bis zum Ende der Operation belassen werden kann.

Optional wird an den Rand des Operationstisches ein großes Abdecktuch fixiert, hinter dem das Siremobil Iso-C 3D bei Orbitalbewegungen über dem Operationsgebiet abgedeckt ist. Dies erfordert jedoch die Mobilität der freien Tuchenden, die der Orbitalbewegung folgen.

Eine weitere Möglichkeit stellt die zusätzliche Abdeckung des Teils des Siremobils Iso-C 3D dar, der sich unter dem Tisch befindet. Diese sollte vor der Rotation des unteren Teils des C-Bogens über den Tisch erfolgen.

Diese Methoden können neben dem Einsatz an der distalen unteren Extremität auch bei Eingriffen an Wirbelsäule und Becken eingesetzt werden.

6.7.1 Wirbelsäule:

Die Darstellbarkeit an der Wirbelsäule unter Einsatz des Siremobils Iso-C 3D ist insbesondere bei Pedikelschraubenimplantationen von großer Bedeutung (Wendl et al., 2003; Grützner et al., 2004). Aber auch bei ventralen Instrumentationen an Hals-, Brust- oder Lendenwirbelsäule kann ein Informationsgewinn bezüglich Implantatlage erreicht werden (Hott et al., 2004).

Sowohl in Rückenlage und Seitlage als auch in Bauchlage ist unter Verwendung der beschriebenen Carbonplatte bei orthograder Stellung des Siremobils Iso-C 3D zum Operationstisch eine vollständige Orbitalbewegung ermöglicht. Dabei ist auf eine möglichst mittige Lagerung der zu beurteilenden Region auf dem Operationstisch zu achten.

Bei Eingriffen an der unteren lumbalen Wirbelsäule in Mekkagerung sind Orbitalbewegungen aus Platzgründen nicht möglich. Zudem können aus den im Strahlengang positionierten Beinen Überlagerungen und aus den überwiegend metallgestützten Lagerungshilfen Artefakte resultieren.

Bei Eingriffen insbesondere an der lumbalen Wirbelsäule muss die Patientenlagerung zur Vermeidung von Metallartefakten derart modifiziert werden, dass der durchleuchtete Kubus nicht auf Höhe der Tischarmature positioniert wird. Gegebenfalls ist bei großen Patienten die zusätzliche Befestigung eines Tisches im Kopfbereich notwendig.

Auf metallhaltige Fixierungshilfen muss beim Gebrauch des Siremobils im Strahlengang verzichtet werden.

Ähnliches gilt zudem auch für Beckeneingriffe. Abhängig vom Zugangsweg sind Bauch-, Seiten- und Rückenlage denkbar. Bei röntgendurchlässigen Lagerungshilfen im Strahlengang akquiriert der Operateur mit dem Iso-C 3D beurteilbare Datensätze, deren Bildqualität jedoch aufgrund der Überlagerungen der knöchernen Strukturen im Strahlengang insbesondere der kontralateralen Seite eingeschränkt ist (König et al., 2005; Stöckle et al., 2005; Briem et al., 2006).

Beim Einsatz des Siremobils Iso-C 3D bei Eingriffen am proximalen Femur und am Hüftgelenk wird auf Rückenlage oder Lauensteinlagerung zurückgegriffen.

In Rückenlage sind Lagerungsschäden selten.

Bei orthograder Stellung des C-Bogens zum Operationstisch resultieren jedoch Überlagerungsartefakte der kontralateralen Seite.

Alternativ kann in Lauensteinlagerung isoliert ein proximaler Femur dargestellt werden. Dazu kann das Siremobil vom ausgelagerten, kontralateralen Bein aus mit einer Stellung von ca. 45° zur Tischlängsachse über die interessierende Struktur eingefahren werden.

Allerdings ist der präoperative Lagerungsaufwand erheblich größer, zusätzliche Stützen müssen angebracht werden, eine Verlängerung am Fußende kann vonnöten sein, Polsterungen am ausgelagerten Bein dürfen nicht vergessen werden.

Durch die lange unphysiologische Haltung der nicht zu operierenden Extremität erhöht sich das Risiko von Lagerungsschäden vor allem in Form von Druckschäden der Nerven im Kniebereich, aber auch schmerzhafte Muskelschäden sowie Drucknekrosen der Haut.

Um den räumlichen Vorteil nutzen zu können, wird als Auflage für das kranke Bein eine schmale Lagerungshilfe benötigt. Diese sind aber meist metallgeführt, um die nötige Stabilität bei gleichzeitiger Mobilität zu gewährleisten.

Dieser Umstand bedeutet wiederum eine negative Beeinflussung der Bildqualität. Daher sollte der Operationstisch eine einseitige Fußauflage haben, die aus einem durchleuchtungsfähigen Material besteht, das keine Artefakte verursachen kann.

Die Beurteilbarkeit des errechneten multiplanaren Datensatzes ist ebenfalls an einen metallfreien Durchleuchtungsraum gebunden. Deshalb ist bei beiden Lagerungsoptionen darauf zu achten, dass der Patient soweit fußwärts oder kopfwärts positioniert wird, dass die Tischscharniere nicht im Strahlengang zu

liegen kommen. Gegebenenfalls muss auf Tischverlängerungen zurückgegriffen werden.

Die Abdeckungstechniken am Patienten unterscheiden sich nur wenig zu Eingriffen am proximalen Femur in Rücken- oder Lauensteinlagerung zu konventionellen zweidimensionalen Durchleuchtungen. Die bei herkömmlichen Methoden seitlich herabhängenden Abdecktücher müssen unter dem Tisch abgeklebt werden, um eine kollisionsfreie Orbitalbewegung bei sicherer Sterilität zu gewährleisten.

