

5

Konventionelle Radiologie und Computertomographie der Schulter

Markus Wambacher, Jürgen Oberladstätter und Michael Rieger

| | |
|---|-----|
| 5.1 Standardaufnahmen | 100 |
| 5.1.1 Anteroposteriore Aufnahme | 101 |
| 5.1.2 Axiale Aufnahme | 101 |
| 5.2 Einstelltechniken zur Beurteilung der zweiten Ebene bei stark schmerzhafter Schulter oder bei angelegtem Verband | 103 |
| 5.2.1 Skapula-Y-Aufnahme (true lateral view) | 103 |
| 5.2.2 Velpeau-Aufnahme | 103 |
| 5.3 Röntgen-Zielaufnahmen zur präoperativen Abklärung von Schulterluxationen | 104 |
| 5.3.1 Aufnahmetechniken zur Darstellung der Hill-Sachs-Läsion | 104 |
| 5.3.2 Darstellung des vorderen unteren Pfannenrands | 105 |
| 5.4 Röntgen-Zielaufnahmen zur Abklärung pathologischer Veränderungen im Subakromialraum .. | 106 |
| 5.4.1 Outlet-view (Supraspinatustunnel-Aufnahme) nach Morrison und Bigliani | 106 |
| 5.4.2 Anteroposteriore Aufnahme nach Rockwood | 107 |
| 5.4.3 Os acromiale im Röntgen-Bild | 108 |
| 5.4.4 Tendinosis calcarea im Röntgen-Bild | 109 |
| 5.5 Röntgen-Zielaufnahme zur Darstellung des AC-Gelenks | 109 |
| 5.6 Zielaufnahme zur Abklärung des SC-Gelenks | 110 |
| 5.6.1 Degenerative Erkrankungen des SC-Gelenks | 111 |
| 5.6.2 Infektionen des SC-Gelenks | 112 |
| 5.7 Computertomographie der Schulter | 112 |
| 5.7.1 Lagerung | 112 |
| 5.7.2 Technik der Spiral- und Multi-Slice-CT | 112 |
| 5.7.3 Indikationen zur CT-Untersuchung | 115 |
| 5.8 Defektarthropathien | 132 |
| 5.9 Instabilitätsarthrose nach Samilson | 133 |
| 5.10 Rheumatoide Arthritis | 134 |
| 5.11 Glenoiddysplasien | 135 |

Der hohe Stellenwert der konventionellen radiologischen Untersuchung in der Abklärung von Pathologien des Schultergelenks ist neben anderer bildgebender Diagnostik wie Sonographie, Computer- bzw. Magnetresonanztomographie, nach wie vor unbestritten.

Da zur nativradiologischen Abklärung des Schultergelenks einige Standard- und eine Vielzahl von speziellen Zielaufnahmen zur Verfügung stehen, erscheint es vor der Anordnung der Röntgen-Aufnahmen unerlässlich, eine orientierende klinische Untersuchung durchzuführen, um dann eine gezielte Röntgen-Abklärung zu indizieren. Bei akuten Schulterverletzungen mit V.a. eine Fraktur oder Luxation sollte aber vor der klinischen eine radiologische Untersuchung durchgeführt werden, um iatrogene Schäden zu vermeiden.

In vielen Fällen ist eine Diagnosestellung mit Hilfe von nativradiologischen Aufnahmetechniken alleine möglich, zu-

MERKE

Die routinemäßige nativradiologische Untersuchung bei Schulterpathologien verlangt Aufnahmen in mindestens zwei Ebenen. Auch beim akuten Trauma mit starken Schmerzen sollte es mit speziellen Hilfsaufnahmen möglich sein, eine Abklärung in zwei Ebenen durchzuführen.

mindest schränken sie die Verwendung einer weiterführenden teuren bildgebenden Diagnostik ein.

5.1 Standardaufnahmen

Die anteroposteriore (a.p.) und die axiale Schultergelenkaufnahme gelten als die Standardeinstellungen der Wahl. Die Velpeau- oder Skapula-Y-Aufnahme stellen Alternativen bei schmerz- oder fixationsbedingt nicht durchführbarer axialer Aufnahme dar.



Abb. 5-1 a.p. Standardaufnahme.
 a: Das Schulterblatt der betroffenen Schulter liegt der Röntgenkassette flach an (links). Am hängenden, im Ellenbogengelenk gestreckten Arm zeigt der Daumen nach vorne (rechts), was eine leichte Außenrotation im Schultergelenk bedingt.
 b: Die Gelenkpfanne wird orthograd abgebildet, das Tuberculum majus wird profilgebend.
 c: a.p. Standardaufnahme bei rezidivierender Schulterluxation mit Verdacht auf Pfannenbeteiligung (Pfeil).
 d: a.p. Aufnahme in Nullrotation zur Messung des akromioclavicularen Abstandes.

5.1.1 Anteroposteriore Aufnahme

Eine orthograde Abbildung der Gelenkpfanne mit exakter Einsehbarkeit des Gelenkspalts ist Ziel dieser Aufnahme. Zur Durchführung der a.p. Aufnahme (\gg Abb. 5-1a bis d) wird der Patient i. d. R. im Stehen mit der Röntgen-Kassette flach anliegendem Schulterblatt positioniert. Somit ergibt sich ein Einstrahlwinkel des Zentralstrahls zur Kassette von 30 bis 45°. Die Ausrichtung des Zentralstrahls erfolgt 20° nach kaudal geneigt auf die Korakoidspitze (Goldmann et al. 1982, Rosenthal 1988). Am hängenden, im Ellenbogengelenk gestreckten Arm, zeigt der Daumen nach vorne, womit im Schultergelenk eine leichte Außenrotation vorliegt und somit das Tuberculum majus radiologisch profilgebend wird.

Als Ergänzungsaufnahmen werden a.p. Aufnahmen in Innen- und Außenrotation zur Beurteilung der Gelenkspaltbreite bei der Abklärung der Omarthrose verwendet. Die 60°-Innenrotationsaufnahme (\gg Abb. 5-6) dient zur Darstellung der Hill-Sachs-Läsion. Die a.p. Aufnahme in Nullrotation wird für die Messung des akromiohumeralen Abstandes verwendet. Gemessen wird die kürzeste Strecke zwischen inferiorem Anteil des Akromions und artikulärem Scheitel des Oberarmkopfes (Petersson und Redlund-Johnell 1984, Werner et al. 2008; \gg Abb. 5-7).

5.1.2 Axiale Aufnahme

Zur Durchführung der axialen Standardaufnahme (\gg Abb. 5-2a bis c) wird der Patient wie folgt positioniert: Der Patient sitzt mit abduziertem und im Ellenbogen 90° flek-

tiertem Arm seitlich am Röntgen-Tisch. Der Unterarm liegt parallel zur Tischplatte. Die Röntgen-Kassette wird unter dem Schultergelenk des Patienten positioniert. Weiterhin wird der Kopf zur gesunden Seite geneigt. Der Zentralstrahl ist bei kraniokaudalem Strahlengang auf die Mitte des Schultergelenks gerichtet (Bernau 1995).

Die im amerikanischen Sprachraum übliche Durchführung dieser Aufnahme im Liegen wird als „True axillary view“ bezeichnet (Golding 1962, Rosenthal 1988; \gg Abb. 5-2d). Beim stark schmerzgeplagten Patienten erweist sich diese Einstelltechnik jedoch als praktisch undurchführbar bzw. unzumutbar. Die Anfertigung einer axialen Aufnahme am sitzenden Patienten gelingt meist auch bei luxierter oder frakturierter Gelenksituation, vorausgesetzt der verletzte Arm wird mit entsprechender Vorsicht abduziert und gelagert.

MERKE

Die Aussagekraft der axialen Röntgen-Aufnahme über die Position des Oberarmkopfes zur Gelenkpfanne erweist sich v. a. bei der Diagnostik hinterer Schulterluxationen von Bedeutung.

Des Weiteren gibt die axiale Einstellung Auskunft über das Tuberculum minus, das Glenoid und die Stellung des Akromioklavikular(AC)gelenks in der Transversalebene.

Die hintere Schulterluxation gilt als eine der häufigsten primär übersehenen Pathologien an der Schulter. An dieser Stelle soll auf radiologische Charakteristika der hinteren Verrenkung – insbesondere in der a.p. Aufnahme – hingewiesen werden:

- Birnenform des Oberarmkopfes (\gg Abb. 5-3a): bedingt durch die Innenrotation, wobei das Tuberculum majus



Abb. 5-2 Axiale Standardaufnahme.
a: Einstellung.
b: Axiale Standardaufnahme.
c: Axiale Aufnahme bei verhakter hinterer Schulterluxationsfraktur.
d: Einstellung zum „true axillary view“.

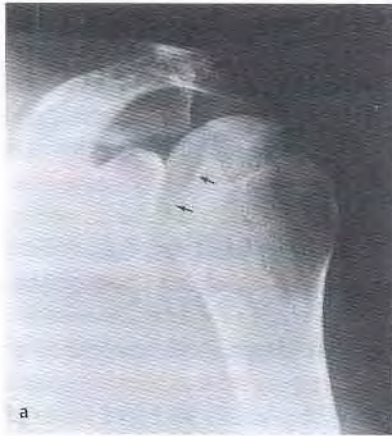


Abb. 5-3 a.p. Aufnahme bei hinterer Schulterluxation:
 a: Birnenform des Humeruskopfs (innenrotationsbedingt) und „Trough-line“ (Pfeile) nach Cisternino (durch Impressionsfraktur ventromedial am Humeruskopf; aus Resch et al. 1985).
 b: Die Distanz zwischen vorderem Pfannenrand und Oberarmkopf beträgt mehr als 6 mm („Rim sign“ nach Arndt und Sears; aus Resch et al. 1985).

nicht mehr randgebend ist (Dorgan 1955, Goodpaster et al. 2000, Nobel 1962).

- „Rim-sign“ nach Arndt und Sears (Arndt und Sears 1965; > Abb. 5-3b): eine durch die Lage des Oberarm-

kopfs hinter dem dorsalen Pfannenrand resultierende Distanzerweiterung zwischen dem Rand des Kopfs und dem ventralen Pfannenrand auf über 6 mm.

- „Trough-line“ nach Cisternino (Cisternino et al. 1978;

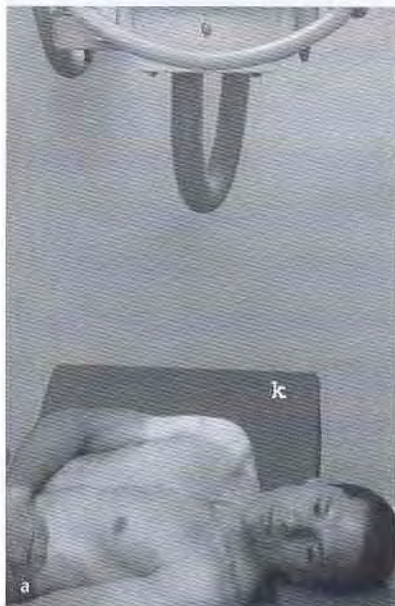


Abb. 5-4 Skapula-Y-Aufnahme (kann auch bei innenrotiertem Arm bzw. im Liegen durchgeführt werden).
 a: Der Oberkörper ist um etwa 60° aufgedreht. Der Zentralstrahl verläuft tangential zum Schulterblatt. Der Arm befindet sich in Null-Grad-Rotation oder aber in Innenrotation (k, Keilpolster).
 b: Skapula-Y-Aufnahme bei korrekter Kopf-Pfannen-Beziehung.
 c: Skapula-Y-Aufnahme bei hinterer Luxation (unterbrochener Kreis: Oberarmkopf, durchgehender Kreis: Glenoid).
 d: Skapula-Y-Aufnahme bei Skapulablattfraktur mit Beteiligung des Glenoids. (Schrauben Pfeil).

> Abb. 5-3a): entsprechend einer durch die ventromedial gelegene Impressionsfraktur bedingten Verdichtungslinie am Oberarmkopf.

5.2 Einstelltechniken zur Beurteilung der zweiten Ebene bei stark schmerzhafter Schulter oder bei angelegtem Verband

Bei schmerzbedingt aufgehobener aktiver und passiver Beweglichkeit der Schulter oder fixationsbedingter Immobilisation stellen die Skapula-Y-Aufnahme bzw. Velpeau-Aufnahme alternative Einstelltechniken zur nicht durchführbaren axialen Aufnahme dar.

