

Entwicklung einer mr-kompatiblen Schulterlagerungsschiene zur Funktionsuntersuchung der Schulter im offenen Kernspintomographen

Development of an MRI-compatible shoulder positioning device for functional examination of the shoulder in an open MRI

Thomas M¹, Weller V², Schulz T³, Vörkel C³

Orthopädische Klinik und Poliklinik der Universität Leipzig¹ (Direktor: Prof. Dr. G. von Salis-Soglio)

MSB Orthopädietechnik GmbH Leipzig²

Klinik und Poliklinik für Diagnostische Radiologie der Universität Leipzig³ (Direktor: Prof. Dr. T. Kahn)

Zusammenfassung

Thomas M, Weller V, Schulz T, Vörkel C. Entwicklung einer mr-kompatiblen Schulterlagerungsschiene zur Funktionsuntersuchung der Schulter im offenen Kernspintomographen. *Klinische Sportmedizin/Clinical Sports Medicine-Germany (KCS) 2001, 2(6): 85-93.*

Fragestellung: Die MRT-Standarddiagnostik der Schulter erfolgt aufgrund der Bauweise der Ganzkörper-Kernspintomographen im allgemeinen bei adduziertem Arm. Eine alternative Untersuchungsposition ist die ABER-Position, bei der der Arm maximal abduziert und außenrotiert unter dem Kopf gelagert wird. Durch die Entwicklung von Kernspintomographen mit vertikal bzw. horizontal offener Konfiguration ergeben sich zusätzlich Möglichkeiten der Untersuchung in weiteren Gelenkstellungen, die für pathologische Veränderungen der Schulter (z.B. Impingementsyndrom, Instabilität) repräsentativ sind. Eine wesentliche Voraussetzung für derartige Untersuchungen ist eine stabile Lagerung des Armes mit Hilfe einer Lagerungsschiene.

Ziel der Untersuchung war die Entwicklung einer mr-kompatiblen Schulterlagerungsschiene zur Untersuchung der Schulter im offenen Kernspintomographen. Die Schiene sollte universell zur Untersuchung von Männern und Frauen geeignet sein und an verschiedene Körperproportionen angepaßt werden können. Zusätzlich sollten definierte Gelenkpositionen einstellbar und die vorgenommenen Bewegungen quantifizierbar sein.

Material und Methode: Zur Artefaktdiagnostik wurden Bauteile aus Aluminium und Messing in Glycerolgelatine eingebettet. Die Untersuchungen erfolgten in einem 0,5 Tesla vertikal offenen Kernspintomographen (Signa SP, General Electric) mit verschiedenen Sequenzen (SE, FSE, GE). Nur die geeigneten Bauteile aus Aluminium und Messing sowie Kunststoff- und Stoffelemente wurden zur Konstruktion der Schulterlagerungsschiene verwendet. Die korrekte Funktion und MR-Kompatibilität der Lagerungs- und Positionierungsschiene wurde überprüft.

Ergebnisse: Die Schulterlagerungsschiene besteht aus einem Basismodul, einem universellen Bauelement und einem rechten und linken Armteil. Die Rotationsachse kann entsprechend der Rotationsachse des Glenohumeralgelenkes eingestellt werden. Gelenkbewegungen sind in allen Freiheitsgraden möglich. Die Quantifizierung der Gelenkbewegung kann entsprechend einer Graduierung der Schienengelenke in 15 Grad Schritten erfolgen. Mit Hilfe der Schulterlagerungsschiene ist eine artefaktfreie Darstellung der Schulter in solchen Gelenkpositionen möglich, die für pathologische Veränderungen repräsentativ sind (z.B. Apprehension-Position).

Fazit: Es wird die Entwicklung einer mr-kompatiblen Schulterlagerungsschiene für Funktionsuntersuchungen der Schulter in einem offenen Kernspintomographen vorgestellt.

Schlüsselwörter: Schulter, Schulterlagerungsschiene, Magnetresonanztomographie, offenes MRT

Summary

Thomas M, Weller V, Schulz T, Vörkel C. Development of an MRI-compatible shoulder positioning device for functional examination of the shoulder in an open MRI. *Klinische Sportmedizin/Clinical Sports Medicine-Germany (KCS) 2001, 2(6): 85-93.*

Purpose: In general the standard MRI diagnostics of the shoulder is performed with adducted arm due to the magnet configuration. An alternative patient position is the ABER position with imaging in the abducted externally rotated position of the arm. Vertical and horizontal open MRI systems open new possibilities for imaging in other joint positions which are representative for shoulder joint diseases (e.g. impingement syndrome, instability). An essential prerequisite for such investigations is a stable fixation of the arm by use of a shoulder positioning device.

The aim of the study was the development of an MRI-compatible shoulder positioning device for examination of the shoulder in an open MRI-system. The requirements of the device were a universal use for men and women and the adaptability to different measurements of the body. Furthermore defined joint positions are adjustable and the movements of the shoulder are quantifiable.