Analog zu bereits erwähnten Abdeckungen des Siremobils Iso-C 3D kann zusätzlich zur Abdeckung des C-Bogens ein großes Abdecktuch so über den Arm gelegt werden, dass das OP-Gebiet während der Rotation abgeschirmt ist.

Deckt ein zusätzliches Einmaltuch das OP-Gebiet weiträumig ab und wird eng um den proximalen Femur gewickelt und fixiert, kann dieses nach Abschluss der Orbitalbewegung mittig durchschnitten und zu Boden fallen gelassen werden.

6.7.2 Proximale obere Extremität und Schulter:

In der Literatur lassen sich bezüglich Bild- und Beurteilungsqualität des Siremobils Iso-C 3 D sowie vergleichende Untersuchungen zu anderen bildgebenden Verfahren oder klinische bzw. in vitro-Erfahrungen bei navigierten Operationen im Bereich der Schulter nur wenige Daten finden.

Lediglich Rock et al. beschreiben eine nicht verwertbare Bildqualität (Score: 1) bei einem von Euler et al. erstmalig beschriebenen Score (1-4; 1 = nicht verwertbar, 4 sehr gute Qualität) im Schulterbereich (Rock et al., 2002).

Aufgrund des anatomisch weit lateral gelegenen Isozentrums ist bei konventionellen Lagerungen in Rücken-, Seit- oder Lawn-Chair-Lagerung unter Anwendung einer herkömmlichen Rückenplatte keine vollständige Orbitalbewegung des Siremobils Iso-C 3D durchführbar.

Das eingeschränkte Bewegungsausmaß erlaubt keine Rekonstruktion. Lagerungsmodifikationen provozieren Lagerungsschäden und maximalen Stabilitätsverlust, so dass zur Umsetzbarkeit eines Scans eine modifizierte Schulterplatte eingesetzt wurde. Diese, nach kranial verjüngte Platte mit der Option, die kontralaterale Schulter zu polstern, besteht aus durchleuchtungsfähigem Material und ermöglicht drei nicht vollständige Orbitalbewegungen, aus denen sich ein dreidimensionaler Datensatz errechnen lässt.

Die erste Option positioniert die Basis des Siremobils Iso-C 3D kranial auf der gesunden Seite des in Lawn-Chair gelagerten Patienten. Die Orbitalbewegung erfolgt diagonal zur Patientenlängsachse.

Eine exakte Vorbereitung ist notwendig, bei Stellungsänderungen des Siremobils zum Tisch ermöglicht Kollisionen sowie eine eingeschränkte Orbitalbewegung innerhalb der maximal gewonnen Rotation von 40° bis 190°.

Der Gebrauch einer speziellen Schulterplatte, bei der ab Beckenhöhe fast nur die Wirbelsäule und der ausgelagerte Arm aufliegen, ist ebenso notwendig wie die exakte Lagerung des Patienten. Die Lawn-Chair-Position schließt eine Hüftflexion von 40 Grad ein, der C-Bogen steht in einem Winkel von 50 Grad zum Tisch. Der Arm ist vergleichbar zu bisher durchgeführten Operationsmethoden ausgelagert.

Durch den präoperativen Aufbau können im Kopfbereich Platzprobleme resultieren. Deswegen stellt sich eine alternative Anästhesieführung von der gesunden Seite aus dar.

Durch diese Planung kann der Operateur von der zu operierenden Seite aus handeln, eine Durchleuchtung oder ein computerassistiertes Verfahren kann ohne Umbau erfolgen.

Diese Methode, die Schulter zu durchleuchten, ist trotz akribischer Vorbereitung nicht bei jedem Patienten möglich.

Vor allem bei großvolumigen Patienten oder großen Köpfen kommt es zu Kollisionen mit dem Siremobil Iso-C 3D. Diese wären nur durch Patientenlagerungen zu beheben, die vor allem zu Plexus- oder HWS- Schäden führen können.

Die zweite Alternative zu oben beschriebener lässt ebenfalls bei diagonaler Stellung des Siremobil Iso-C 3D zum in Rückenlage positionierten Patienten eine Orbitalbewegung von maximal 150° zu.

Vor allen Dingen die Reduktion von lagerungsbedingten Schäden stellt einen Vorteil dieser Option dar. Allerdings ist auch hier eine Positionsänderung von Anästhesiegerätschaften und –personal im Vergleich zu Schultereingriffen mit konventionellen C-Bogen notwendig. So kann bei der durch die Orbitalbewegung des C-Bogens geforderte Seitneigung des Kopfes zur gesunden Seite hin von dieser Seite die Narkose gesteuert werden.

Auch eine orthograde Stellung des Siremobils Iso-C 3D auf der zu operierenden Seite des auf dem Rücken gelagerten Patienten erlaubt eine Orbitalbewegung von 125 bis 135° .

Dies gewährleistet eine technisch noch mögliche multiplanare Rekonstruktion, deren Bildqualität und damit –beurteilbarkeit zusätzlich vermindert ist.

Die Narkose kann von kranial eingeleitet und überwacht werden.

Die sterile Abdeckung während des 3D-Scans sollte das OP-Gebiet abschirmen, unterhalb des Tisches wäre eine Fixation denkbar, so dass eine kollisionsfreie Orbitalbewegung gewährleistet ist.

Wird die Endposition bei einer Orbitalbewegung um eine Region nicht erreicht, ist beim Festlegen der möglichen Endposition darauf zu achten, dass die Startposition nicht in 95° fixiert ist. Aufgrund der technischen Voraussetzungen könnte die Endposition nicht mehr variiert werden, eine multiplanare Rekonstruktion kann wegen der mangelnden Durchführbarkeit des Scans nicht berechnet werden.