5.2.1 Skapula-Y-Aufnahme (true lateral view)

Der Patient wird im Stehen mit 60° zur Röntgen-Kassette aufgedrehtem Oberkörper positioniert (> Abb. 5-4a). Die Ausrichtung des Zentralstrahls erfolgt tangential zum Schulterblatt.

In der Skapula-Y-Aufnahme wird v. a. die Stellung des Humeruskopfs zur Gelenkpfanne ersichtlich. Der tangentielle Strahlengang lässt die Skapula als das benennende „Y“ erscheinen, das sich aus dem inferioren Schenkel entsprechend dem Schulterblatt, dem anterioren Schenkel,

entsprechend dem Processus coracoideus und dem hinteren Schenkel, entsprechend dem Akromion, zusammensetzt (Rubin et al. 1974). Im Zentrum befindet sich das Glenoid. Bei anatomischer Gelenkstellung und korrekter Aufnahmetechnik projiziert sich der Oberarmkopf direkt über das Glenoid.

Diese Einstellung findet ihren Einsatz zum einen als ergänzende Aufnahme bei Oberarmkopf- oder Skapulafrakturen zur genaueren Analyse der Fraktursituation (> Abb. 5-4d), zum anderen als Alternative zur axialen Aufnahme bei Schulterluxationen (> Abb. 5-4b und c).

5.2.2 Velpeau-Aufnahme

Die Velpeau-Aufnahme wird bevorzugt am Patienten in halbsitzender Position durchgeführt, um das Entstehen unscharfer Bilder durch „Verwackeln“ in stehender Position zu vermeiden. Der Patient sitzt mit 30° nach hinten geneigtem Oberkörper am Rand des Röntgen-Tisches. Die flach am Tisch liegende Röntgen-Kassette liegt dem Gesäß des Patienten an. Die Ausrichtung des Zentralstrahls erfolgt in kraniokaudaler Richtung auf das Glenohumeralgelenk (> Abb. 5-5a).

Aus dieser Aufnahme ist ebenfalls die genaue Position des Humeruskopfs im Bezug zur Gelenkpfanne ersichtlich (Bloom und Obata 1967). Im Gegensatz zur Skapula-Y-Aufnahme kommen in der Velpeau-Einstellung Gelenkpfanne und die Tubercula weitgehend überlagerungsfrei und somit deutlich besser zur Geltung (> Abb. 5-5b und c). Die



Abb. 5-5 Velpeau-Aufnahme.

a: Der Patient sitzt am Röntgen-Tisch, der Oberkörper ist ca. 30° nach hinten geneigt (rechts: mit Verband).
b: Velpeau-Aufnahme bei subkapitaler Oberarmfraktur mit geringer Dislokation und Achsenabweichung.
c: Velpeau-Aufnahme nach operativer Versorgung einer Oberarmkopffraktur mit Frakturprothese. Die Lagebeziehung von Prothesenkopf und Pfanne sowie die korrekte Position der Tubercula sind gut zu beurteilen.

durch den Abstand der Röntgen-Kassette zur Schulter bedingte Vergrößerung spielt in der Beurteilbarkeit dieser Aufnahme keine Rolle.

5.3 Röntgen-Zielaufnahmen zur präoperativen Abklärung von Schulterluxationen

Hill-Sachs- und Bankart-Läsionen stellen sog. sekundäre Läsionen im Rahmen einer Erstluxation am Humeruskopf bzw. der Gelenkpfanne dar.

Die dorsolateral am Oberarmkopf gelegene **Hill-Sachs-Läsion** (Hill und Sachs 1940) ist eine, durch den scharfen vorderen Pfannenrand nach dem Austritt des Kopfes aus der Pfanne entstandene Impressionsfraktur.

Bankart-Läsionen (Bankart 1923) finden sich am vorderen unteren Pfannenrand. Das Verletzungsausmaß reicht von einer isolierten Weichteilverletzung, die Labrum, Kapsel oder Knorpel betrifft, bis hin zu Erosionen und knöchernen Abrissfrakturen des Pfannenrandes.

Diese Läsionen lassen sich auf den Standardaufnahmen kaum zufrieden stellend zur Darstellung bringen. Spezielle Röntgen-Zielaufnahmen ermöglichen die Abbildung der Hill-Sachs- als auch der knöchernen Bankart-Läsion.

5.3.1 Aufnahmetechniken zur Darstellung der Hill-Sachs-Läsion

Für die zuverlässige Darstellung und räumliche Beurteilung der Hill-Sachs-Läsion benötigt man Aufnahmen in zwei Ebenen: die **ventrodorsale 60°-Innenrotationsaufnahme** und die **Pfannenprofilaufnahme nach Bernageau**, die auch zur Darstellung des vorderen Pfannenrandes verwendet wird. Diese Aufnahmen erlauben die Beurteilung der Defektgröße bzw. deren Darstellung als Hill-Sachs-Quotient. Läsionen bis $1,5 \text{ cm}^3$ werden als Grad-I-, bis $2,5 \text{ cm}^3$ als Grad-II- und über $2,5 \text{ cm}^3$ als Grad-III-Defekte klassifiziert (Kralinger et al. 2002; > Abb. 5-6).

Ventrodorsale 60°-Innenrotationsaufnahme

Durch die Innenrotation des Oberarms wird die dorsolateral am Oberarmkopf gelegene Impression profilgebend. Die Abbildung erfolgt in ihrer Längsausdehnung (> Abb. 5-7).

Eine Innenrotation von 60° gilt als Rotationsstellung der Wahl, um eine Hill-Sachs-Läsion am besten zur Darstellung zu bringen (Resch et al. 1985).



Abb. 5-6 Beispiel für die Berechnung des Ausmaßes des Hill-Sachs-Defektes mit Hilfe der 60°-Innenrotationsaufnahme (a) und der Pfannenprofilaufnahme (b).

Technik. Der Patient wird im Stehen mit seiner Frontalebene im rechten Winkel zur Röntgen-Röhre positioniert. Der im Ellenbogen 90° flektierte Unterarm ist 60° nach innen rotiert. Der Zentralstrahl wird 20° nach kaudal geneigt und auf den Oberarmkopf ausgerichtet.



Abb. 5-7 Ventrodorsale 60°-Innenrotationsaufnahme; Darstellung der Hill-Sachs-Läsion (Pfeil) in ihrer Längsausdehnung.

5.3.2 Darstellung des vorderen unteren Pfannenrands

Der nativradiologische Nachweis einer knöchernen Bankart-Läsion erfordert eine isolierte Darstellung des vorderen unteren Pfannenrands. Die axiale Aufnahme als Standardeinstellung ermöglicht zwar eine gute Beurteilbarkeit der Kopf-Pfannen-Beziehung, erfüllt aber nicht das Kriterium der exakten Darstellung des vorderen unteren Pfannenrands – bedingt durch eine Überlagerung des vorderen oberen mit dem vorderen unteren Rand der Gelenkpfanne.

Zwei spezielle Einstelltechniken – die Pfannenprofilaufnahme nach Bernageau und die West-Point-View – stehen dem Untersucher zur Beurteilung des vorderen unteren Pfannenrands zur Verfügung.

Itoi (Itoi et al. 2000) hat in einer Laborstudie die Darstellung und Beurteilung des vorderen Pfannenrands mit Nativ-Röntgen und CT untersucht bzw. die Untersuchungsmethoden miteinander verglichen. Hierbei verwendete er zur konventionellen radiologischen Untersuchung die axiale Aufnahme und die West-Point-View zur Beurteilung des Pfannenrands hinsichtlich eines Pfannendefektes. Während mit der axialen Aufnahme Pfannendefekte nur sehr ungenau nachgewiesen werden konnten, waren im

Gegensatz dazu mit der West-Point-View die Defekte darstellbar. Somit erwies sich diese Untersuchungstechnik zur zuverlässigen Beurteilung des vorderen unteren Pfannenrands als geeignet. Die CT war erwartungsgemäß der nativradiologischen Untersuchung überlegen.

Pfannenprofilaufnahme

Bernageau (Bernageau et al. 1976) ließ für diese axiale Aufnahme den Patienten den Arm maximal bis zur Luxationsgrenze anheben, um auf diese Weise den vorderen unteren vor den vorderen oberen Pfannenrand treten zu lassen. Diese nicht ganz einfache und ohne Luxationsrisiko durchzuführende Aufnahme wurde an unserer Klinik modifiziert (Resch et al. 1985). Allerdings verliert diese doch aufwendige Technik angesichts der zunehmenden Anwendung der CT an Bedeutung und wird daher nur noch der Vollständigkeit halber angeführt.

Technik. Der Patient liegt auf dem Rücken, der Oberarm ist etwa 70 bis 80° abduziert. Die Röntgen-Kassette liegt der Schulter kranial epaulettenartig an, wobei der Kopf aus Platzgründen zur Gegenseite geneigt ist. Der Strahlengang ist kaudokranial, wobei der Zentralstrahl genau in die Axilla zielt. Der Ellenbogen wird 90° gebeugt und der Arm in 30° Außenrotation gelagert.

Unmittelbar vor der eigentlichen Pfannenprofilaufnahme erfolgt bei gleicher Lagerung die Durchführung einer a.p. Aufnahme, auf der nun der Winkel zwischen Oberarmschaft und Pfannenebene bestimmt wird. Der Einstrahlwinkel für die eigentliche Pfannenprofilaufnahme entspricht diesem Winkel, wobei der eine Schenkel durch den Oberarm des Patienten gegeben ist.

West-Point-View

Die exakte Darstellung des vorderen unteren Pfannenrands ist Ziel dieser Einstelltechnik (Rockwood 1990, Rokous et al. 1972).

Technik. Der Patient wird mit 90° abduziertem Oberarm in Bauchlage auf dem Röntgen-Tisch positioniert. Der ipsilaterale Unterarm ist im Ellenbogen flektiert und hängt über den Tischrand. Ein 7 bis 8 cm starkes Brettchen (oder Polster) wird unter der Schulter positioniert. Der Kopf des Patienten wird zur kontralateralen Seite geneigt und die Röntgen-Kassette der Schulter kranial angelegt. Der Zentralstrahl wird in kraniokaudaler Richtung auf die Axilla ausgerichtet, wobei dieser einen nach unten und zur Mitte offenen Winkel von 25° aufweist (> Abb. 5-8a und b).



Abb. 5-8 West-Point-View: Ein Polster wird unter die Schulter gelegt und die Röntgen-Röhre um 25° zur Tischachse nach kraniokaudal (a) und 25° zur Wirbelsäulenachse (weiße Linie) nach lateral geschwenkt (b).

5.4 Röntgen-Zielaufnahmen zur Abklärung pathologischer Veränderungen im Subakromialraum

Pathologische Veränderungen der knöchernen Begrenzungen des subakromialen Gleitraumes gelten oftmals als Ursachen für das Auftreten des häufigsten Schmerzsyndroms des Schultergelenkes, dem Impingement-Syndrom.

Die nativradiologische Abklärung erfolgt mittels spezieller Zielaufnahmen zusätzlich zu den Standardeinstellungen. Es werden Veränderungen von Akromion und AC-Gelenk entsprechend der kranialen Begrenzung des Subakromialraums bzw. Tuberculum majus und minus als Insertionsareale der Sehnen der Rotatorenmanschette dargestellt. Bereits Standardprojektionen erlauben Rückschlüsse auf das Vorliegen von subakromialen Pathologien: Das in der a.p. Aufnahme ersichtliche Höbertreten des Oberarmkopfs beim Vorliegen einer kompletten superioren Rotatorenmanschettenruptur oder ebenfalls aus der a.p.

Einstellung erkennbare Hinweise auf eine Läsion der Rotatorenmanschette im Sinn von Sklerosierung im Bereich des Tuberculum majus oder des Akromions (> Abb. 5-9a und b).

MERKE

Zur Darstellung subakromialer Veränderungen kommen in der Regel drei spezielle Einstelltechniken zur Anwendung: Die Outlet-View nach Morrison und Bigliani, die a.p. und die axiale Aufnahme.

5.4.1 Outlet-view (Supraspinatustunnel-Aufnahme) nach Morrison und Bigliani

Anhand dieser Aufnahme lassen sich die Krümmung des Akromions, Sehnenverkalkungen und Osteophyten insbesondere an der Akromionspitze sehr gut erkennen und beurteilen (Bigliani et al. 1982, Morrison und Rosen 1989).