Material and methods: Materials of aluminium and brass are embedded in glycerol gelatin to diagnose artifacts. The examination was done in an vertical open, whole body MRI magnet with 0,5 Tesla magnet (Signa Profile MRI system, General Electric) using different pulse sequences (SE, FSE, GRE). Only suitable materials of aluminium and brass as well as materials of plastic and cloth were used for the construction of shoulder positioning device. The correct function and the MRI-compatibility were verified.

Results: The shoulder positioning device consists of three parts: the basis element, the universal element and the right and the left arm element. The axis of rotation of the device can be adjusted in dependance of the axis of rotation of the shoulder joint. Movements of the shoulder joint are possible in all degrees of freedom. The quantification of the joint movement is possible by use of the joint graduation in steps of 15 degrees. By use of the shoulder positioning device an artifact free investigation of the shoulder is possible in functionally important joint positions (e.g. in the apprehension test position).

Conclusion: The development of an MRI-compatible shoulder positioning device for functional examination of the shoulder in an open MRI is presented.

Key words: shoulder, shoulder positioning device, magnetic resonance imaging, Open MRI

Einleitung

Im Rahmen der bildgebenden Diagnostik der Schulter ist die Magnetresonanztomographie ein allgemein anerkanntes Untersuchungsverfahren. Die kernspintomographische Standarddiagnostik erfolgt gegenwärtig in geschlossenen Kernspintomographen mit hoher Feldstärke (1 bzw. 1,5 Tesla). Dabei ist die Untersuchung des Schultergelenkes aufgrund der Bauweise der Geräte auf wenige Gelenkstellungen beschränkt. Der Arm liegt im allgemeinen dem Körper an bzw. ist oberhalb des Kopfes gelagert (sog. ABER-Position). Bewegungen der Schulter sind auf eine Innen- und Außenrotation bei anliegendem bzw. geringgradig abgespreiztem Arm beschränkt. Im Gegensatz hierzu werden schmerzhafte Funktionsstörungen der Schulter bzw. Instabilitäten des Glenohumeralgelenkes erst in bestimmten Gelenkpositionen bzw. bei Bewegung des Gelenkes symptomatisch. In der sogenannten Neutralposition des Armes (Arm liegt dem Körper an, keine Innen- und Außenrotation) sind die meisten Patienten weitgehend beschwerdefrei. Da zahlreiche pathologische Veränderungen der Schulter in der Neutralposition nicht nachweisbar sind, beinhaltet die klinische Untersuchung spezifische Tests, bei denen das Schultergelenk in verschiedenen Gelenkpositionen untersucht wird. Eine vordere Schulterinstabilität äußert sich in der überwiegenden Mehrzahl nicht bei herabhängendem Arm in der sogenannten Neutralposition sondern erst bei Wurf- bzw. Ausholbewegungen. Der Apprehension-Test ist der bekannteste spezielle Schultertest zur Überprüfung einer vorderen unteren Instabilität [8]. Dabei führt der Untersucher den betroffenen Arm in Abduktion und Außenrotation während die Skapula fixiert und von hinten ein Druck auf den Oberarmkopf ausgeübt wird. Treten Schmerzen bei Überkopftätigkeiten auf handelt es sich häufig um ein Outlet-Impingementsyndrom. Die aktive Abduktion des Armes bereitet zwischen 60 und 120 Grad Schmerzen (painful arc). Als spezieller klinischer Test gilt das Impingement-Zeichen nach Neer [6]. Dabei kommt es durch eine Anteversion des innenrotierten Armes zur Schmerzprovokation.

Kernspintomographen mit offener Konfiguration bieten erstmalig die Möglichkeit einer MRT- Untersuchung der Schulter in klinisch relevanten Gelenkpositionen. Neben horizontal offenen Geräten stehen heute auch Tomographen mit vertikal offener Konfiguration zur Verfügung (Abb. 1). Bewegungsartefakte stellen ein zentrales Problem der MRT-Diagnostik der Schulter dar. Eine sichere und stabile Lagerung des Armes ist zur Vermeidung von Bewegungsartefakten notwendig. Spezielle Lagerungsschienen sind hierzu erforderlich. Die Lagerungsschiene muß frei von ferromagnetischen Materialien sein, um Metallartefakte auszuschließen. Reines Aluminium und Messing sind keine ferromagnetischen Materialien. Dagegen können Bauteile aus Aluminium und Messing geringe Anteile ferromagnetischer Substanzen (Eisen, Nickel, Kobalt) enthalten und somit erhebliche Metallartefakte verursachen. Eine Übersicht über metallische Objekte (Implantate, Materialien, Geräte, Vorrichtungen) und MRT unter besonderer Berücksichtigung der Sicherheit für den Patienten findet sich bei Shellock [9].