Zusammenfassend ist unter Berücksichtigung der schlechten Bildqualität und des Gebrauchs herkömmlicher durchleuchtungsfähiger Tische ein intraoperativer Einsatz des Siremobils Iso-C 3D zur Darstellung der Schulterregion derzeit noch nicht durchführbar. Lagerungsmodifikationen, die Orbitalbewegungen zumindest soweit erlauben, dass beurteilbare Rekonstruktionen errechnet werden können, gehen mit hohem Risiko für Lagerungsschäden einher.

Die entwickelte Lagerungshilfe ist derzeit noch nicht im Operationssaal eingesetzt.

7. Zusammenfassung

Unter Einsatz herkömmlicher intraoperativer bildgebender Verfahren besteht die Möglichkeit, unabdingbare Repositions- und Implantatlagekontrollen durchzuführen. In Unfallchirurgie und Orthopädie ist dies insbesondere bei Frakturen im Schaft- und Gelenkbereich, Achsenkorrekturen und Implantationen von Endoprothesen erforderlich.

Trotz Lagekontrollen unter Verwendung zweidimensionaler Systeme resultiert vor allem bei multidirektionalen Gelenkflächen wie z.B. den Talus- oder Calcaneusgelenkflächen, sowie Überlagerungsartefakten wie am Becken oder der Schulter, und kleiner Anatomie wie Pedikel bei dorsalen Instrumentationen Verbesserungsbedarf der Beurteilungsqualität. So sind unter anderem postoperative Fehllagen von Pedikelschrauben von bis zu 40 % beschrieben (Wendl et al., 2003; Kahler, 2004; Weinstein et al., 1988).

Auch in der Computer-assistierten orthopädischen und traumatologischen Chirurgie müssen bisher verwandte bildgebende Systeme ständigen Qualitätskontrolle unterzogen werden. Aufgrund der benötigten Durchleuchtungsfähigkeit haben sich hier Computertomographie-unterstützte Navigationen sowie navigierte Verfahren mit 2D-Fluoroskopie durchgesetzt, aufgrund derer verbesserte Präzision sowie reduzierte Strahlenbelastung resultieren (Gebhard et al., 2000; Hüfner et al., 2004). Bei Computertomographie gesteuerter Navigation kann anhand präoperativ angefertigter Computertomographien die computerunterstützte Operationsplanung und -durchführung erfolgen. Allerdings sind intraoperative Aktualisierungen bei Lageveränderungen von Frakturfragmenten nicht durchführbar, freie Fragmente können im Operationsfeld nicht verfolgt werden (Wendl et al., 2003; Berlemann et al., 1997; Gebhard et al., 2000; Grützner et al., 2001; Nolte et al., 1995).

Die 2D-Fluoroskopie hingegen ermöglicht gegenüber der Computertomographie keine so exakte Darstellbarkeit, was zwar im Vergleich zu konventionell eingesetzten Fluoroskopien Akkuranzverbesserungen von Repositionen und Materialimplantationen zulässt, die axiale Darstellbarkeit jedoch erschwert (Grützner et al.; 2004).

Mit dem Siremobil Iso-C 3D wurde ein mobiler Bildverstärker entwickelt, dem es aufgrund einer motorbetriebenen Orbitalbewegung und dabei 50 – 100 äquidistanten acquirierten Durchleuchtungen über eine angeschlossene Computereinheit möglich ist, multiplanare Datensätze zu errechnen.

Aufgrund von frei zu bestimmenden Schnittebenen können Repositionsergebnisse und Implantatlagen am Monitor verfolgt und beurteilt werden. Dabei ist die Bildqualität an kleinen Gelenken und bei der Beurteilung von Frakturen gegenüber der Computertomographie herabgesetzt, die Beurteilungsqualität jedoch gleichwertig (Euler et al., 2001; Kotsianos et al., 2001; Kotsianos et al., 2002; Rock et al., 2001).

Lediglich im Bereich der Schulter lässt sich keine verwertbare Bild- und Beurteilungsqualität erreichen (Rock et al., 2001).

Aufgrund der Durchleuchtung während der Orbitalbewegung ergeben sich für die Bildbeurteilungsqualität und akzeptable Durchführung eines 3D – Scans Anforderungen an Lagerungen, Operationstischmodalitäten und Lagerungshilfen, die beim Einsatz von konventionellen C-Bogen im Hintergrund stehen.

Ziel dieser experimentellen Arbeit war es, diese Anforderungen im Hinblick auf Lagerungsschäden, Hygieneanforderungen und Positionskombination von Patient,

Operationstisch und Siremobil Iso-C 3D in der orthopädischen und traumatologischen Chirurgie umzusetzen.

Mit Hilfe von Humanpräparat und Ausstellungspuppe konnten verschiedene in Orthopädie und Unfallchirurgie eingesetzte Lagerungsmodifikationen dargestellt und bezüglich der Durchführung einer Orbitalbewegung des Siremobils Iso-C 3D überprüft werden.

Operationstisch:

Hierbei ergeben sich für die verschiedenen anatomischen Regionen folgende Ergebnisse:

Generell sollten in der darzustellenden Region sowie im benötigten Raum zur Durchleuchtung während der Orbitalbewegung keine artefaktbildenden Elemente vorhanden sein. Dies bedeutet, dass insbesondere Operationstisch und Lagerungshilfen keine Metallbestandteile aufweisen sollten. Im Bereich der distalen Extremitäten können hierfür durchleuchtungsfähige Auslagerungshilfen, z.B. aus Carbon, unterschiedlicher Breite angewandt werden. Im Rumpf- und Beckenbereich erfolgt die Lagerung auf einer Carbonplatte. Dies erfordert jedoch gegebenenfalls Lagerungsmodifikationen mit Positionierung des Patienten mit einem zusätzlichen, kaudal oder kranial angebrachten Beistelltisch. Die zu durchleuchtende Struktur sollte während des 3D-Scans nicht auf Höhe der Tischscharniere gelagert sein.