Abb. 5-9

a: Schulter-a.p.-Aufnahme in Standardprojektion: subakromiale Sklerosierung (eyebrow sign) als Hinweis auf eine Rotatorenmanschettenpathologie.
b: Schulter-a.p.-Aufnahme in Standardprojektion: fortgeschrittene Cuff-Arthropathie mit Aufhebung des subakromialen Raumes und ausgedünntem Akromion.

Technik. Der Patient wird im Stehen mit analog zur Skapula-Y-Aufnahme 60° zur Kassette aufgedrehtem Oberkörper positioniert. Die Ausrichtung des Zentralstrahls erfolgt 15° nach kaudal gerichtet, in Richtung des AC-Gelenks (> Abb. 5-10a).

Die Einteilung der verschiedenen **Akromiontypen** nach Bigliani (Bigliani et al. 1982) erfolgt anhand ihrer unterschiedlichen Krümmungen:

- Typ I (> Abb. 5-10b): flaches Akromion
- Typ II (> Abb. 5-10c): leicht nach kaudal gebogenes Akromion
- Typ III (> Abb. 5-10d): stark nach kaudal gerichtete Akromionspitze.

Als prädisponierend für die Entstehung eines Impingement-Syndroms bzw. einer Rotatorenmanschettenruptur gelten Krümmungen vom Typ II und insbesondere vom Typ III. Die radiologische Unterscheidung zwischen Typ I und Typ II kann sich schon bei minimaler Zentralstrahlabweichung als schwierig erweisen. Daher sollte von einer Überbewertung dieser Einteilung Abstand genommen werden. Eine eindeutige pathologische Potenz wird jedoch

dem Typ-III-Akromion zugeschrieben. Meist mit einer kaudalen osteophytären Ausziehung an der Spitze (siehe > Abb. 5-10d) versehen, kommt es zu einer mechanischen Einengung der im Subakromialraum gleitenden Rotatorenmanschettensehnen. Weiterhin ermöglicht die Outlet-View die Darstellung von Osteophyten im Bereich des AC-Gelenks sowie die bessere Beurteilung der Lokalisation von Verkalkungen in den Sehnen der Rotatorenmanschette (Kohn et al. 1992).

Aufgrund der sehr guten Beurteilbarkeit des Resektionsergebnisses wird diese Einstelltechnik auch zur postoperativen Kontrolle nach offener oder arthroskopischer Akromioplastik empfohlen (Morrison und Rosen 1989; > Abb. 5-10e).

5.4.2 Anteroposteriore Aufnahme nach Rockwood

Als Ziel dieser Einstelltechnik gilt es Osteophyten im Bereich des akromialen Vorderrands sowie des AC-Gelenks darzustellen (Kilcoyne et al. 1989).



Abb. 5-10

- a: Outlet-view-Aufnahmetechnik: Patient stehend, Oberkörper wie bei der Skapula-Y-Aufnahme um 60° aufgedreht. Zentralstrahl entlang der Spina scapulae 15° nach kaudal geneigt.
 b: Outlet-View: Typ-I-Akromion.
 c: Outlet-View: Typ-II-Akromion.
 d: Outlet-View: Typ-III-Akromion mit kaudalem Osteophyten an der Akromionspitze.
 e: Outlet-View nach Akromioplastik. Resektionsergebnis (Pfeile) gut beurteilbar.

Technik. Der Patient wird im Stehen analog zur konventionellen a.p. Aufnahme positioniert. Der Zentralstrahl wird jedoch 30° nach kaudal auf die Akromionspitze ausgerichtet (> Abb. 5-11a).

Osteophyten am Akromionvorderrand können in der Rockwood-a.p.-Aufnahme, weniger gut in der a.p. Standardaufnahme dargestellt werden.

Der lateralen Klavikula kaudal anliegende Osteophyten sind im Gegensatz zur Outlet-view-Aufnahme in der Rockwood-a.p.-Aufnahme sehr gut einsehbar (> Abb. 5-11b). Daher erscheint die Durchführung dieser Aufnahmetechnik zusammen mit der Outlet-view-Aufnahme als Standardprojektion im Rahmen der radiologischen Abklärung eines Impingement-Syndroms als empfehlenswert.



Abb. 5-11
 a: Rockwood-a.p.-Aufnahme: Zentralstrahl auf die Akromionvorderkante und 30° nach kaudal gerichtet.
 b: Isolierter Osteophyt an der Unterfläche der lateralen Klavikula (Pfeil).

5.4.3 Os acromiale im Röntgen-Bild

(Habermeyer et al. 2006)

Das Os acromiale ist das Resultat einer fehlenden Verknöcherung eines der Ossifikationszentren des Akromions zu dessen Nachbarzentrum. Es werden 4 Typen beschrieben (> Abb. 5-12a):

- Typ I: fehlende Verknöcherung zwischen Meso- und

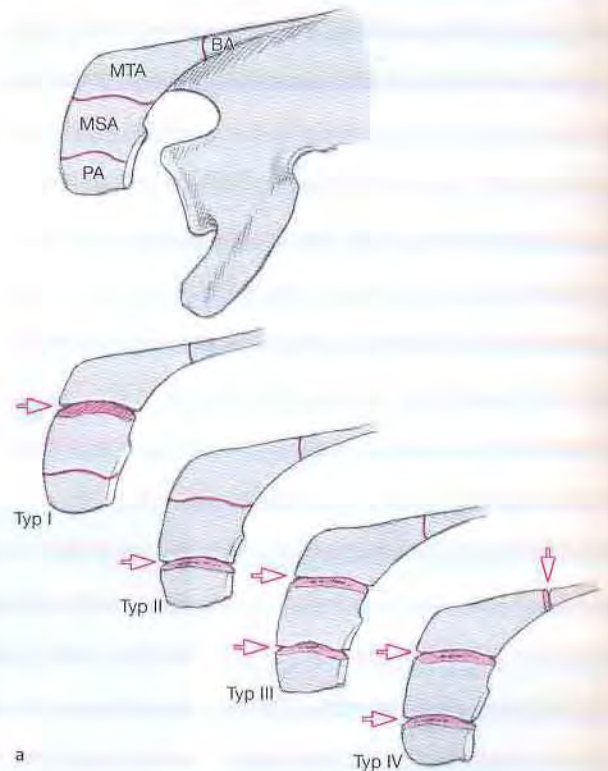


Abb. 5-12
 a: Typen des Os acromiale.
 b: „Typisches“ Os acromiale (Pfeile).

Metaakromion, häufigster Typ daher als „typisches“ Os acromiale bezeichnet (> Abb. 5-12b)

- Typ II: fehlende Verknöcherung zwischen Prä- und Mesoakromion
- Typ III: fehlende Verknöcherung zwischen Prä- und Mesoakromion als auch zwischen Meso- und Metaakromion
- Typ IV: fehlende Verknöcherung zwischen Prä- und Mesoakromion und zwischen Meso- und Metaakromion als auch zwischen Meta- und Basiakromion.

5.4.4 Tendinosis calcarea im Röntgen-Bild

Ein Kalkdepot in der Rotatorenmanschette (meist in der Supraspinatussehne) kann nativradiologisch im a.p. Strahlengang und in der Outlet-View sicher dargestellt, lokalisiert und klassifiziert werden. Kalkdepots in der Infrapinatus- oder Subskapularsehne können durch Innen- bzw. Außenrotationsaufnahmen nachgewiesen werden. Ergänzend wird routinemäßig eine Ultraschalluntersuchung durchgeführt.

Als gebräuchlichste radiologische Einteilungen gelten die Klassifikationen nach Gärtner (Gärtner und Simons 1990) bzw. Molè (Molè et al. 1997).

Gärtner unterscheidet drei Typen (> Abb. 5-13a):

- Typ I: das Depot ist radiologisch scharf begrenzt, makroskopisch soll es trockener Zahnpasta entsprechen (> Abb. 5-13b)
- Typ II: liegt zwischen Typ I und III und ist entweder unscharfrandig und solide oder scharfrandig und transparent (> Abb. 5-13c)

- Typ III: das Depot ist unscharf begrenzt, transparent und teils wolkig.

Die Klassifikation von Molè entspricht in etwa der von Gärtner, es werden vier Typen unterschieden:

- Typ A: dicht, homogen und glattrandig begrenzt
- Typ B: gelappt, segmentiert, aber dicht, homogen und glattrandig
- Typ C: wolkig, inhomogen, die Ränder nicht eindeutig abgrenzbar
- Typ D: dystrophe Verkalkung am Ansatz der Rotatorenmanschette.

Die Zuordnung des radiologischen Bildes des Kalkdepots zu einem bestimmten Stadium, wie dies von Gärtner versucht wurde, gilt als unsicher und wurde von der französischen Arbeitsgruppe um Molè weitgehend widerlegt.

5.5 Röntgen-Zielaufnahme zur Darstellung des AC-Gelenks

Das AC-Gelenk ist in der echten Standard a.p. Projektion von der Spina scapulae überlagert, der Gelenkspalt somit nicht einsehbar. Weist also die klinische Untersuchung auf eine Verletzung im Bereich des AC-Gelenks hin, muss auf spezielle Einstelltechniken zurückgegriffen werden.

Die Aufnahmetechnik nach Zanca (1971) gilt hier als Standardeinstellung der Wahl. Eine Röntgen-Aufnahme zweiter Ebene – z. B. axiale Aufnahme – empfiehlt sich zur Interpretation der genauen Lage der lateralen Klavikula in der Transversalebene.



Abb. 5-13

a: Tendinosis calcarea-Typen.

b: Tendinosis calcarea, Typ I nach Gärtner, Typ A nach Molè.

c: Tendinosis calcarea, Typ II nach Gärtner, Typ B-C nach Molè.

So imponiert eine Rockwood-Typ-IV AC-Gelenksluxation in der Zanca-Aufnahme lediglich als eine geringe Kranialverschiebung, die einer Bagatellisierung als Rockwood-Typ-II-Verletzung mit konsekutiver Fehlbehandlung unterliegen könnte, während in der axialen Aufnahme eine transversale Dislokation der lateralen Klavikula in den M. trapezius sichtbar wird und somit eine Operationsindikation besteht.

Technik Zanca-Aufnahme. Der Patient wird wahlweise im Stehen oder sitzend mit dem Rücken flach anliegender Röntgen-Kassette positioniert. Der Zentralstrahl wird 10 bis 15° nach kranial auf das AC-Gelenk ausgerichtet (> Abb. 5-14a).

Die Breite des AC-Gelenkspalts und die Stellung der lateralen Klavikula werden in dieser Projektion beurteilt. Indirekte Hinweise auf eine korakoklavikuläre oder akromioklavikuläre Bandverletzung können so durch die Darstellung einer höher getretenen lateralen Klavikula oder eines verbreiterten Gelenkspaltes geliefert werden. Die Zanca-Einstellung ermöglicht des Weiteren eine Darstellung von Osteolysen und Arthrosen im AC-Gelenkbereich (> Abb. 5-14b und c).

MERKE

Wird eine Belastungsaufnahme durchgeführt, so empfiehlt sich der Seitenvergleich um einen habituellen Klavikulahochstand nicht fehlzuinterpretieren.

Dabei werden beide Arme mit ca. 5 kg belastet, wobei die Gewichte über Schlaufen am Handgelenk befestigt werden. Zur Beurteilung des korakoklavikulären Abstandes, der normalerweise sowohl ohne als auch mit Belastung 11 bis 13 mm beträgt, empfiehlt sich die Panoramaaufnahme im p.a. Strahlengang, bei der beide AC-Gelenke auf einer Platte dargestellt und beurteilt werden können. Bei Einzelaufnahmen kann durch eine ungleiche Einstellung der Röntgen-Röhre der korakoklavikuläre Abstand fehlinterpretiert werden. (> Abb. 5-14d).

5.6 Zielaufnahme zur Abklärung des SC-Gelenks

Die von Rockwood (1990) beschriebene Einstelltechnik zur nativradiologischen Beurteilung des Sternoklavikulär(SC)gelenks gilt als die aussagekräftigste (> Abb. 5-15a).