Kernspintomographen mit offener Konfiguration ermöglichen prinzipiell Bewegungsuntersuchungen der Schulter in allen Bewegungsebenen. Eine Quantifizierung der Bewegung bzw. eine reproduzierbare Einstellung der zu untersuchenden Gelenkstellungen erfordert eine spezielle Lagerungs- bzw. Positionierungsschiene. In der Literatur finden sich verschiedene Konstruktionen, die sich jedoch auf eine Bewegungsebene bzw. ausgewählte Bewegungsradien beschränken. Bonutti [2] benutzte eine Vorrichtung zur schrittweisen Rotation des Armes im geschlossenen Kernspintomographen. Der gestreckte und dem Körper anliegende Arm konnte in 10 Grad Schritten innen- bzw. außenrotiert werden. Allmann [1] entwickelte zwei einfache Vorrichtungen, mit denen eine schrittweise Abduktion/Adduktion sowie eine Innen-/Außenrotation des gestreckten Armes in jeweils 20 Grad-Schritten möglich ist. Wintzel [10] stellte eine mr-kompatible Vorrichtung zur Untersuchung der Schulter in der Apprehension-Position vor. Graichen [5] verwendete eine mr-kompatible Vorrichtung zur Untersuchung der Schulter bei 60°, 90° und 120° Abduktion in der Skapulaebene.

Die bisher für Untersuchungen in Magnetresonanztomographen verfügbaren Schulterlagerungsschienen erlauben lediglich Bewegungen in wenigen Bewegungsebenen (Abduktion/Adduktion, Außen-/Innenrotation des Armes, Apprehension-Position). Exakt definierte Rotationsbewegungen im Glenohumeralgelenk sowie Untersuchungen außerhalb der Frontalebene (Abduktion/Adduktion) sind mit den bisherigen Schulterlagerungsschienen nicht möglich.

Ziel der Untersuchung war die Entwicklung einer mr-kompatiblen Schulterlagerungsschiene, die eine artefaktfreie kernspintomographische Untersuchung der Schulter in definierten Gelenkpositionen gewährleistet und Schulterbewegungen in allen Bewegungsrichtungen ermöglicht.

Material und Methode

Materialtest

Zur Herstellung der tragenden Elemente und der gelenkigen Verbindungen der Schulterlagerungsschiene waren Bauteile aus Aluminium und Messing vorgesehen. Zum Ausschluß von erheblichen Metallartefakten wurden diese Bauteile zunächst einer Artefaktdiagnostik unterzogen. Nach Einbettung der entsprechenden Aluminium- und Messingmaterialien in Glycerolgelatine DAB 9 (Gelatine 12,5 g, Glycerol 62,5 g, Sol. Natr. chlorat. 0,9% 25,0 g) (Abb. 1) erfolgte die Untersuchung in einem vertikal offenen 0,5 Tesla Kernspintomographen (Signa SP, General Electric, Milwaukee, WI) (Abb. 2). Folgende Sequenzen kamen zur Anwendung: FSE-Sequenz (TR 2500, TE 108), SE-Sequenz (TR 440, TE 17), FMPSPGR-Sequenz (TR 30, TE 7,8). Die Untersuchungsparameter waren: FOV 24 x 24 cm, Matrix 256 x 128, 0,5 Nex, Schichtdicke 10,0 mm, Zwischenraum 1,0 mm. Weiterhin kam eine flexible Spule zur Anwendung. Im Rahmen der Bildanalyse wurde das Auftreten von Metallartefakten qualitativ und quantitativ bewertet.

Bei den Kunststoff- bzw. Stoffelementen der Schulterlagerungsschiene handelt es sich nicht um ferromagnetische Materialien. Eine Artefaktdiagnostik dieser Bestandteile der Schiene wurde deshalb nicht durchgeführt.



Abbildung 1 In Glycerolgelatine (DAB 9) eingebettete Aluminium- und Messingbauteile zur Artefaktdiagnostik im offenen Magnetresonanztomographen



Abbildung 2 vertikal offener Kernspintomograph Signa SP (General Electric, Milwaukee, WI) mit 0,5 Tesla Feldstärke

Konstruktion der Lagerungsschiene

Zur artefaktfreien Untersuchung der Schulter in einem offenen Kernspinsystem wurde eine spezielle Lagerungsschiene konzipiert, die eine stabile Fixierung des Armes und der Schulter gewährleistet und die Einstellung definierter Gelenkstellungen ermöglicht. Die Lagerungsschiene sollte unabhängig von Geschlecht, Körpergröße, Gewicht und untersuchter Körperseite einsetzbar sein. Wesentliche Anforderungen an die Lagerungsschiene sind in Tabelle 1 dargestellt. Die Lagerungsschiene sollte aus modularen Elementen bestehen, so daß eine schnelle und problemlose Anpassung an verschiedene Körperproportionen möglich ist. Zudem sollte die Schiene für Männer und Frauen geeignet sein und eine Untersuchung der rechten und linken Körperseite zulassen. Zur Quantifizierung der Gelenkbewegung wurde eine Graduierung der Schienengelenke vorgesehen. Ein weiterer Schwerpunkt war die Anpassung der Rotationsachse des Schienengelenkes an die entsprechende Bewegungsachse des Glenohumeralgelenkes.