Hygieneanforderung

Um den Hygieneanforderungen zu entsprechen und Sterilität zu gewährleisten, ist auf sterile Abdeckung insbesondere der Bestandteile des Siremobils Iso-C 3D zu achten, die der Orbitalbewegung unterhalb des Tisches folgen (Heudorf, 2003).

Neben der konventionellen, durchsichtigen ein- bis zweiteiligen C-Bogen-Abdeckung sind die Operationstücher zusätzlich während des 3D-Scans abzudecken.

Die herkömmliche Methode, die Operationstücher am Tischrand zu Boden hängen zu lassen, ist aus Sterilitätsgründen wegen der Orbitalbewegung nicht möglich.

An der oberen Extremität und, abhängig von Körpergröße und –fülle, auch an der unteren Extremität sind hierfür sterile Säcke einsetzbar, die von distal über das jeweilige Operationsgebiet gezogen werden können.

Alternativ können, auch bei adipösen und/oder großen Patienten, wie auch an Rumpf, Becken und Wirbelsäule, große Abdecktücher verwendet werden. Diese werden unterhalb des Tisches zusammengeklebt. Beide Abdeckoptionen können nach dem Scan mittig durchschnitten und zu Boden gefallen lassen werden.

Aufkleben eines großen Abdecktuches an den seitlichen Rand des Operationstisches stellt eine weitere Möglichkeit dar, das Operationsgebiet vom als unsteril zu betrachtenden Siremobil Iso-C 3D während der Orbitalbewegung abzutrennen.

Während des Schwenkens des C-Armes über den Tisch wird das Abdecktuch so vor das Siremobil Iso-C 3D – Bogen gehalten und mitbewegt, dass das Operationsgebiet immer steril abgedeckt ist.

Sollte nach einer ersten Orbitalbewegung ein weiterer intraoperativer 3D-Scan vonnöten sein, wird ein erneutes Beziehen des Siremobils Iso-C 3D mit steriler Abdeckung empfohlen.

Beim Einsatz des Siremobils Iso-C 3D bei navigierten Operationen müssen sterile durchsichtige Folien verwendet werden, um die optische Erkennbarkeit der Referenzbasen zu gewährleisten, bei konventionellen Abdecktüchern können Fehlberechnungen während der Navigation resultieren.

Anatomische Regionen

An der distalen unteren Extremität sowie der distalen oberen Extremität sind vollständige kollisionsfreie Orbitalbewegungen durchführbar. Abhängig von der Anforderung an Bild- und Beurteilungsqualität muss bei 3D-Scans an der distalen unteren Extremität gegenüber dem Risiko von Lagerungsschäden abgewogen werden, ob das nicht zu operierende Bein ausgelagert werden soll.

Abhängig vom Zugangsweg sind bei Eingriffen an der proximalen unteren Extremität alle in Orthopädie und Unfallchirurgie praktikablen Lagerungsvarianten denkbar, zur Verbesserung der Bildbeurteilungsqualität kann auf die Lauenstein-Lagerung mit schräger Position des Siremobils Iso-C 3D zurückgegriffen werden, so dass Überlagerungsartefakte reduziert werden.

Der Einsatz des Siremobils Iso-C 3D an Rumpf, Becken und Wirbelsäule erlaubt alle Lagerungsoptionen. Lediglich die Mekkalagerung bei Instrumentationen an der lumbalen Wirbelsäule verhindert, vergleichbar dem intraoperativen Einsatz

konventioneller C-Bogen, eine kollisionsfreie Orbitalbewegung. Gegebenenfalls ist bei voluminöseren Patienten auf Rahmenpolster zu verzichten.

Lediglich an der proximalen oberen Extremität ergibt sich unter Einsatz konventioneller Lagerungshilfen keine komplette Orbitalbewegung, die eine multiplanare Rekonstruktion erlaubt.

Die Konstruktion einer modifizierten, derzeit noch nicht intraoperativ eingesetzten Schulterplatte erlaubt am Test mit Humanpräparaten und Puppen zwar unvollständige Orbitalbewegungen, aus denen sich jedoch rekonstruierbare Datensätze gewinnen lassen. Allerdings erfordert dies eine exakte Positionierung des Siremobils Iso-C 3D zu Patienten- und Tischlängsachse. Darüber hinaus weisen In-Vitro-Studien nicht ausreichende Verwertbarkeit im Schulterbereich nach (Rock et al., 2001).

Somit ist der Einsatz des Siremobils Iso-C 3D an der proximalen oberen Extremität und der Schulter derzeit nicht ausführbar und muss weiter untersucht werden.

8. Quellenverzeichnis

1. Anderton, J.M., Schady, W., Markham, D.E. (1994)
An unusual cause of postoperative brachial plexus palsy.
Br J Anaesth. 1994 May;72(5):605-7.
2. Anderton JM. (1991)
The prone position for the surgical patient: a historical review of the principles and hazards.
Br J Anaesth. 1991 Oct;67(4):452-63.
3. Anderton, J.M. (1988)
Positioning the surgical patient.
1988
4. Arand, M.; Hartwig, E.; Hebold, D.; Kinzl, L.; Gebhard, F. (2001)
Präzisionsanalyse navigationsgestützt implantierter thorakaler und lumbaler Pedikelschrauben. Eine prospektive klinische Studie.
Unfallchirurg,2001, Volume 104: 1076-1081
5. Briem, D.; Linhart, W.; Lehmann, W.; Begemann, P.G.; Adam, G.; Schumacher, U.; Cullinane, D.M.; Rueger, J.M.; Windolf ,J. (2006)
Computer-assisted screw insertion into the first sacral vertebra using a three-dimensional image intensifier: results of a controlled experimental investigation.
European Spine Journal. 2006. Volume 15(6):757-63
6. Callahan, R.A.; Brown, M.D. (1981)
Positioning techniques in spinal surgery.
Clin Orthop Relat Res. 1981 Jan-Feb;(154):22-6
7. Euler, E.; Heining, S.; Riquarts, C.; Mutschler, W. (2003)