Technik. Der Patient wird mit dem Körper seitlich anliegenden Armen und der Tischoberfläche zugewandten Handflächen in Rückenlage positioniert. Die Röntgen-Kassette wird unter die Schulter und den Nacken gelegt. Die Ausrichtung des Zentralstrahles erfolgt – 40° zur Vertikalen geneigt – auf das obere Ende des Brustbeins. Der Abstand Röntgen-Röhre-Kassette entspricht bei Erwachsenen ca. 140 cm.

Beide SC-Gelenke können so im Seitenvergleich dargestellt werden. Pathologien im Bereich der SC-Gelenke wie



Abb. 5-14

a: Zanca-Aufnahme des AC-Gelenks: Zentralstrahl 15° nach kranial auf das AC-Gelenk gerichtet.
b und c: Zanca-Aufnahme des AC-Gelenks: Arthrose (b) und Osteolysen (Pfeil) der lateralen Klavikula (c).
d: Panoramaaufnahme p.a. bei AC-Gelenksluxation Tossy II bis III.

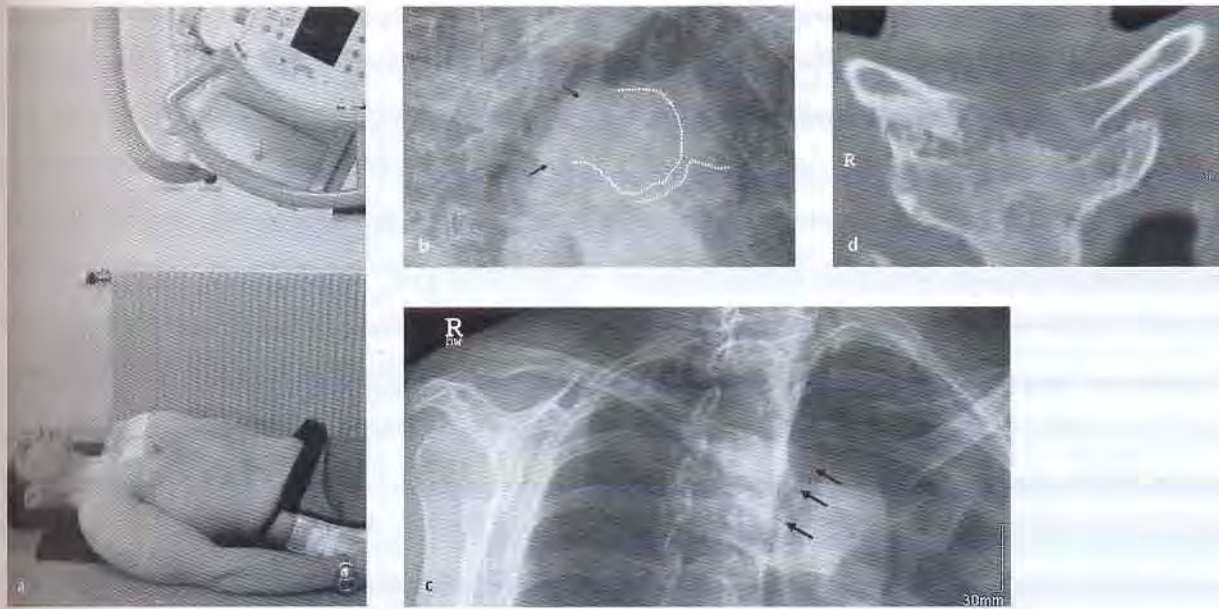


Abb. 5-15 SC-Gelenkaufnahme nach Rockwood.

a: Zentralstrahl 40° nach kranial auf beide SC-Gelenke gerichtet.

b: Rechtes SC-Gelenk mit medialer Klavikulafraktur (Pfeile), dazugehöriges CT-Bild > **Abbildung 5-23**.

c und d: SC-Gelenkaufnahme auf rechts eingestellt bei Morbus Friedrich (c) und entsprechendes CT-Bild (d)

Subluxationen, arthrotische Veränderungen sowie Frakturen des medialen Klavikulaendes lassen sich in dieser Projektion meist beurteilen (> **Abb. 5-15b**). Der Einsatz weiterführender bildgebender Diagnostik, wie einer konventionellen Tomographie oder CT, empfiehlt sich in der Abklärung spezieller Fragestellungen (> **Abb. 5-15c und d**).

5.6.1 Degenerative Erkrankungen des SC-Gelenks (Hiramuro-Shoji et al. 2003)

Degenerative Erkrankungen imponieren meist durch Schmerz, Schwellung, Überwärmung oder Instabilität ohne Trauma. Die meisten Erkrankungen zeigen einen benignen, selbstlimitierenden Verlauf; wichtig ist eine Abgrenzung zu traumatischen und v. a. neoplastischen Veränderungen. Die Behandlungsmöglichkeiten sind meist symptomatisch (NSAR), nur selten ist eine chirurgische Intervention (außer bei Infektion) indiziert. Sie werden oft lange nicht oder falsch diagnostiziert.

Sternoklavikuläre Hyperostose

Die Ätiologie der sternoklavikulären Hyperostose (SCH) ist unklar. Die meist bilateral im Erwachsenenalter geschlechtsunabhängig auftretende SCH ist charakterisiert durch eine Ossifikation und/oder Ankylose des SC-Gelenks und der medialen Rippen und kann bis zu einer Ankylose von Klavikula und Sternum führen. Die SCH ist in 10–30% mit

der Pustolosis palmaris et plantari (PPP) assoziiert. Sie wird in drei Typen klassifiziert:

- Typ I: milde Ossifikationen
- Typ II: fortgeschrittene Ossifikationen, auch im Zwischenraum zwischen Klavikula und erster Rippe
- Typ III: hyperostotisch mit Knochenformationen zwischen Sternum, Klavikula und kranialen Rippen.

Osteitis condensans

Relativ seltenes unilaterales Krankheitsbild, das v. a. Frauen zwischen 30 und 50 Jahren betrifft. Manche Autoren assoziieren die Erkrankung mit mechanischer Belastung des SC-Gelenks.

Radiologisch zeigt sich eine Auftreibung und Sklerosierung des medialen Klavikulaendes ohne periostale Begleitreaktion. Die Erkrankung bleibt auf die mediale Klavikula beschränkt, das SC-Gelenk ist nicht mitbeteiligt.

Neben anderen degenerativen Erkrankungen müssen ein Morbus Paget und insbesondere maligne Erkrankungen, wie das Osteoidosteom, das Sarkom und Metastasen differenzialdiagnostisch in Betracht gezogen werden.

Morbus Friedrich

Der Morbus Friedrich (> **Abb. 5-15c und d**) zeigt ein ähnliches Bild wie andere aseptische Knochennekrosen (Morbus Köhler, Morbus Kienböck u. a.), ist selten und betrifft meist Frauen.

Radiologisch zeigt sich ein unregelmäßig begrenztes SC-Gelenk mit Knochendefekten und -destruktion. Die Erkrankung schreitet über Monate, manchmal über Jahre fort, bis sie in ein asymptomatisches Stadium übergeht.

Tietze-Syndrom

Benigne, selbstlimitierende Erkrankung, die oft nur durch Ausschluss diagnostizierbar ist. In der Literatur sind viele Fälle beschrieben, wobei eine „Überdiagnostizierung“ möglich erscheint. Betroffen sind neben dem SC-Gelenk häufig die oberen Rippen. Radiologisch zeigen sich nur geringe Veränderungen mit Knorpelverdickung (CT/MRT) und geringen Verkalkungen. Die Blutsenkungsgeschwindigkeit ist leicht erhöht, mit einer Aspiration lässt sich eine Infektion ausschließen.

Arthrose des SC-Gelenks

Die Arthrose tritt meist isoliert bei älteren Frauen auf und zeigt eine relativ hohe Inzidenz. Radiologisch kommt es zu einer Gelenkspaltverschmälerung, subchondraler Sklerosierung, Zysten- und Osteophytenbildung an Sternum und am unteren Teil der medialen Klavikula.

Habituelle Subluxation des SC-Gelenks

Die habituelle Subluxation des SC-Gelenks wird meist bei Teenagern mit generalisierter Hyperlaxität beobachtet. Es kommt meist zu einer nichtschmerzhaften anterosuperioren Subluxation der medialen Klavikula bei Überkopfbewegungen, die sich beim Absenken des Armes selbst reponiert. Mit zunehmendem Alter nehmen die Subluxationen wieder ab.

5.6.2 Infektionen des SC-Gelenks

Eine spontane Schwellung mit einer zunehmenden Subluxation des SC-Gelenks kann Ausdruck einer bakteriellen Arthritis sein. Radiologisch kommt es zu erosiven Veränderungen der medialen Klavikula und des Manubrium sterni. Prädisponierende Faktoren der meist durch eine Bakteriämie verursachten Infektion sind: Drogenmissbrauch, AIDS, Alkoholkrankheit, aber auch eine rheumatoide Arthritis. Die Diagnose wird durch Erregernachweis gestellt, wobei eine Vielzahl von Erregern in Betracht kommt. Im Gegensatz zu den anderen beschriebenen Erkrankungen erfolgt hier die Therapie chirurgisch durch offenes Débridement.

5.7 Computertomographie der Schulter

Die komplexe Anatomie des Schultergürtels mit seinen verschiedenen Gelenken und prominenten Knochenstrukturen sowie die Neigung des Schulterblattes zur Frontalebene können die Darstellung von pathologischen Veränderungen und Skelettanomalien im konventionellen Röntgen durch Überprojektion erschweren. Die zum Teil aufwendige Anfertigung von Röntgen-Zielaufnahmen zur erweiterten Abklärung von Erkrankungen und Verletzungen des Schultergürtels lassen hier die konventionelle Röntgen-Technik mit der zunehmenden Etablierung der Computertechnik immer mehr in den Hintergrund treten.

MERKE

Kurze Untersuchungszeiten und schnelle Verfügbarkeit dieser Untersuchungsmethode bringen dem Chirurgen in kurzer Zeit wesentliche Informationen über die vorliegende Pathologie und erleichtern somit sowohl die Indikationsstellung als auch die präoperative Planung.

5.7.1 Lagerung

Der Patient wird in Rückenlage positioniert. Um Bewegungsartefakte zu reduzieren, werden Kopf und Knie unterpolstert und die Arme seitlich am Körper angelegt. Die früher gebräuchliche Lagerung der Schulter in einer definierten Außenrotation entfällt, da neue Abtastmechanismen im Spiral-CT und Multi-Slice-CT exakte zwei- und dreidimensionale Rekonstruktionen erlauben, die unabhängig von der Stellung der Schulter sind. Besonders strahlenexponierte Areale sollen im Sinne des Strahlenschutzes mit Blei abgedeckt werden.

5.7.2 Technik der Spiral- und Multi-Slice-CT

Heute kommt bei der CT nur noch die Spiral-CT und in den letzten Jahren vorwiegend die Multi-Slice-Technik zur Anwendung (Galanski und Prokop 1998). Der Vorteil der Spiral-CT-Untersuchung basiert auf einer kontinuierlichen Volumenerfassung und auf einer kurzen Scan-Zeit. Durch diese spiralenförmige Abtastbewegung werden Tischvorschub und Ort der Bildrekonstruktion entkoppelt. Dadurch lassen sich CT-Bilder an beliebiger Stelle errechnen, wobei die einzelnen Bilder beliebig überlappen können. Dies erlaubt die Untersuchung großer Volumina und die Anfertigung geringer Schichtdicken (1,25/3,75 HQ oder dünner), die zumindest auf eine Schichtdicke von 0,6 mm rückgerechnet werden können.

Bei der 2-D- bzw. 3-D-Bildverarbeitung werden die mit der CT erfassten Einzelschichten im Rechner zu einem Datenvolumen übereinander gestapelt, wobei das Datenvolumen in Volumenelemente (Voxel) eingeteilt wird.

Durch den im Spiral-CT überlappend gewonnenen Datensatz können Sekundärschnitte in beliebiger Richtung durch das Untersuchungsvolumen gelegt werden (MPR, multiplanare Reformatierung). Die Festlegung der Schnittrichtung einer MPR erfolgt interaktiv am Monitor anhand eines Referenzbildes (z. B. axiales Bild; > Abb. 5-16a).