Tabelle 1 Anforderungen an eine Lagerungsschiene für Untersuchungen der Schulter im offenen Kernspinsystem

- universell einsetzbar, unabhängig von Körpergröße, Körpergewicht und der zu untersuchenden Körperseite
- problemlose und schnelle Anpassung an verschiedene Körpergrößen ohne Verwendung neuer Bauteile
- keine Metallartefakte durch Verwendung mr-kompatibler Materialien
- sichere und stabile Fixierung des Armes und der Schulter zur Vermeidung von Bewegungsartefakten
- einfaches Anlegen der Lagerungsschiene
- Möglichkeit definierte Gelenkstellungen der Schulter einzustellen
- Möglichkeit der Untersuchung in allen Bewegungsebenen
- Möglichkeit einer schnellen Änderung der Gelenkposition ohne Umlagerung des Patienten

Ergebnisse

Materialtest

Die in Glycerolgelatine eingebetteten Fertigteile (Rohre, Platten, Schrauben) aus Aluminium und Messing wurden im vertikal offenen Kernspintomographen mit verschiedenen Sequenzen untersucht und das Auftreten von Metallartefakten analysiert. In Abbildung 3 ist ein erheblicher Artefakt durch Ferromagnetismus dargestellt, der durch eine Aluminiumscheibe mit eisenhaltigen Beimengungen (Durchmesser: 40 mm, Dicke: 1 mm) verursacht wurde. Die Auswirkungen auf die Bildgebung der Schulter sind in Abbildung 3b dargestellt. Die Scheibe führte zu einem vollständigen Signalausfall, so daß die dorsalen Anteile des Schultergelenkes nicht und die angrenzenden anatomischen Strukturen verzerrt dargestellt werden.

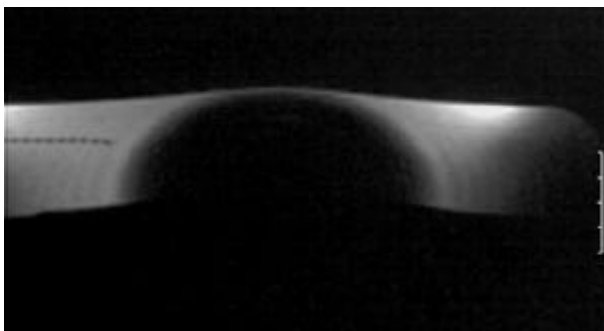


Abbildung 3 a

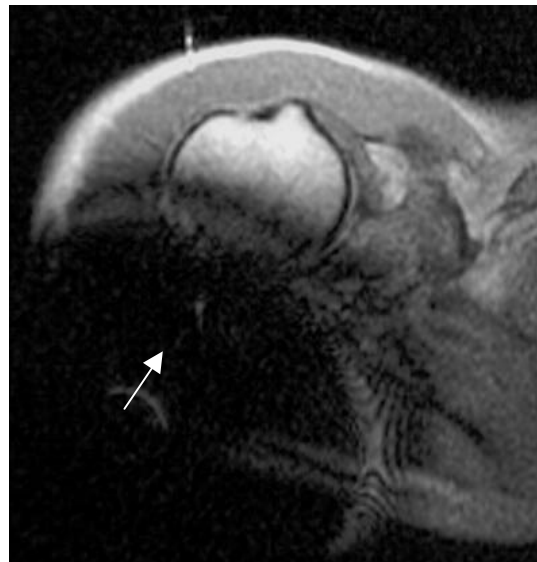


Abbildung 3 b

Abbildung 3 a-b Artefakt durch Ferromagnetismus.

- a) in Glycerolgelatine eingebettete Aluminiumscheibe mit Anteilen ferromagnetischer Substanzen (Skalierung in cm),
 b) transversale GE-Sequenz des rechten Schultergelenkes mit dorsaler Signalauslöschung (Pfeil) durch oben genannte Aluminiumscheibe.

Abbildung 4 zeigt einen typischen Befund für Materialien ohne wesentliche Metallartefakte. Die Artefaktgröße entspricht nahezu der realen Größe der untersuchten Messing- und Aluminiumbauteile.

Neben einer qualitativen Bildbeurteilung erfolgte zusätzlich eine morphometrische Analyse, die einen direkten Vergleich der Artefaktgröße mit der realen Größe der untersuchten Aluminium- und Messingbauteile ermöglichte.

Für die Konstruktion der Schulterlagerungsschiene wurden ausschließlich Bauteile verwendet, bei denen im Rahmen der Artefaktagnostik kein bzw. ein sehr geringer Artefakt nachgewiesen wurde.