- C-arm-based three-dimensional navigation: a preliminary feasibility study.
Computer Aided Surgery 2003;8(1):35-41.
8. Euler, E.; Wirth, S.; Linsenmaier, U.; Mutschler, W.; Pfeifer, K.J.; Hebecker, A. (2001)
Vergleichende Untersuchung zur Qualität der C-Bogen-basierten 3D-Bildgebung am Talus.
Unfallchirurg 104:839-846
 9. Feyerabend E.; Junker E.; Rehbein F.; Schindler H. (1964)
Operationslagerungen - ein Leitfaden für das chirurgisch-technische Personal.
Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart (1964).
 10. Gebhard, F.; Keppler, P. (2005)
Computernavigation am Kniegelenk, was können wir erwarten?
Zentralblatt Chirurgie; 2005 Aug;130(4):321-6.
 11. Gebhard, F.; Kinzl, L.; Arand, M. (2000)
Grenzen der CT-basierten Computernavigation in der Wirbelsäulen Chirurgie.
Unfallchirurg. 2000 Aug;103(8):696-701.
 12. Gebhard, F.; Kinzl, L.; Arand, M. (2000)
Computerassistierte Chirurgie.
Unfallchirurg. 2000 Aug;103(8):612-7.
 13. Gebhard, F.; Kraus, M.; Schneider, E.; Arand, M.; Kinzl, L.; Hebecker, A.; Batz, L. (2003)
Strahlendosis im OP – ein Vergleich computerassistierter Verfahren
Unfallchirurg. 2003 Jun;106(6):492-7.
 14. Grützner, P.A.; Beutler, T.; Wendl, K.; von Recum, J.; Wentzensen, A.; Nolte, L.P. (2004)

Navigation an der Brust- und Lendenwirbelsäule mit dem 3D-Bildwandler
Chirurg. 2004 Oct;75(10):967-75.

15. Grützner, P.A.; Köhler, T.; Vock, B.; Wentzensen, A. (2001)
Rechnergestütztes Operieren an der Wirbelsäule.
OP J 17: 185-190
16. Grützner, P.A.; Vock, B.; Wentzensen, A. (2001)
C-Arm Navigation an der LWS.
Osteologie 10 (Suppl 2)
17. Heiland, M.; Schmelzle, R.; Hebecker, A.; Schulze, D. (2004)
Intraoperative 3D imaging of the facial skeleton using the SIREMOBIL Iso-C3D.
Dentomaxillofacial Radiology. 2004 Mar;33(2):130-2.
18. Heiland, M.; Schulze, D.; Adam, G.; Schmelzle, R. (2003)
3D-imaging of the facial skeleton with an isocentric mobile C-arm system (Siremobil Iso-C3D).
Dentomaxillofacial Radiology. 2003 Jan;32(1):21-5.
19. Heiland, M.; Schulze, D.; Blake, F.; Schmelzle, R. (2005)
Intraoperative imaging of zygomaticomaxillary complex fractures using a 3D C-arm system.
International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery
2005 Jun;34(4):369-75.
20. Heiland, M.; Schulze, D.; Flinzberg, S.; Thurmann, H.; Rother, U.; Schmelzle, R. (2004)
Strahlenexposition und dreidimensionale Darstellungsmöglichkeiten des SIREMOBIL Iso-C3D zur Planung chirurgischer Zahnsanierungen.
Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, 2004 Feb;8(1):35-40.

21. Heudorf ,U.; Hentschel W, Kutzke G, Pftzing H, Voigt K. (2003)
Anforderungen der Hygiene beim Operieren - Richtlinie und Realität
Ergebnisse der intensivierten Überwachung der Operationseinheiten in
Krankenhäusern in Frankfurt am Main durch das Gesundheitsamt
Gesundheitswesen. 2003 May;65(5):312-20.
22. Hott, J.S.; Deshmukh, V.R.; Klopfenstein, J.D.; Sonntag, V.K.; Dickman,
C.A.; Spetzler, R.F.; Papadopoulos, S.M. (2004)
Intraoperative Iso-C C-arm navigation in craniospinal surgery: the first 60
cases.
Neurosurgery. 2004 May;54(5):1131-7.
23. Hott, J.S.; Papadopoulos, S.M.; Theodore, N.; Dickman, C.A.; Sonntag, V.K.
(2004)
Intraoperative Iso-C C-arm navigation in cervical spinal surgery: review of
the first 52 cases.
Spine. 2004 Dec 15;29(24):2856-60.
24. Hüfner, T.; Gebhard, F.; Grützner, P.A.; Messmer, P.; Stöckle, U.; Krettek, C.
(2004)
Which navigation when?
Injury. 2004 Jun;35 Suppl 1:S-A30-4.
25. Hüfner, T.; Geerling, J.; Gansslen, A.; Kendoff, D.; Citak, C.; Grützner, P.;
Krettek, C. (2004)
Rechnergestütztes Operieren bei Beckenverletzungen
Chirurg. 2004 Oct;75(10):961-6.
26. Kahler, D.M. (2004)
Image guidance: fluoroscopic navigation.
Clin Orthop Relat Res. 2004 Apr;(421):70-6