3-D-Rekonstruktionen lassen sich je nach Fragestellung als **Surface-Technik (SSD)**, als **Maximumintensitätsprojektionen (MIP)** oder **Volume-rendering-Technik (VRT)** darstellen. Die VR-Technik erlaubt die Darstellung aller Strukturen entlang des Röntgen-Strahles, während bei den anderen Techniken das oberflächliche Voxel oder ein bestimmtes Voxel (meist Knochen) in einer tieferen Schicht ausgewählt wird. Bei der VR-Technik ist es möglich, Strukturen wie den Weichteilmantel, aber auch bestimmte Kno-

chen wie den Oberarmkopf „wegzurechnen“ und dadurch eine bessere Aufsicht auf darunterliegende Strukturen, wie etwa die Schultergelenkpfanne, zu erlangen (> Abb. 5-16b). Dieser Vorgang ist auch als Videosequenz (Cine Mode) animierbar und ermöglicht dem Betrachter eine plastische Vorstellung der Region bzw. der Pathologie.

Mit dieser CT-Technik lassen sich durch die Rekonstruktionsmöglichkeiten Frakturen insbesondere mit Gelenkbeteiligung oder komplexer Natur, wie Oberarmkopf- oder Skapulafrakturen, besser darstellen und klassifizieren, als mit konventionell-radiologischen Verfahren. Dadurch sind keine aufwendigen Spezialaufnahmen mehr notwendig.

MERKE

Da die 2-D- und 3-D-Rekonstruktionen nicht nur in allen gewünschten Ebenen, d.h. multiplanar möglich sind, sondern zusätzlich eine hohe Reproduzierbarkeit hinsichtlich Untersuchung und Untersucher haben, ist die CT jetzt schon fester Bestandteil der präoperativen Abklärung.

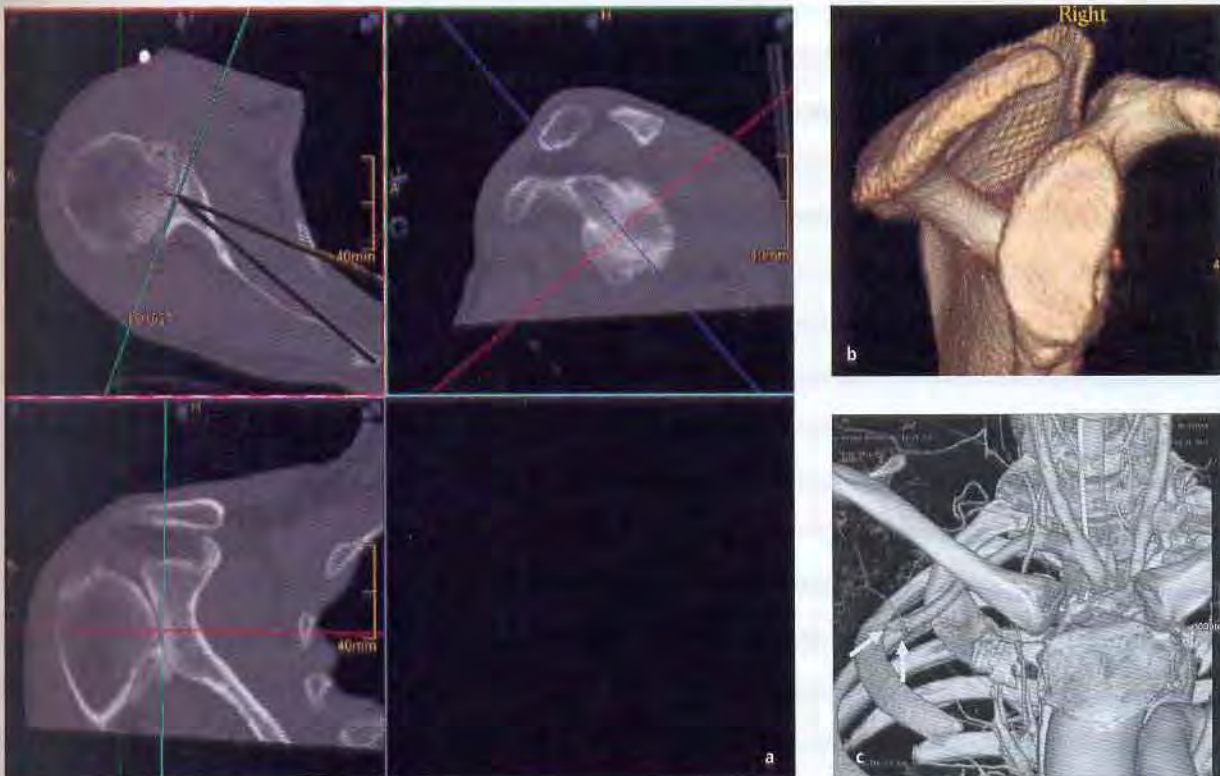


Abb. 5-16

a: Multiplanare 2-D-Reformatierung (MPR) bei Omarthrose zur präoperativen Bestimmung der Retroversion; dabei werden in den axialen und koronaren Reformatierungen Tangenten angelegt und wechselseitig nachkorrigiert, bis ein (schräg) sagittales En-face-Bild des Glenoids entsteht. Das Zentrum des Fadenkreuzes liegt dabei im Zentrum des inferioren Glenoids (Kreis), in der koronaren Reformatierung wird die Tangente in Längsrichtung des Glenoids gelegt und nachfolgend wieder wechselseitig nachkorrigiert.

b: 3-D-Volume-rendering-Technik (VRT): Darstellung des Glenoids (hier mit vorderem Pfannedefekt); der Oberarmkopf wurde weggerechnet, um freie Sicht auf das Glenoid zu erhalten.

c: CT-Angiographie des Schulter-Hals-Bereiches nach skapulothorakaler Dissoziation mit Abriss der A. subclavia (Pfeil).

Fortsetzung nächste Seite

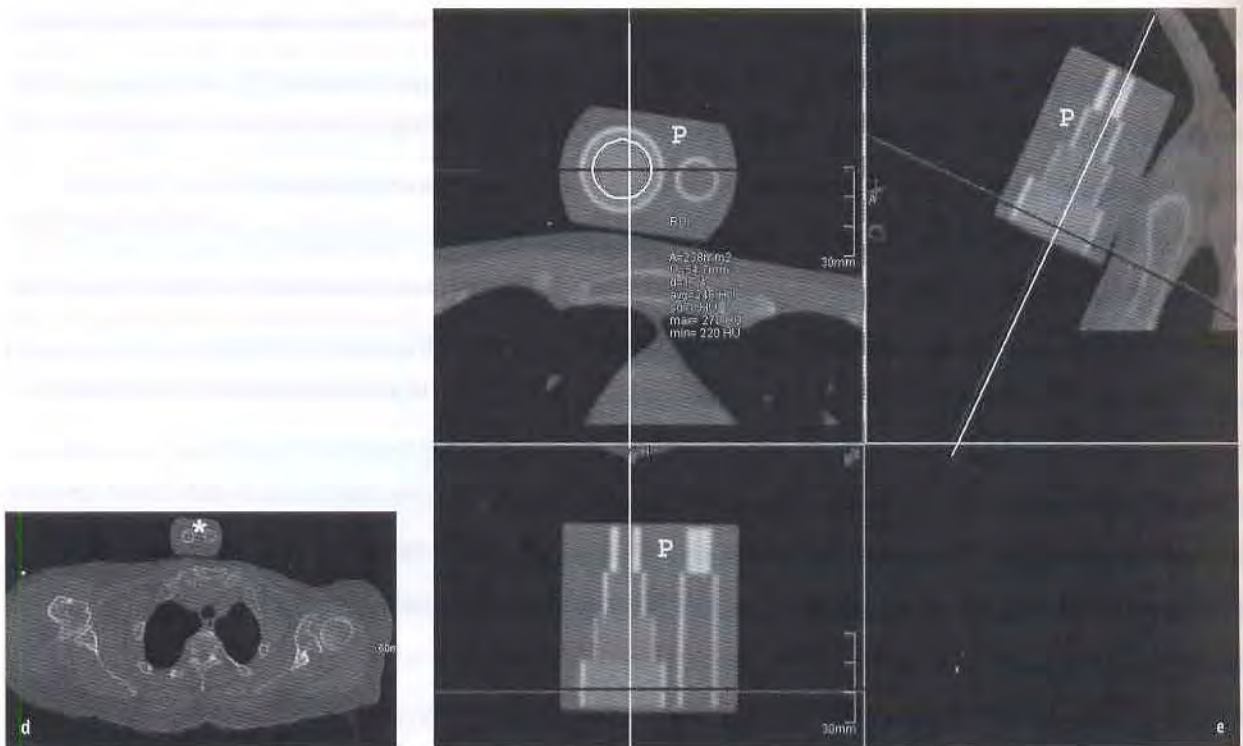
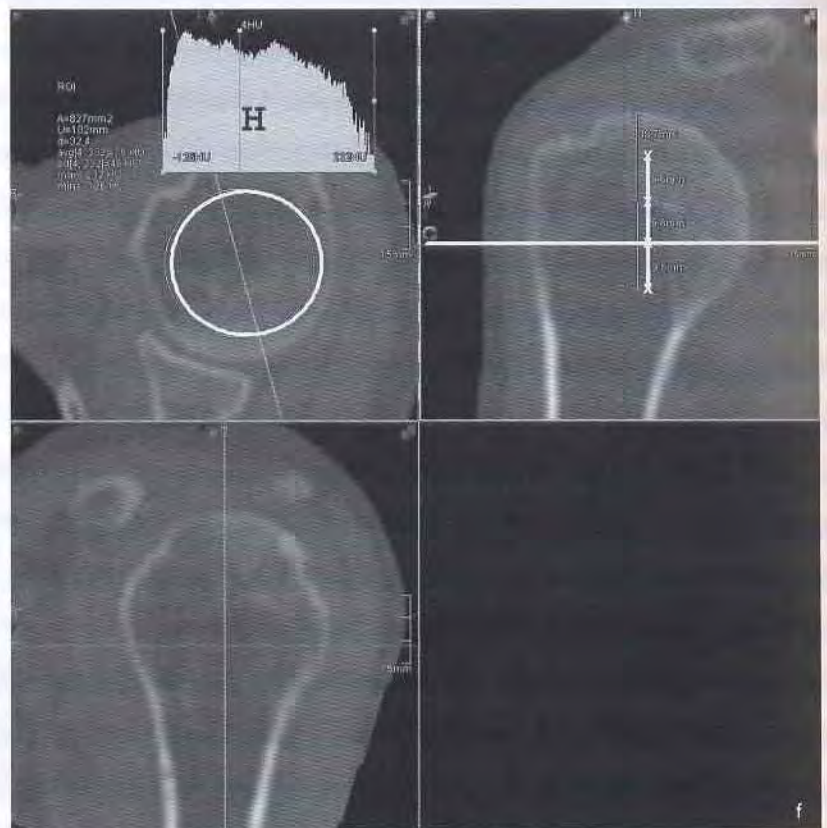


Abb. 5-16 Fortsetzung

d: Primäre axiale Schicht bei simultan aufgenommenen Schulter-CT mit Phantom (mit * markiert).

e: Kalibrierung: Bei der multiplanaren Reformatierung wird das Tangentenkreuz in Längsachse des Phantoms (P) in zwei Ebenen ausgerichtet, um eine exakte axiale Reformatierung zu erhalten. Anschließend werden die Dichtewerte in den einzelnen Bereichen des Phantoms ermittelt.

f: BMD-Messung: eine exakte axiale Reformatierung des Oberarmkopfs der unverletzten Seite wird durchgeführt und von kranial nach kaudal werden drei axiale Schnitte festgelegt. Ein Kreis definierter Größe wird dabei in das Zentrum jedes Schnittes gelegt (auf der Abbildung weiße Linie durch die kaudalste Schicht) und dabei über Ermittlung der Hounsfield-Einheiten die lokale Knochendichte (BMD) bestimmt.



Indikationen sind nicht nur die präoperative Planung komplexer Gelenkfrakturen, sondern auch Schulterinstabilitäten mit der Möglichkeit der exakten Quantifizierung von Glenoiddefekten, sowie die präoperative Planung elektiver Schulterprothesen bei Omarthrose mit Darstellung und Vermessung der arthrotisch veränderten Gelenkpfanne.