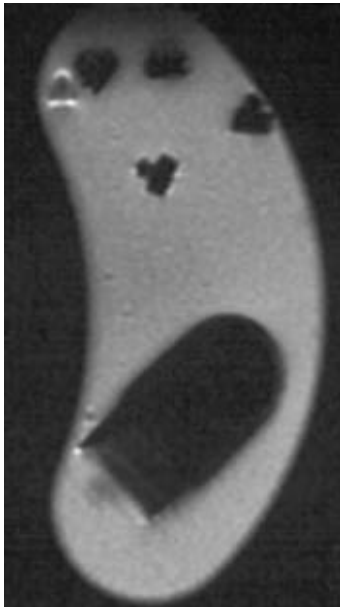


Abbildung 4 a

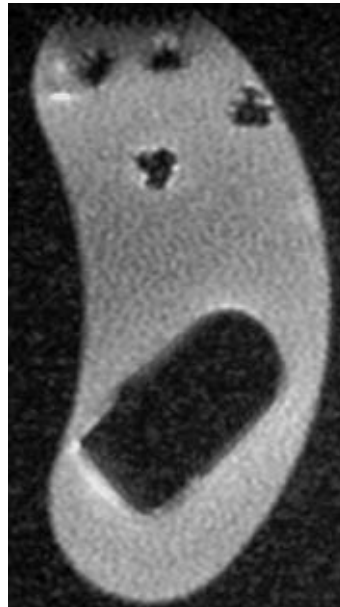


Abbildung 4 b

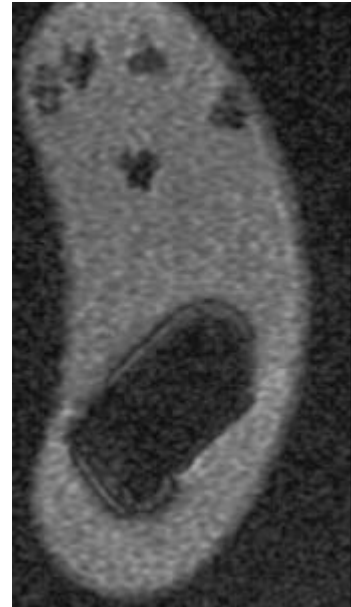


Abbildung 4 c

Abbildung 4 a – c Artefaktagnostik im vertikal offenen 0,5 Tesla Kernspintomographen (Signa SP, General Electric, WI) - in Glycerolgelatine eingebettete Aluminium- und Messingbauteile. Untersuchung mit verschiedenen Sequenzen: **a)** FSE-Sequenz, **b)** SE-Sequenz, **c)** GRE-Sequenz.

Lagerungsschiene

Die Schulterlagerungsschiene besteht aus 3 Bauelementen, die eine individuelle Anpassung an verschiedene Körperproportionen zulassen. Alle verwendeten Materialien aus Aluminium und Messing wurden zunächst einer Artefaktagnostik unterzogen.

Das **Basiselement der Schiene** ist ein aus Kunststoffbauteilen (Polyethylen) hergestellter Beckenkorb (Abb. 5a). Die Innenseite des Beckenkorb wurde mit Nylonmaterial weich gepolstert. Entsprechend der Proportionen der zu untersuchenden Person kann die Weite des Beckenkorb individuell angepaßt werden. Im allgemeinen erfolgt die Anpassung der Weite des Beckenkorb im vorderen Teil über ein Gurtsystem mit entsprechenden Kunststoff-Steckschnallen. Weiterhin kann die Weite des Beckenkorb im hinteren Teil mit Hilfe eines speziellen Innensechskantschlüssels angepaßt werden. An der rechten und linken Seite des Beckenkorb befinden sich jeweils zwei mit einem Gewinde versehene Bohrungen zur Aufnahme des universellen Bauelementes.

Das **universelle Bauelement** kann an der rechten und linken Seite des Beckenkorb mit zwei 2 Rändelschrauben per Hand angebracht werden (Abb. 5b). Über eine Gleitschiene ist eine entsprechende Höhenanpassung möglich. Eine weitere Möglichkeit der Höheneinstellung besteht in der Mitte des universellen Bauelementes. Hierzu ist ein Schraubendreher notwendig. Zusätzlich wird das universelle Bauelement durch zwei Gurte mit Kunststoff-Steckschnallen gesichert. Mit Hilfe des Gurtsystems ist eine individuelle Anpassung an die Körperproportionen von Männern und Frauen möglich. Das universelle Bauelement dient der Aufnahme des rechten bzw. linken Arnteiles. Das jeweilige Armteil kann dabei problemlos in das universelle Bauelement eingesteckt werden. Entsprechend der vorgesehenen Bewegungsachse des Schultergelenkes kann die Rotationsachse der Schiene den individuellen Verhältnissen angepaßt werden. Dazu erfolgt

neben einer korrekten Höheneinstellung zusätzlich die Anpassung der Rotationsachse der Schiene in der Horizontalebene. Diese Einstellung ist stufenlos am entsprechenden Steckelement möglich. Die Fixierung der entsprechenden Rotationsachse erfolgt mit einer Rändelschraube per Hand.

In das universelle Bauelement wird das **rechte bzw. linke Armelement** eingesteckt (Abb. 5c). Beide Armteile enthalten jeweils zwei stufenlose Gelenke mit einer Graduierung in 15 Grad-Schritten. Die Gelenke ermöglichen eine Bewegung im Glenohumeral- und Ellenbogengelenk, wobei die Gelenkbewegung in 15 Grad-Stufen angegeben werden kann. Die Rotationsachse des Gelenkes in Höhe des Glenohumeralgelenkes kann entsprechend der vorgesehenen Bewegung (Abduktion-Adduktion bzw. Anteversion-Retroversion) individuell eingestellt werden. Das Gelenk in Höhe des Ellenbogengelenkes erlaubt eine Festlegung der Rotation im Glenohumeralgelenk. Über einen Klemmmechanismus kann jede Gelenkposition fixiert werden. Ein spezielles Instrument ist hierfür nicht erforderlich. Die Länge des Oberarm- und Unterarmteiles kann den entsprechenden Körpermaßen der untersuchten Person angepaßt werden. Hierzu sind am Oberarm- und Unterarmteil zwei Gleitschienen angebracht, die eine einfache Längenveränderung per Hand zulassen. Zusätzlich befindet sich an beiden Armteilen eine Handauflage, die individuell eingestellt werden kann. Die Auflageflächen für den Arm und die Hand wurden mit weichem Material gepolstert:



Abbildung 5 a



Abbildung 5 b



Abbildung 5 c

Abbildung 5 a – c Schulterlagerungs- und Schulterpositionierungsschiene

- a) **Basiselement** mit Möglichkeit der individuellen Anpassung – vorn mit Gurtsystem und Schnappverschluss, hinten mit speziellem Innensechskantschlüssel
- b) **Universelles Bauelement** mit Möglichkeit der Einstellung der Rotationsachse der Schiene – Höheneinstellung sowie Einstellung in der Horizontalebene per Hand
- c) **Armelement** mit zwei Gelenken, Ober- und Unterarmteil sowie Handauflage – Gelenkbewegungen können stufenlos ausgeführt und in 15 Grad-Schritten abgelesen werden, Möglichkeit der individuellen Anpassung der Länge des Ober- und Unterarmteiles sowie individuelle Anpassung der Handauflage

In Abbildung 6 sind verschiedene Stellungen des Schultergelenkes mit Hilfe der Lagerungs- und Positionierungsschiene dargestellt. Abbildung 6a zeigt die für eine vordere untere Schulterinstabilität repräsentative Apprehension-Test-Position. Der zur Diagnostik eines subkorakoidalen Impingement angewandte Impingement-Test nach Hawkins ist in Abbildung 6b dargestellt.



Abbildung 6 a



Abbildung 6 b

Abbildung 6 a – b Darstellung verschiedener Gelenkeinstellungen mit Hilfe der Lagerungsschiene

- a) 90 Grad Abduktion und 90 Grad Außenrotation (Apprehension-Test-Position),
- b) mittlere Anteversion bei gleichzeitiger Innenrotation (Impingement-Test nach Hawkins)

Die Funktionsfähigkeit der Lagerungsschiene wurde im vertikal offenen Kernspintomographen (Signa SP, GE) überprüft. Eine artefaktfreie Darstellung des Schultergelenkes ist möglich. Beispielhaft ist dies in Abbildung 7 dargestellt. Es erfolgte die Untersuchung der Schulter in einer für eine vordere untere Instabilität repräsentativen Gelenkstellung, der sog. Apprehension-Test-Position (90 Grad Abduktion und maximale Außenrotation, hier 90 Grad).

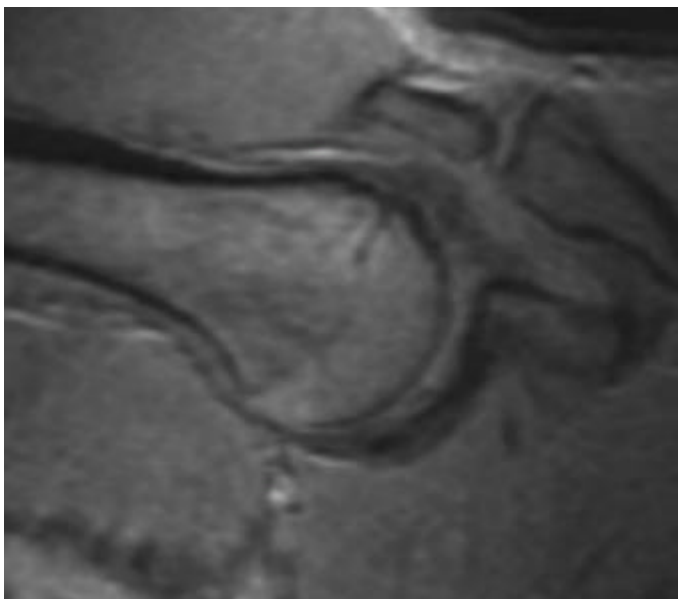


Abbildung 7 Koronar anguliertes T1-gewichtetes Bild des rechten Schultergelenkes eines 31jährigen männlichen Probanden in der sog. Apprehension-Test-Position (TR 25,1 ,TE 10,8, FLIP 30, FSPGR)

Diskussion

Die kernspintomographische Standarduntersuchung der Schulter erfolgt gegenwärtig in Kernspintomographen mit geschlossener Konfiguration und einer Feldstärke von 1 bzw. 1,5 Tesla. Der Patient wird dabei in Rückenlage mit dem Körper anliegenden Armen gelagert. In dieser adduzierten Armposition sind lediglich limitierte Rotationsbewegungen möglich. Alternativ kann der Arm über dem Kopf in Außenrotation gelagert werden (sog. ABER-Position) [4].