27. Kanlic, E.M.; Delarosa, F.; Pirela-Cruz, M. (2006)
Computer assisted orthopaedic surgery -- CAOS.
Bosn J Basic Med Sci. 2006 Feb;6(1):7-13.
28. Kendoff , D.; Hüfner, T.; Citak, M.; Geerling, J.; Mossinger, E.; Bastian, L.; Krettek, C. (2005)
Navigated Iso-C3D-based percutaneous osteoid osteoma resection: a preliminary clinical report.
Computer Aided Surgery. 2005 May;10(3):157-63.
29. Kendoff, D.; Geerling, J.; Mahlke, L.; Citak, M., Kfuri, M. Jr.; Hüfner, T.; Krettek, C. (2003)
Navigierte Iso-C3D-basierte Anbohrung einer osteochondralen Läsion des Talus
Unfallchirurg. 2003 Nov;106(11):963-7.
30. König, B.; Erdmenger, U.; Schröder, R.J.; Wienas, G.; Schaefer, J.; Pech, M.; Stöckle, U. (2005)
Evaluation der Bildqualität des Iso-C 3D -Bildwandlers im Vergleich mit dem CT
Diagnostik und Therapie im Beckenbereich
Unfallchirurg. 2005 May;108(5):378-85.
31. König, B.; Schaser, K.; Schäffler, A.; Stöckle, U.; Haas, N.(2006)
Perkutane Reposition und Stabilisierung einer dislozierten Acetabulumfraktur.
Unfallchirurg. 2006 Apr;109(4):328-31
32. Kotsianos, D.; Wirth, S.; Fischer, T.; Euler, E.; Rock, C.; Linsenmaier, U.; Pfeifer, K.J.; Reiser, M. (2004)
3D imaging with an isocentric mobile C-arm comparison of image quality with spiral CT.

Eur Radiol. 2004 Sep;14(9):1590-5.

33. Kotsianos, D., Rock, C., Euler, E., et al.(2001)
3D-Bildgebung an einem mobilen chirurgischen Bildverstärker(ISO-C 3D):
Frakturdiagnostik am Kniegelenk im Vergleich mit Spiral-CT und
konventioneller Radiographie.
Fortschr. Röntgenstrahl 173 (Suppl.1): 42
34. Kotsianos, D.; Rock, C.; Euler, E.; Wirth, S.; Linsenmaier, U.; Brandl, R.;
Mutschler, W.; Pfeifer, K.J.(2001):
3D-Bildgebung an einem mobilen chirurgischen Bildverstärker (ISO-C 3D).
Erste Bildbeispiele zur Frakturdiagnostik an peripheren Gelenken im
Vergleich mit Spiral-CT und konventioneller Radiographie.
Unfallchirurg. 2001 Sep;104(9):834-8.
35. Kotsianos, D.; Rock, C.; Wirth, S.; Linsenmaier, U.; Brandl, R.; Fischer, T.;
Euler, E.; Mutschler, W.; Pfeifer, K.J.; Reiser, M. (2002)
Detection of tibial condylar fractures using 3D imaging with a mobile image
amplifier (Siemens ISO-C-3D): Comparison with plain films and spiral CT
Rofo. 2002 Jan;174(1):82-7.
36. Kotsianos, D.; Rock, C.; Wirth, S.; Linsenmaier, U.; Brandl, R.; Fischer, T.;
Euler, E.; Mutschler, W.; Pfeifer, K.J.; Reiser, M. (2002)
Frakturdiagnostik am Kniegelenk mit einem neuen mobilen CT-System (ISO-
C-3D): Vergleich mit konventionellem Röntgen und Spiral-CT
Fortschr Röntgenstrahl 2002; 174: 82-87
37. Kotsianos, D.; Wirth, S.; Fischer, T.; Euler, E.; Rock, C.; Linsenmaier, U.;
Pfeifer, K.J.; Reiser, M. (2004)
3D imaging with an isocentric mobile C-arm comparison of image quality
with spiral CT.

- European Radiology. 2004 Sep;14(9):1590-5.
38. Krettek, C. (2002):
Der Lagerungsschaden im Operationssaal.
Unfallchirurg. 2002 May;105(5):403.
 39. Laine, T.; Lund, T.; Ylikosi, M.; Lohikoski, J.; Schlenzka, D. (2000)
Accuracy of pedicle screw insertion with and without computer assistance: a
randomised controlled clinical study in 100 consecutive patients.
Eur Spine J. 2000 Jun;9(3):235-40.
 40. Laine, T.; Schlenzka, D.; Mätikalo, K.; Tallroth, K.; Nolte, L.-P.; Visarius, H.
(1997)
Improved accuracy of pedicle screw insertion with computer-assisted surgery.
Spine. 1997 Jun 1;22(11):1254-8.
 41. Linsenmaier, U.; Rock, C.; Euler, E.; Wirth, S.; Brandl, R.; Kotsianos, D.;
Mutschler, W.; Pfeifer, K.J. (2002)
Three-dimensional CT with a modified C-arm image intensifier: feasibility.
Radiology. 2002 Jul;224(1):286-92
 42. Mauer, U.M.; Kunz, U. (2006)
Intraoperative 3D-Bildgebung zur Kontrolle der selektiven Dekompression
bei lumbaler Wirbelkanalstenose
Orthopäde. 2006 Dec;35(12):1258-60.
 43. McEwen, D.R. (1996)
Intraoperative positioning of surgical patients.
AORN J. 1996 Jun;63(6):1059-63, 1066-79.
 44. Meier, R.; Kfuri, M. Jr.; Geerling, J.; Hübner, T.; Krimmer, H.; Krettek, C.
(2005)

Intraoperative 3D-Bildgebung am Handgelenk mit einem mobilen isozentrischen C-Bogen

Handchirurgie, Mikrochirurgie, Plastische Chirurgie. 2005 Aug;37(4):256-9.