Der Einsatz von i.v. verabreichtem Kontrastmittel bei der CT-Angiographie dient dem Nachweis von Gefäßverletzungen (> Abb. 5-16c), während die intraartikuläre Applikation von Kontrastmittel, wie dies bei der MRT-Arthrographie gebräuchlich ist, heute nur noch selten notwendig wird. Auch die früher angewandten Doppelkontrastverfahren (Resch et al. 1986) im Rahmen der Abklärung von Schulterinstabilitäten zur Darstellung der Weichteilstrukturen im Glenohumeralgelenk werden von den Autoren nicht mehr durchgeführt und sollen hier nur der Vollständigkeit halber erwähnt werden. Zur Darstellung von Weichteilverletzungen bei Schulterinstabilitäten können die MRT und, wie an der Klinik der Autoren, die diagnostische Arthroskopie verwendet werden.

Im verwendeten Untersuchungsprotokoll wird die CT, ermöglicht durch die Multi-Slice-Technik, immer simultan, d. h. in einem Untersuchungsgang an beiden Schultern durchgeführt, wobei immer ein Phantom zur Kalibrierung der Knochendichte mitgeschichtet wird (> Abb. 5-16d).

Für die Knochendichtebestimmung wird die lokale BMD (Bone Mineral Density) gemessen (> Abb. 5-16e und f). Dadurch besteht die Möglichkeit (ohne Strahlenmehrbelastung), die frakturierte bzw. durch Instabilität oder

Arthrose veränderte Schulter mit der unverletzten, gesunden Schulter zu vergleichen.

Die CT-unterstützte Navigation von Operationen wird in Zukunft den Stellenwert der CT in der Schulterchirurgie weiter erhöhen.

5.7.3 Indikationen zur CT-Untersuchung

Mehrfragmentfrakturen des Oberarmkopfs

Die Diagnostik und Klassifizierung einer Oberarmkopf-fraktur ist durchaus am nativen Röntgen-Bild in zwei Ebenen möglich (Hertel 2005; > Abb. 5-17a und b). Trotzdem können bei dislozierten Oberarmkopffrakturen oft erst durch die CT die genaue Lagebeziehung der Fragmente und der Zustand der Kopfkalotte – für das weitere therapeutische Vorgehen essenzielle Parameter – festgestellt werden. Bei Luxationsfrakturen kann bei entsprechendem Verdacht durch eine CT-Angiographie eine eventuelle Mitverletzung der großen Gefäße zur Darstellung gebracht werden (> Abb. 5-17c).

Am CT-Bild der unverletzten Seite lässt sich der Knochendichtegehalt (lokale BMD) des Oberarmkopfs messen und damit können Rückschlüsse in Bezug auf eventuelle Möglichkeiten der Implantatverankerung im Oberarmkopf gezogen werden (> Abb. 5-16e und f). Weiterhin kann die unverletzte Seite zur präoperativen Planung einer primären Frakturprothese hinsichtlich Kopfgröße und Implantationshöhe herangezogen werden. 2-D-Rekonstruk-



Abb. 5-17

a und b: Viersegmentfraktur des Humeruskopfs mit Dislokation von Tuberculum majus (Tmj) und minus (Tmi) in der a.p. Aufnahme (a) und Dislokation der Kopfkalotte (K) in der axialen Aufnahme (b). Es lassen sich die Frakturlinien zwischen Kalotte und Schaft (schwarze Linie), Kalotte, Schaft und Tmin (gepunktete Linie) und Kalotte, Schaft und Tmj (gestrichelte Linie) bestimmen.

c: CT-Angiographie bei Luxationsfraktur des Oberarmkopfs zum Ausschluss einer Gefäßverletzung oder -kompression.

tionen der verletzten Schulter geben Auskunft über den Dislokationsgrad und die Beschaffenheit der Fragmente, insbesondere der Tubercula; zusätzlich über die Achsenfehlstellung und den Dislokationsgrad der Kalotte zum Schaft und die Länge des an der Kalotte verbliebenen Kalkarfragments, was wiederum Auskunft über die Durchblutungssituation und das Nekroserisiko des Kalottenfragments gibt.

Abschließend gewinnt der Chirurg durch die 3-D-Rekonstruktion einen plastischen Eindruck über die „Persönlichkeit“ der Fraktur, insbesondere Dislokationsgrad der Fragmente und Zustand und Dislokation der Kopfkalotte (> Abb. 5-18a bis h). Diese räumliche Vorstellung der Fraktursituation ist für die gedeckte, aber auch für die heute angewendeten minimalinvasiven offenen Rekonstruktionsverfahren absolut notwendig. Wie Resch und Mitarbeiter



Abb. 5-18 Analyse einer komplexen proximalen Oberarmkopffraktur. a und b: Nativradiologisches Bild a.p. (a) und transthorakal (b): eine Klassifizierung ist schwer möglich. c: Multiplanare 2-D-Rekonstruktion: Tuberculum-majus- und -minus-Fraktur (weiße Pfeile) und Headsplit-Komponente (schwarze Pfeile) in der axialen, koronaren und sagittalen Schicht. d und e: 3-D-Volume-rendering-Technik: Die Dislokation der Tubercula und v.a. die Art der Headsplit-Fraktur lässt sich plastisch erfassen. Ansicht von ventral (d), dorsal (e), nach Exartikulation (f) und von oben (g). Tuberculum majus und minus (weiße Pfeile), Headsplit-Fraktur (schwarze Pfeile). Beachte: In der Sicht von oben ist zu erkennen, dass die Kalotte in drei Teile zerbrochen ist (kleine Pfeile).

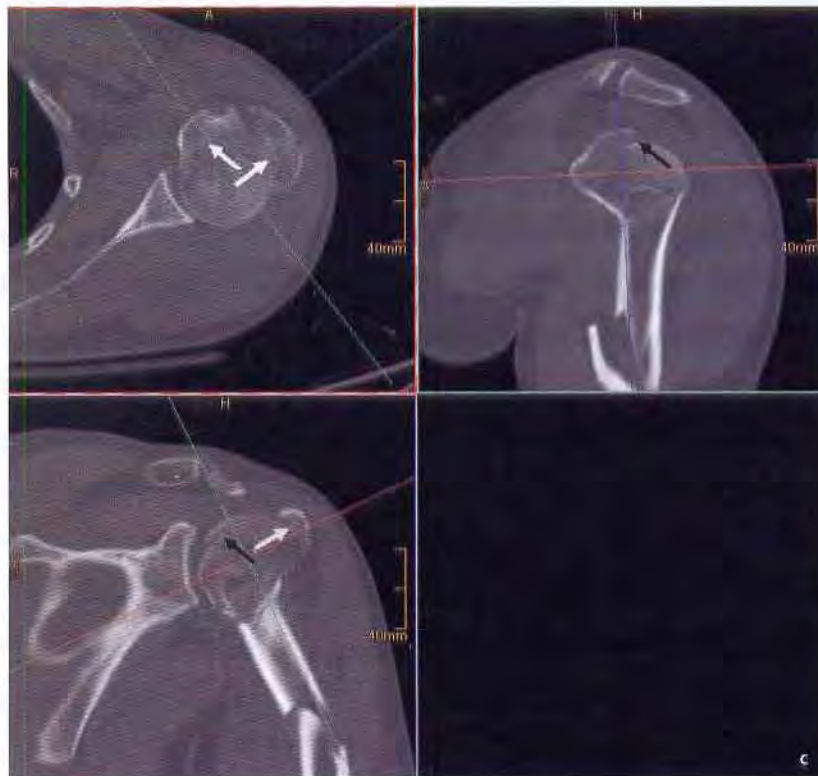




Abb. 5-18 Fortsetzung

f und g: 3-D-Volume-rendering-Technik: Die Dislokation der Tubercula und v. a. die Art der Headsplit-Fraktur lässt sich plastisch erfassen. Ansicht von ventral (d), dorsal (e), nach Exartikulation (f) und von oben (g). Tuberculum majus und minus (weiße Pfeile), Headsplit-Fraktur (schwarze Pfeile). Beachte: In der Sicht von oben ist zu erkennen, dass die Kalotte in drei Teile zerbrochen ist (kleine Pfeile).

h: Postoperatives Ausheilungsbild nach Rekonstruktion und Osteosynthese.

(Aschauer et al. 2007) in ihren Überlegungen zur gedeckten Versorgung von Oberarmkopffrakturen dargelegt haben, ist die Fraktursituation auch aus dem Nativbild abzulesen, die notwendigen Repositionsmanöver sind ableitbar, aber im 3-D-Bild, das in alle Ebenen zu drehen und zu betrachten ist, leichter vorstellbar.

Skapulafrakturen

Die konventionellen Röntgen-Aufnahmen geben bei Skapulafrakturen (Wiedemann 2004) häufig ungenügend Aufschluss über das Vorliegen und das Ausmaß einer eventuellen Gelenkbeteiligung (> Abb. 5-19a und b). Insbesondere bei Pfannenhalsfrakturen (Typ C) lassen sich Torsionsfehlstellungen nur schlecht darstellen. Daher ist es in diesen Fällen sinnvoll, eine CT durchzuführen, da sich daraus bedeutende Konsequenzen hinsichtlich der Indikationsstellung zur operativen Versorgung und der Wahl des operativen Zugangsweges ergeben (> Abb. 5-19c bis f).

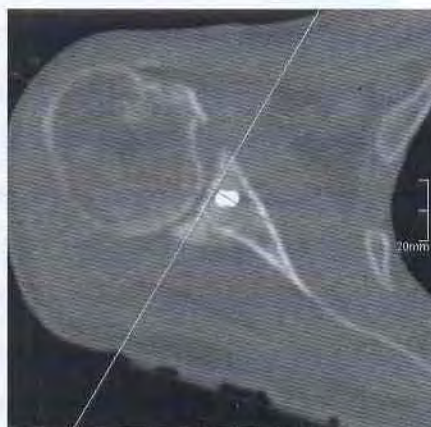
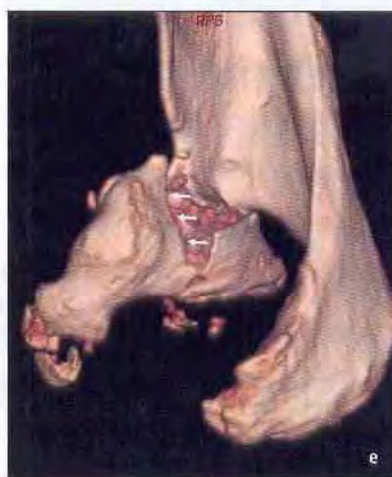
Durch eine 3-D-Rekonstruktion stellt sich jedes Detail und oft erst hier die komplexe Morphologie der Fraktur dar.

Einen vorderen deltoideopektoralen, eventuell auch arthroskopischen oder arthroskopisch-assistierten Zugang wählt man bei vorderen Pfannenhalsfrakturen (D1) oder unkomplizierten Querfrakturen (D2a nach Euler und Rüedi), während komplexere Frakturen meist über einen dorsalen oder lateralen Zugang angegangen werden müssen. Da die intraoperative Röntgen-Kontrolle schwierig beurteilbar sein kann, können Repositionsergebnis und korrekte

Schraubenlage im postoperativen CT dokumentiert werden (> Abb. 5-19g und h).

Schulterinstabilität

Die traumatische Schulterinstabilität zeigt durch die hohen körperlichen Anforderungen in Freizeit und Sport nicht nur eine steigende Inzidenz, sondern durch das Risikoprofil der jungen Patienten in den Trendsportarten (Snowboard, Klettern u. Ä.) eine hohe Rezidivrate. Dadurch rückt die operative Therapie gegenüber der konservativen immer mehr in den Vordergrund, insbesondere die primäre Stabilisierung nach traumatischer Erstluxation beim jungen, sportlich aktiven Patienten. Der hohe Anteil an Patienten, die eine operative Therapie benötigen, erfordert ein standardisiertes Abklärungsprotokoll, das eine exakte Anamnese und Klassifikation sowie eine zuverlässige apparative Abklärung notwendig macht. Nach der differenzierten Klassifikation von Schneeberger und Gerber (Schneeberger et al. 1998) zeigt sich eine geringe Häufigkeit von reinen atraumatischen, unidirektionalen und echten multidirektionalen Instabilitäten. Diese seltenen Instabilitäten bedürfen einer speziellen Diagnostik und differenzierten Therapie. Es hat sich gezeigt, dass Patienten mit einer angeborenen Schulterhyperlaxität, die an sich keinen Krankheitswert hat, bei klinisch manifester Instabilität immer eine traumatische Komponente haben. Dieser Form der Instabilität wird bei der Klassifikation von Schneeberger und Gerber Rechnung getragen.