Durch den Einsatz von Kernspintomographen mit offener Konfiguration ist erstmalig auch eine MRT-Untersuchung der Schulter in Gelenkstellungen möglich, die für die verschiedenen pathologischen Veränderungen repräsentativ sind. Eine wesentliche Voraussetzung für eine kernspintomographische Untersuchung in variablen Gelenkpositionen ist die stabile Lagerung des Armes mit Hilfe einer mr-kompatiblen Lagerungsschiene. Bewegungsartefakte sind ein Hauptproblem in der MRT [3]. Bei der MRT der Schulter werden während einer Sequenz von meist mehreren Minuten zahlreiche Bilder erstellt. Bewegt der Patient während der Untersuchung seine Schulter so sind alle Schnittbilder betroffen. Eine stabile Lagerung des Armes sowie eine bequeme Lagerung des Patienten sind neben einer guten Compliance entscheidende Voraussetzungen für die Vermeidung von Bewegungsartefakten. Aufgrund der relativ langen Untersuchungsdauer kommt einer bequemen Lagerung des Patienten eine besondere Bedeutung zu. Mit einer guten Compliance können Wiederholungsuntersuchungen infolge von Bewegungsartefakten auf ein Minimum reduziert werden.

Metallartefakte erschweren die Bildinterpretation, da die anatomischen Strukturen überlagert bzw. nicht erkennbar sind. Zudem können pathologische Befunde vorgetäuscht werden [3]. Ein Schlüsselproblem bei der Konstruktion einer mr-kompatiblen Schulterlagerungsschiene war die Verwendung entsprechender mr-kompatibler Materialien. Die Materialien mußten außerdem eine bestimmte Festigkeit aufweisen, um als tragende Elemente der Schiene (z.B. Gelenke) eingesetzt werden zu können. Ferromagnetische Stoffe (Eisen, Nickel, Cobalt) verursachen erhebliche Metallartefakte. Diese Materialien führen zu einer ausgeprägten Inhomogenität des lokalen Magnetfeldes und damit zu einem Signalausfall und zu einer Verzerrung der angrenzenden anatomischen Strukturen [3]. Zur Konstruktion tragender Teile und gelenkiger Verbindungen einer Lagerungsschiene sind ferromagnetische Materialien nicht geeignet. Paramagnetische Substanzen, d.h. Substanzen mit schwachen magnetischen Eigenschaften, verursachen magnetische Suszeptibilitätsartefakte durch Beeinflussung des lokalen Magnetfeldes. Im Vergleich zu den SE-Sequenzen sind diese Artefakte in den übrigen Sequenzen größer [3].

Für die Herstellung der tragenden Elemente bzw. Gelenke der Schulterlagerungsschiene wurden Bauteile aus Aluminium und Messing vorgesehen. Zahlreiche Materialtests waren erforderlich, um geeignete Bauelemente aus Messing und Aluminium zu finden. Die Materialuntersuchungen im offenen Kernspintomographen ergaben bei einigen Aluminium- und Messingfertigteilen erhebliche Metallartefakte. Diese Artefakte können auf geringe Anteile ferromagnetischer Materialien zurückgeführt werden. Die Größe der Metallartefakte war dabei abhängig von der verwendeten Sequenz. Die Gradientenechosequenz war am empfindlichsten gegenüber Metallartefakten, da die GE-Sequenz im Gegensatz zu den SE-Sequenzen keinen refokussierenden 180°-Impuls beinhaltet [3].

Zur Konstruktion der Schulterlagerungsschiene wurden nur solche Aluminium- und Messingbauteile verwendet, deren Artefaktgröße die reale Größe des Bauteiles nicht wesentlich überschritt. Damit konnte eine Verschlechterung der Bildqualität infolge eines Metallartefaktes sicher vermieden werden.

Neben einer stabilen, sicheren und bequemen Lagerung sollte eine entsprechende Schiene zusätzlich Untersuchungen der Schulter in definierten Gelenkstellungen ermöglichen. Die in der Literatur angegebenen Lagerungs- bzw. Positionierungsschienen erfüllen diese Forderung nur eingeschränkt.

Rhoad [7] verwendete die von Bonutti entwickelte Vorrichtung zur Innen- und Außenrotation des gestreckten Armes in einem geschlossenen Kernspintomographen, wobei die Untersuchung in 5 Rotationspositionen durchgeführt wurde. Zu jeder Stellungsänderung des Armes mußte der Proband aus dem Magneten gezogen werden. Anschließend erfolgte dann die Repositionierung im Magneten. Allmann [1] entwickelte eine einfache Vorrichtung zur Quantifizierung der Innen- und Außenrotation des gestreckten Armes in 20 Grad-Schritten. Hierbei wird eine Drehung des gesamten Armes vorgenommen, die entsprechend der Position der Hand abgelesen werden kann. Welcher Anteil der Gesamtbewegung auf die Rotation im Glenohumeralgelenk und auf die Pronation und Supination im proximalen und distalen Speichen-Ellen-Gelenk entfällt, ist dabei nicht bekannt. Eine exakte Quantifizierung der Rotationsbewegung im Glenohumeralgelenk ist nur bei gleichzeitiger Beugung im Ellenbogengelenk möglich, wobei die Rotation im Glenohumeralgelenk durch die Position des Unterarmes und nicht der Hand angezeigt wird. Die von Allmann [1] angegebene Vorrichtung zur schrittweisen Abduktion und Adduktion des Armes erlaubt lediglich eine Untersuchung des in der Frontalebene bewegten Armes. Eine Untersuchung in der Skapulaebene ist nicht möglich. Zudem ist die Übereinstimmung des Drehpunktes der Vorrichtung mit dem Drehpunkt des Glenohumeralgelenkes nur schwierig zu erreichen. Graichen [5] benutzte eine Positionierungsschiene zur schrittweisen Abduktion und Adduktion des Armes, wobei Untersuchungen bei 60,90 und 120 Grad Abduktion in einem horizontal offenen Kernspintomographen durchgeführt wurden. Die Einstellung der Skapulaebene erfolgte durch eine entsprechende Lagerung der Untersuchungsperson (30° schräge Rückenlage). Zur Untersuchung der Schulter in der Apprehension-Position in einem horizontal offenen Kernspintomographen stellte Wintzel [10] eine eng anliegende Vorrichtung aus Kunststoff vor. Mit dieser Vorrichtung konnten Untersuchungen des 90 Grad abduzierten Armes in verschiedenen Außenrotationsstellungen (0,15,30 Grad und Apprehension-Position) durchgeführt werden.