45. Nolte, L.P.; Slomczykowski, M.A.; Berlemann, U. (2000)
A new approach to computer-aided spine surgery: fluoroscopy- based surgical navigation.
Eur.Spine J 9 (Suppl 1): 78-88
46. Nolte, L.P.; Zamorano, L.J.; Jiang, Z.; Wang, Q.; Langlotz, F.; Berlemann, U. (1995):
Image-guided insertion of transpedicular screws. A laboratory set-up.
Spine 20: 497-500
47. Ostrow, C.L.; Hupp, E.; Topjian, D. (1994)
The effect of Trendelenburg and modified trendelenburg positions on cardiac output, blood pressure, and oxygenation: a preliminary study.
American Journal Crit Care. 1994 Sep;3(5):382-6.
48. Richter, M.; Geerling, J.; Zech, S.; Goesling, T.; Krettek, C. (2005)
Intraoperative three-dimensional imaging with a motorized mobile C-arm (SIREMOBIL ISO-C-3D) in foot and ankle trauma care: a preliminary report.
J Orthop Trauma. 2005 Apr;19(4):259-66.
49. Ritter, D.; Mitschke, M.; Graumann, R. (2002)
Markerlose Navigation mit der intra-operativen Bildgebungsmodalität SIREMOBIL Iso-C3D.
Electromedica 70: 47-52
50. Rock, C.; Kotsianos, D.; Linsenmaier, U.; Fischer T.; Brandl R.; Vill F.; Wirth, S.; Kaltschmidt, R.; Euler, E.; Pfeifer, K. J.; Reiser, M. (2002)
Untersuchungen zur Bildqualität, Hochkontrastauflösung und Dosis am

Stamm- und Gliedmaßenskelett mit einem neuen dedizierten CT-System (ISO-C-3D)

Rofo. 2002 Feb;174(2):170-6.

51. Rock, C.; Linsenmaier, U.; Brandl, R.; Kotsianos, D.; Wirth, S.; Kaltschmid, R.; Euler, E.; Mutschler, W.; Pfeifer, K.J.(2001)
Vorstellung eines neuen mobilen C-Bogen/CT-Kombinationsgerät (ISO-C 3D). Erste Ergebnisse der 3D-Schnittbildgebung.
Unfallchirurg. 2001 Sep;104(9):827-33.
52. Rübberdt, A.; Feil, R.; Stengel, D.; Spranger, N.; Mutze, S.; Wich, M.; Ekkernkamp, A. (2006)
Die klinische Wertigkeit des ISO-C^{3D} bei der Osteosynthese des Fersenbeins
Unfallchirurg. 2006 Feb;109(2):112-8.
53. Ruedi, Th.; v. Hochstetter, A.H.C.; Schlumpf, R. (1984)
Operative Zugänge der Osteosynthese,
Springer, Berlin, Heidelberg (1984)
54. Schlenzka, D.; Laine, T.; Lund, T. (2000)
Computerunterstützte Wirbelsäulen Chirurgie
Prinzipien, Technik, Ergebnisse und Perspektiven
Orthopäde. 2000 Jul;29(7):658-69.
55. Schlenzka, D.; Laine, T.; Lund, T. (2000)
Computer-assisted spine surgery.
Eur Spine J 9 (Suppl 1): 57-64
56. Schwarzenbach, O.; Berlemann, U.; Jost, B. et al. (1997)
Accuracy of computer-assisted pedicle screw placement. An in vivo computed tomography analysis.
Spine 22: 452-458.

57. Seibert, F.J.; Schippinger, G.; Bratschitsch, G.; Friedam, H.; Szyszkowitz, R.(2000)
Karbonrahmen. Lagerungs- und Repositionshilfe bei der
Unterschenkelmarknagelung in unaufgebohrter Technik.
Unfallchirurg. 2000 Feb;103(2):132-6.
58. Sommer, R.; Leitner, A. (1999)
OP-Lagerungen in der Unfallchirurgie und Orthopädie.
Steinkopff Verlag, Darmstadt (1999)
59. Stöckle, U.; König, B.; Schäffler, A.; Zschemack, T.; Haas, N.P. (2006)
Klinische Erfahrungen mit dem Siremobil Iso-C^{3D}-Bildwandler in der
Beckenchirurgie
Unfallchirurg. 2006 Jan;109(1):30-40.
60. Suhm, N.; Jacob, A.L.; Nolte, L.P.; Regazzoni, P.; Messmer, P. (2000)
Surgical navigation based on fluoroscopy - clinical application for computer-
assisted distal locking of intramedullary implants.
Computer Aided Surgery 5: 391-400
61. Suhm, N.; Jacob, L.A.; Zuna, I.; Regazzoni, P.; Messmer, P. (2003)
Fluoroskopiebasierte chirurgische Navigation vs. mechanisches Zielsystem
für perkutane Eingriffe
Eine kontrollierte prospektive Studie am Beispiel der distalen Verriegelung
von Marknägeln
Unfallchirurg. 2003 Nov;106(11):921-8.
62. Wang, M.Y.; Kim, K.A.; Liu, C.Y.; Kim, P.; Apuzzo, M.L. (2004)
Reliability of three-dimensional fluoroscopy for detecting pedicle screw
violations in the thoracic and lumbar spine.
Neurosurgery. 2004 May;54(5):1138-42; discussion 1142-3.