5

Läsionen, Begleitverletzungen und Kapselverhältnisse bei traumatischer unidirektionaler Instabilität mit oder ohne Hyperlaxität lassen sich durch die MRT und unserer Einschätzung nach besser im Rahmen der diagnostischen Arthroskopie darstellen (siehe dort). Die Beurteilung der knöchernen Strukturen, insbesondere der traumatischen Veränderungen am Glenoid ist die Domäne der CT. Die Prävalenz von Frakturen und Arrosionen am vorderen unteren Bereich der Gelenkpfanne wurde in der Literatur zwischen 8 und 73% angegeben (Hovellius et al. 1996, Itoi et al. 2000, Kralinger et al. 2002), liegt aber heute durch verbesserte Untersuchungstechniken (CT, Möglichkeiten der 2-D- und 3-D-Rekonstruktion und simultane Erfassung der unverletzten Schulter) zwischen 80 und 90% (Sugaya et al. 2003).

Die früher eingesetzte Doppelkontrast-CT zur Beurteilung von Labrum, Kapsel und deren Volumen und der Gelenkpfanne hinsichtlich Frakturen und Defekten (allerdings nur auf nicht rekonstruierten axialen Schichten) wurde zugunsten der nichtinvasiven, kosten- und zeitgünstigen nativen CT in Multi-Slice-Technik mit der Möglichkeit der Rekonstruktion, simultaner Erfassung und Berechnung der unverletzten Schulter verlassen. Burkhart und Itoi (Burkhart und De Beer 2000, Itoi et al. 2000) haben auf die Bedeutung des Pfannendefektes bei der Behandlung der traumatischen Schulterinstabilität hingewiesen. Burkhart und De Beer fanden in ihrem Kollektiv arthroskopisch versorgter Patienten nach traumatischer Schulterluxation eine hohe Rezidivrate bei Patienten mit großem Glenoiddefekt und/oder großer Hill-Sachs-Läsion, die sich auf 89% bei denjenigen Patienten gesteigert hat, die postoperativ eine Kontaktsportart ausübten (> Abb. 5-20a).

Itoi (Itoi et al. 2000) fand in seiner Kadaverstudie, dass ein Schultergelenk mit einem knöchernen Defekt des Glenoids von 21% der Längsachse mit einer alleinigen Bankart-Operation nicht stabilisiert werden kann, außer durch eine exzessive Kapselraffung, die allerdings postoperativ unweigerlich zu einer Bewegungseinschränkung führt.

Die quantitative Bestimmung des Glenoiddefektes mit der CT entwickelte sich daher zur Standarduntersuchung bei der Abklärung und Indikationsstellung zum Operationsverfahren bei traumatischen Schulterinstabilitäten.

Huijsmans (Huijsmans et al. 2007) hat auch die MRT (allerdings ein invasives Kontrastmittelverfahren) zur Be-

stimmung des Defektes am Glenoid angegeben. Im Kadaverversuch wurde bezüglich der Defektbestimmung am Glenoid die MRT mit der CT verglichen. Dabei zeigten sich unter diesen Studienbedingungen am vom Weichteil befreiten Glenoid vergleichbare Messergebnisse. Allerdings kann im Gegensatz zur CT in der MRT die unverletzte Gegenschulter nicht simultan miterfasst werden. Es kann daher das unverletzte Glenoid nicht als Referenzwert bei der Bestimmung eines Pfannendefektes herangezogen werden. Unseren Berechnungen zufolge zeigte sich mit Zunahme des Glenoiddefektes eine Abnahme der Messgenauigkeit bei Fehlen des unverletzten Referenzglenoids (Wambacher et al. 2006).

In den letzten Jahren wurden mehrere quantitative Messverfahren zur Ermittlung des Glenoiddefektes entwickelt und beschrieben. Wichtig ist es, bei der Angabe des Defektes genau darauf zu achten, worauf sich der Defekt bezieht. Die verschiedenen Messmethoden geben nicht immer den tatsächlichen Glenoiddefekt an.

MERKE

Messmethoden, die auf der Kreismethode beruhen, scheinen für die Defektbestimmung am Glenoid am besten geeignet zu sein.

Defektbestimmung in Relation zur Längsachse nach Itoi

Itoi (Itoi et al. 2000) hat die Messmethode nicht anhand einer 2-D- oder 3-D-Rekonstruktion eines CT beschrieben, sondern anhand eines abphotographierten und im Autocad bearbeiteten Bildes. Die Messmethode ist dennoch zulässig, da das hier verwendete Bild einer En-face-Rekonstruktion einer CT entspricht, die für die Berechnung des Glenoiddefektes bei allen weiteren hier angeführten Messmethoden herangezogen wird.

Erst wird ein Kreis an die Außengrenzen des Glenoids (Pole A und B) angelegt. Dann werden am Kadaverglenoid Defekte gesetzt, indem im Winkel von 45° auf die Glenoidpolachse AB der untere Glenoidrand in festgelegten Abständen ($w = 12,5\%$ der Glenoidlänge AB) osteotomiert wird (> Abb. 5-20b). Die Defektbreite der einzelnen Osteotomielinien entspricht bei Osteotomie I 9% der Glenoidlänge AB, 21% bei Osteotomie II, 34% bei Linie III und 50%

4 Abb. 5-19

a und b: Natives Röntgen-Bild bei Skapulafraktur mit Luxation des Oberarmkopfs nach ventral in der a.p. Aufnahme (a) und im Outlet-View (b).

c bis f: 3-D-Rekonstruktion der dargestellten Skapulafraktur. VRT mit 3-D-Rekonstruktion der Skapula. Der Oberarmkopf wurde weggerechnet, dadurch entsteht eine direkte Aufsicht auf die Fraktur. Bei der Betrachtung der En-face-Ansicht (c) und von vorne (d) lässt sich die schräge Gelenkfraktur, den für die Luxation verantwortlichen Abriss der vorderen Glenoidkante (Pfeile) und den Abriss des Processus coracoideus (*) gut erkennen, bei der Sicht von oben erkennt man die Basisfraktur des Processus coracoideus. Ansicht von dorsal (f). Relevanz für die operative Versorgung: Aufgrund der ventral liegenden Hauptpathologie wird ein deltoideopektoraler Zugang gewählt.

g: Standard-a.p.-Aufnahme nach operativer Versorgung einer Skapulafraktur mit Gelenkbeteiligung und Akromionfraktur.

h: Postoperatives CT mit multiplanarer Rekonstruktion: Die Gelenkfraktur ist stufenlos rekonstruiert, die Schrauben liegen korrekt.

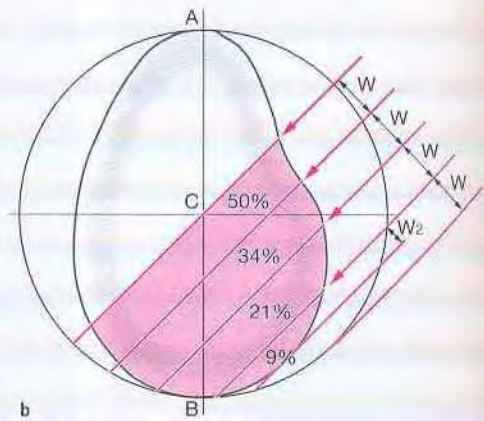
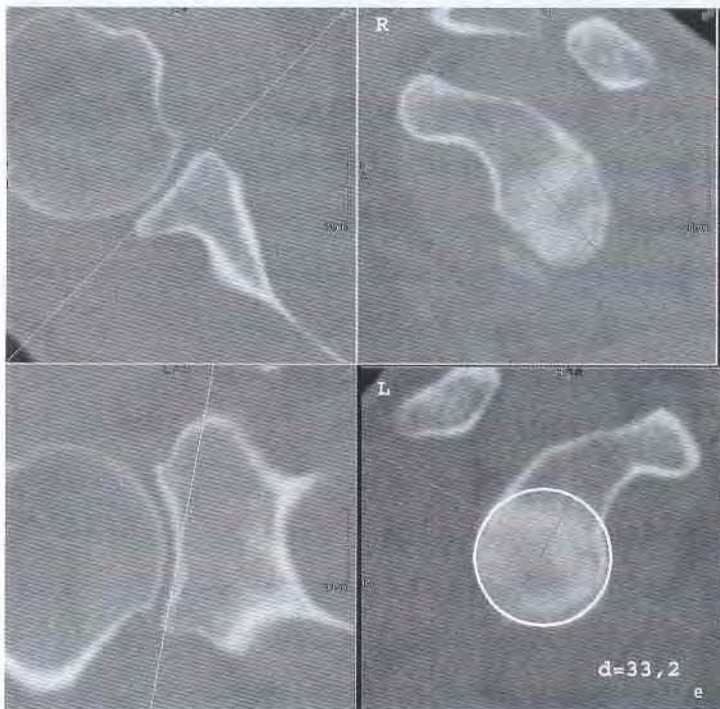


Abb. 5-20

a: 2-D- und 3-FD-Rekonstruktion: arthroscopische Schulterstabilisierung bei großem Defekt an der Pfanne.
 b: Die Abbildung zeigt die Versuchsanordnung der Kadaverstudie von Itoi (Itoi et al. 2000), die Osteotomielinien wurden 45° auf die Glenoidachse AB eingezeichnet. Beachte: Die Defektgröße wird in Prozent der Glenoidlänge AB angegeben.
 c: Defektbestimmung mit Hilfe der Messung der maximalen Glenoidbreite im Seitenvergleich. Unverletztes Glenoid: 33,1 mm; bei 27,5 mm am verletzten Glenoid ergibt einen Glenoiddefekt – bezogen auf die Glenoidbreite – von 17%.
 d: Berechnung des Defektes am dreidimensional rekonstruierten Glenoid nach Sugaya (Sugaya et al. 2003).
 e: Multiplanare 2-D-Reformatierung mit En-face-Darstellung des rechten Glenoids in der sagittalen Schicht. Am linken unverletzten Glenoid wurde an der sagittalen Reformatierung der Durchmesser von 33,2 mm bestimmt.
 e und f: Ein Kreis mit dem am unverletzten Glenoid bestimmten Durchmesser wird in die En-face-Aufsicht des verletzten Glenoids projiziert. An den Defekt wird eine Tangente angelegt und an den Schnittpunkten mit dem Kreis der Defektwinkel α bestimmt.

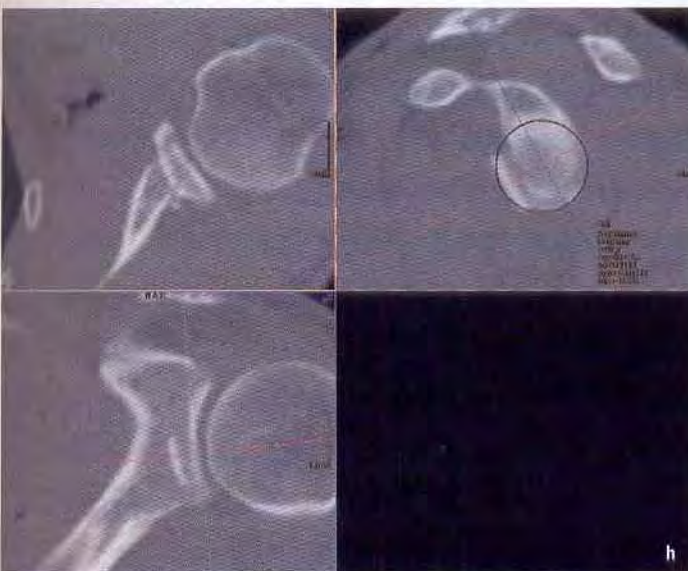
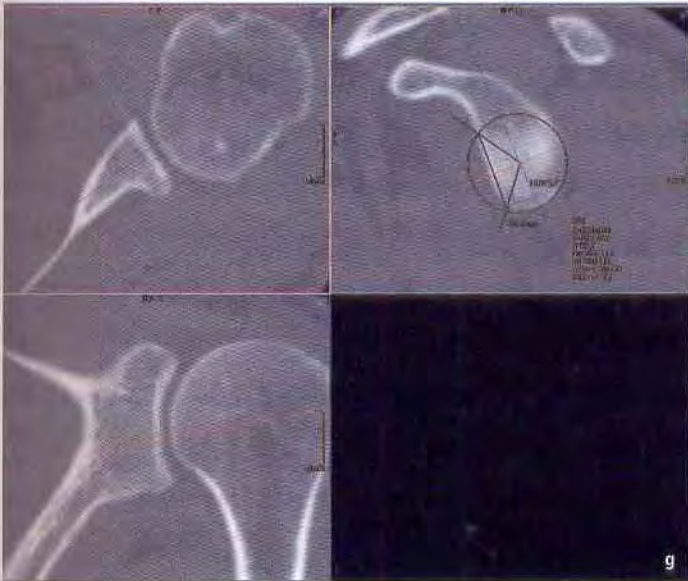
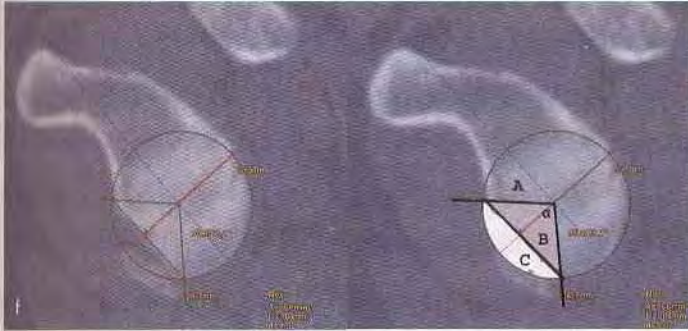