Allen bisherigen Lagerungsschienen ist gemeinsam, daß lediglich Bewegungen der Schulter in einer bzw. maximal zwei Ebenen möglich sind.

Die vorgestellte Lagerungs- und Positionierungsschiene ist mr-kompatibel. Durch Verwendung von Kunststoff-, Messing- und Aluminiumbauteilen sind Metallartefakte im untersuchten Schulterbereich nicht zu erwarten. Eine stabile Lagerung des Armes während der Untersuchung ist gewährleistet. Damit werden Bewegungsartefakte auf ein Minimum reduziert. Weiterhin können Gelenkpositionen in allen Bewegungsebenen eingestellt werden. Mit Hilfe einer entsprechenden Graduierung der gelenkigen Verbindungen kann das Bewegungsausmaß in 15 Grad-Schritten quantifiziert werden. Bei rechtwinklig gebeugtem Ellenbogengelenk kann die Rotationsbewegung im Glenohumeralgelenk in 15 Grad-Schritten vorgenommen werden. Zudem ist eine Fixierung der Gelenke in jeder beliebigen Rotationsstellung möglich. Weiterhin können Bewegungen in der Frontal- und Skapulaebene (Abduktion/Adduktion) und in der Sagittalebene (Anteversion/Retroversion) ausgeführt werden. Eine MRT-Untersuchung der Schulter in den für pathologische Veränderungen relevanten Gelenkpositionen (z.B. Apprehension-Position, Impingement-Test nach Neer) ist möglich.

Literatur

1. Allmann KH, Uhl M, Gufler H, Biebow N, Hauer MP, Kotter E, Reichelt A, Langer M (1997) Cine-MR imaging of the shoulder. *Acta Radiologica* 38: 1043-1046
2. Bonutti PM, Norfray JF, Friedman RJ, Genz BM (1993) Kinematic MRI of the shoulder. *J Comput Assist Tomogr* 17: 666-669
3. Cardoza JD, Herfkens RJ (1999) MRT-Basiskurs. Georg Thieme, Stuttgart - New York: 1-16
4. Cvitanic O, Tirman PFJ, Feller JF, Stauffer AE, Carroll K (1997) Can abduction and external rotation of the shoulder increase the sensitivity of MR arthrography in detecting anterior glenoid labral tears? *Am J Roentgenol* 169: 837-844
5. Graichen H, Bonel H, Stammberger T, Haubner M, Rohrer H, Englmeier KH, Reiser M, Eckstein F (1999) Three-Dimensional analysis of the width of the subacromial space in healthy subjects and patients with impingement syndrome. *AJR* 172: 1081-1086
6. Neer CS (1983) Impingement lesions. *Clin Orthop* 173: 70-77
7. Rhoad RC, Klimkiewicz JJ, Williams GR, Kesmodel SB, Udupa JK, Kneeland JB, Iannotti JP (1998) A new in vivo technique for three-dimensional shoulder kinematics analysis. *Skeletal Radiol* 27: 92-97
8. Rowe CR, Zarins B (1981) Recurrent transient subluxation of the shoulder. *J Bone Jt Surg* 63 A: 863-872
9. Shellock FG (1999) Pocket guide to MR procedures and metallic objects: update 1999. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia
10. Wintzell G, Haglund-Akerlind Y, Larsson H, Zyto K, Larsson S (1999) Open MR imaging of the unstable shoulder in the apprehension test position: description and evaluation of an alternative MR examination position. *Eur Radiol* 9: 1789-1795

Danksagung

Den Mitarbeitern der MSB Orthopädietechnik GmbH (Sammelweisstraße 10, D-04103 Leipzig) wird für die Zusammenarbeit bei der Konstruktion der Schulterlagerungsschiene gedankt.

Die Entwicklung der Schulterlagerungsschiene wurde von der Deutschen Arthrose-Hilfe e.V. finanziell unterstützt.

Korrespondenzadresse: Dr. med. Michael Thomas
Orthopädische Klinik und Poliklinik der Universität Leipzig
Sammelweisstraße 10, D-04103 Leipzig
e-mail: <http://www.Drmtho@aol.com>; Fax: -49341-9723109; Tel.: -49341-9723103