63. Weinstein, J.; Spratt, K.; Sprengel, D.; Brick, C.; Reid, S. (1988)
Spinal pedicle fixation: Reliability and validity of roentgenogram, based assessment and surgical factors on successful screw placement.
Spine 13: 1012-1018
64. Weissauer, W. (2002)
Abgrenzung der Verantwortung für die operative Lagerung des Patienten und Haftung für Lagerungsschäden.
Unfallchirurg. 2002 May;105(5): 404-412.
65. Wendl, K.; von Recum, J.; Wentzensen, A.; Grützner, P.A. (2003)
Iso-C3D-gestützte navigierte Implantation von Pedikelschrauben an BWS und LWS
Unfallchirurg. 2003 Nov;106(11):907-13) .
66. Wich, M.; Spranger, N.; Ekkernkamp, A.(2004)
Intraoperative Bildgebung mit dem ISO C 3D
Chirurg. 2004 Oct;75(10):982-7.
67. Wirth S, Euler E, Kotsianos-Hermle D, Treitl M, Linsenmaier U, Pfeifer KJ, Reiser M, Mutschler W. (2007)
Ein Vergleich von C-Bogen-CT und Standardbildgebung an Osteosynthesen frakturierter Präparate des distalen Radius
Unfallchirurg. 2007 Jan;110(1):41-48.
68. Wirth, S.; Euler, E.; Linsenmaier, U.; Heining, S.M.; Kotsianos, D.; Pfeifer, K.J.; Mutschler, W.; Reiser, M. (2004)
C-arm-based mobile computed tomography: a comparison with established imaging on the basis of simulated treatments of talus neck fractures in a cadaveric study.
Comput Aided Surg. 2004;9(1-2):27-38.

9. Anhang

10.1. Danksagung

Diese Arbeit wäre nie entstanden oder zu Ende gebracht worden ohne folgende Menschen, bei denen ich mich ausdrücklich und ausführlich bedanken möchte:

Herrn Professor Dr. med. Ekkehard Euler bin ich für die Bereitstellung des Themas und die Betreuung und Geduld sehr zu Dank verpflichtet.

Ebenso möchte ich meinem promovierten Betreuer Dr. med. Thomas Dobler danken, der sich aufopferungsvoll um meine Anliegen gekümmert hat und mir mit seiner ständig konstruktiven Kritik zur Seite stand.

Mit ihren Anregungen haben sie mir die Augen für neue Aspekte und Sichtweisen geöffnet und gleichzeitig meinen Blick für das Wesentliche geschärft.

Ganz besonderer Dank gebührt meinen Eltern, die immer für mich da sind und mir stets parat den Rücken freihalten und mir das Studium ermöglicht haben. Meiner Schwester und meinem Schwager, die immer an mich geglaubt haben und immer für mich da sind. Posthum meinem Großvater. Und meinem Sohn. Für Euch.

Die besten Freunde der Welt, ohne die ich immer wieder verzweifelt wäre, im Sumpf der Elektronik versunken wäre und ohne die meine Moral im Morast versunken wäre.

Der immer währende Zuspruch und Reiz sowie die Geduld und das Verständnis meiner Familie und meiner Freunde waren für mich in dieser nicht immer ganz einfachen Zeit eine unverzichtbare Stütze.

Last but not least gilt mein herzlichstes Dankeschön für eine andauernde Förderung und Motivation meinen Vorgesetzten Professor Dr. med. Markus Walther und Dr. med. Bernd Mayer sowie meiner Lieblingskollegin Dr. med. Ulrike Zdražil vom Team des Zentrums für Fuß- und Sprunggelenkschirurgie, Orthozentrum München. Ohne Eure Unterstützung wäre Vieles nicht möglich gewesen.

10.2. Lebenslauf

Persönliche Daten:

Name: Dreyer
Vorname: Florian
Geburtsdatum/-ort: 13.11.1974 in München
Anschrift: Hofererweg 4a
81925 München
Familienstand: ledig

Schulbildung:

09/1981 bis 07/1985 Grundsule Ismaning
09/1985 bis 07/1992 Werner-Heisenberg-Gymnasium, Garching
09/1992 bis 07/1994 Maria-Theresia-Gymnasium, München
Abschluss: Allgemeine Hochschulreife

Wehrdienst:

10/1994 bis 09/1995 Gebirgspionierbataillon 8

Hochschulbildung:

Studiengang Humanmedizin:

10/1995 bis 03/1998 LMU München, Teilstudienplatz
04/1998 bis 09/1998 LMU München, Vollstudienplatz
09/1998 Ärztliche Vorprüfung, München

09/1998 bis 03/1999 Universität des Saarlandes, Homburg/Saar
04/1999 bis 03/2000 Eberhard-Karl-Universität, Tübingen
08/1999 Erster Abschnitt der Ärztlichen Prüfung, Tübingen
04/2000 bis 09/2001 LMU München
09/2001 Zweiter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung,
München

Praktisches Jahr 10/2001 bis 09/2002:

10/2001 bis 01/2002 Praktisches Jahr, Tertial Chirurgie:
Chirurgische Klinik Innenstadt, LMU München
Prof. Dr. med. W. Mutschler
02/2001 bis 05/2002 Praktisches Jahr, Tertial Innere Medizin:
Krankenhaus Neuperlach, Lehrkrankenhaus der
LMU München
Prof. Dr. med. K.-D. Palitzsch
06/2002 bis 09/2002 Praktisches Jahr, Tertial Orthopädie:
Orthopädische Klinik des Krankenhaus Rosenheim
Dr. med. F. Hoffmann
10/2002 Dritter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung, München

Arzt im Praktikum:

11/2002 bis 04/2004 Klinik für Viszeral-, Gefäß-, Thorax- und
Unfallchirurgie
Krankenhaus München-Bogenhausen
Prof. Dr. med. W.-U. Heitland

Assistenzarzt Chirurgie:

05/2004 bis 10/2004

Klinik für Viszeral-, Gefäß-, Thorax- und
Unfallchirurgie
Krankenhaus München-Bogenhausen
Prof. Dr. med. W.-U. Heitland

Assistenzarzt Orthopädie:

Seit 11/2004

Orthozentrum München-Harlaching
Prof. Dr. med. H.-M. Mayer