Abb. 5-20

e und f. *Fortsetzung*

Mittels Winkel α und Radius r lassen sich die Fläche von Kreissegment (A) und Dreieck (B) berechnen. Die Fläche des Defektes (C) erhält man durch Subtraktion der Fläche des Dreiecks von der Fläche des Kreissegments. In diesem Beispiel beträgt der Defektwinkel $96,9^\circ$ und der daraus errechnete Defekt 11% der Kreisfläche. Beachte: Bei der Defektbestimmung mit Hilfe der Glenoidbreite errechnete sich ein „Defekt“ von 17% ($>$ **Abb. 5-20c**), allerdings hier bezogen auf die maximale Glenoidbreite (= Durchmesser des Kreises).

g und h: Beurteilung der Rekonstruktion postoperativ nach Pfannenaufbau mit Spanplastik; präoperative Bestimmung des Defektes (g) und postoperatives Ergebnis mit exakter Wiederherstellung der Glenoidgelenkfläche (h).

i: 3-D-VRT-Rekonstruktionen: unverletztes Glenoid (1), Glenoid mit Knochendefekt (2), postoperatives Ergebnis (3), Kontrolle der Pfannenkrümmung (4) zeigt keine Überkorrektur.



bei der Osteotomielinie IV, die durch das Zentrum C des angelegten Kreises läuft.

Zu beachten ist, dass der angegebene Defekt auf die Längsachse des Glenoids bezogen ist und nicht dem tatsächlichen Defekt des unteren Glenoidanteils entspricht. Diese Methode diente in erster Linie nicht der Bestimmung des Glenoiddefektes, sondern der Festlegung der Osteotomielinien und der Ermittlung der daraus resultierenden Defektbreite zur biomechanischen Bestimmung der relevanten Defektgröße, bis zu der bzw. ab der keine reine Labrum-Kapsel-Rekonstruktion mehr möglich ist. Bis zu dieser Studie wurde der kritische Glenoiddefekt weder in einer klinischen noch in einer biomechanischen Studie überprüft, sondern als Expertenmeinung zwischen 25 und 30% der – beachte! – maximalen Glenoidbreite festgelegt.

Der von Itoi durchgeführten Studie ist jedoch anzumerken, dass der Glenoiddefekt nach traumatischer Schulterluxation nicht wie im verwendeten Studiendesign im Winkel von 45° zur Glenoidlängsachse liegt, sondern eher parallel zur Längsachse lokalisiert ist. Dies wurde von Itoi selbst in einer Folgestudie (Itoi et al. 2003) nachgewiesen.

Bestimmung der Defektbreite und der Defektlänge nach Griffith

Grundlage dieser Studie (Griffith et al. 2002) waren 40 beidseitige Schulter CTs von Patienten mit traumatischer vorderer Schulterinstabilität und 10 beidseitige CTs eines gesunden Vergleichskollektivs. Aus den primären Schichten wurden zur Berechnung exakte multiplanare (axial, schräg sagittal und schräg-koronar) 2-D-Rekonstruktionen beider Schultern angefertigt und daraus eine exakte En-face-Aufsicht auf das Glenoid gewonnen.

Neben anderen Messungen wurden die für uns zu Berechnung des Glenoiddefektes wichtigen Parameter – maximale Glenoidbreite und Länge des Glenoiddefektes – berechnet. Dabei wurde am verletzten und unverletzten Glenoid die maximale Glenoidbreite gemessen und der Glenoiddefekt in Prozent in Bezug auf die maximale Glenoidbreite der gesunden Seite ausgedrückt (**> Abb. 5-20c**). Bei 91% der Glenoide bei Patienten mit vorderer Schulterinstabilität wurde eine mehr oder weniger lange gerade Abflachungslinie an der vorderen Glenoidrundung nachgewiesen und die Länge dieser Abflachung als Defektlänge bezeichnet. Die zunehmende Länge des Glenoiddefektes zeigte einen zunehmenden Glenoiddefekt und somit eine Verminderung der maximalen Glenoidbreite im Vergleich zur unverletzten Seite an.

Die hier beschriebenen 2-D-Rekonstruktionen erwiesen sich im Vergleich zu den ebenfalls durchgeführten 3-D-Rekonstruktionen als exakter, weil die 3-D-Rekonstruktionen zu einem geringeren Prozentsatz von zufriedenstellender Qualität waren.

Bestimmung des Glenoiddefektes mit der Kreismethode nach Sugaya

Grundlage dieser Studie (Sugaya et al. 2003) waren präoperativ durchgeführte CTs von 100 Patienten mit traumatischer vorderer Schulterinstabilität. Von beiden Schultern wurden 3-D-Rekonstruktionen des Glenoids angefertigt.

Sugaya fand, dass sich das unverletzte Glenoid in der En-face-Ansicht bei seinen 3-D-Rekonstruktionen birnenförmig darstellte und dass der untere Anteil dieser „Birne“ einem Kreis entspricht. Die Größe des knöchernen Defektes wurde als Verhältnis des knöchernen Fragments zur Kreisfläche berechnet und in Prozent angegeben. Die Methodik der Flächenberechnung des Fragments wird in seiner Arbeit allerdings nicht exakt angegeben. Vermutlich wurde die Fläche durch manuelles Umfahren des Fragmentes mit anschließender Auswertung mittels spezieller Software berechnet (**> Abb. 5-20d**). Bei der Flächenberechnung von 3-D-Rekonstruktionen wird allerdings bei den üblichen digitalen Auswertungsprogrammen die Fläche als Pixel angegeben. Sugaya fand in 40% der Glenoide kein Fragment, sondern eine Erosion oder eine Kompressionsfraktur, die sich als sichtbarer Knochendefekt zeigte. In seinem Kollektiv fanden sich nur in 10% unveränderte, in ihrer Größe seitengleiche Glenoide.

Berechnung des Knochendefektes mit dem Defektwinkel α

Aus den vorliegenden Arbeiten haben die Autoren eine eigene Messmethode entwickelt (Wambacher et al. 2006). Ziel war eine einfache, nachvollziehbare, exakte und reproduzierbare Messmethode, die den tatsächlichen Defekt am Glenoid berechenbar macht. Die hier entwickelte Messmethode leitet sich aus der Kreismethode ab, da sich in vorliegenden Arbeiten, aber auch bei eigenen Untersuchungen die Birnenform des Glenoids in der En-face-Ansicht bestätigte.

Hierzu wurden aus dem CT-Pool der Klinik der Autoren 100 Patienten ausgewählt, bei denen ein Multi-Slice-CT beider Schultern, z. B. im Rahmen einer Polytraumaabklärung, durchgeführt wurde. Ausschlusskriterien waren arthrotische oder traumabedingte Veränderungen an der Schulter. Ergebnis dieser ersten Untersuchung war, dass die Glenoide keine intraindividuellen Unterschiede aufwiesen, d. h. gleich groß waren und dass der inferiore Anteil der Birne kreisrund war und daher der Kreis als Grundlage der Glenoidflächenberechnung geeignet ist. In einer Pilotstudie wurde verglichen, inwieweit die 2-D- und 3-D-Rekonstruktionen des Glenoids reproduzierbar sind. Dabei zeigte sich, dass die 2-D-Rekonstruktionen exakter als die 3-D-Rekonstruktionen waren. Bei 3-D-Rekonstruktionen wird eine eigene Arbeitsstation benötigt und entsprechend geschultes

Personal, wobei die Rekonstruktionen „freihand“ ohne exakte Anhaltspunkte in den Raum gestellt werden müssen. Daher unterschieden sich die 3-D-Bilder bei wiederholter Rekonstruktion in Rotation und Kippung. Des Weiteren erwies sich die Definition der knöchernen Grenze am 3-D-Bild schwieriger.

Im Gegensatz dazu ist die multiplanare 2-D-Rekonstruktion an jedem digitalen Arbeitsplatz durchführbar. Im 2-D-Rekonstruktionsmodus wird eine axiale, schräg-koronare und schräg-sagittale (entspricht der En-face-Ansicht) Rekonstruktion angezeigt. Das eingeblendete Tangentenkreuz wird jetzt der Reihe nach an die knöchernen Begrenzungen des Glenoids angelegt und wechselseitig nachkorrigiert, bis in allen Rekonstruktionen die Tangenten exakt anliegen. Dabei wird in der schräg-koronaren Rekonstruktion die Tangente an den unteren Glenoidbereich angelegt und in der schräg-sagittalen Rekonstruktion verläuft die Tangente in Längsachse des Glenoids. Der Mittelpunkt des Tangentenkreuzes liegt dabei im Mittelpunkt des unteren Glenoid (kreises). Am Ende erhält man eine zweidimensionale En-face-Ansicht des Glenoids, die eine hohe Übereinstimmung zwischen den Untersuchungen und den Untersuchern zeigte. In unserer Untersuchung lag die Intra- und Interobserver- Reliabilität weit über 0,9 (bei einer maximalen Übereinstimmung von 1).

Der Glenoiddefekt kann jetzt wie folgt berechnet werden: Am unverletzten Glenoid wird über den unteren Teil der „Birne“ exakt ein Kreis projiziert und der Durchmesser dieses Kreises notiert. Ein Kreis dieses Durchmessers wird jetzt auf die En-face-Rekonstruktion des verletzten Glenoids gelegt (> Abb. 5-20e). Liegt ein Defekt am Glenoid vor,

wird an den fast immer geraden Defekt eine Tangente angelegt, die den Kreis an zwei Stellen schneidet. Vom Mittelpunkt des Kreises werden jetzt zwei Geraden durch diese Schnittpunkte gelegt. Es ergibt sich ein Kreissegment mit einem bestimmten Winkel, den wir als Defektwinkel α bezeichnet haben. Mit Hilfe des Winkel α und dem Radius r lässt sich die Fläche des Kreissegments A und des Dreiecks B berechnen (> Abb. 5-20f). Durch Subtraktion $A - B$ erhält man die Fläche des Defektes C. C lässt sich als Verhältnis $C \div$ Kreisfläche $\times 100$ in Prozent ausdrücken. Demzufolge entspricht ein Defektwinkel von 90° einem Defekt von 9%. Durch die Angabe in Prozent ist die Berechnung nun auch vom Radius r unabhängig. Es müssen somit nur einmal für alle möglichen Winkel α die dazugehörigen Defekte C berechnet und in eine Tabelle eingegeben werden. Für alle zukünftigen Defektbestimmungen muss also nur noch der Winkel α gemessen und der dazu korrespondierende Defekt aus der Tabelle als Prozentwert abgelesen werden. Auch diese Messung weist eine hohe Übereinstimmung zwischen den Untersuchungen und den Untersuchern von über 0,9 auf. Diese Methode bietet auch die Möglichkeit der Kontrolle des Rekonstruktionsergebnisses am postoperativen CT (> Abb. 5-20g bis i).

Arthroskopische Kalkulation des Glenoiddefektes

Burkhard und DeBeer (2000) haben den sog. bare spot (knorpelarmes Areal im unteren Glenoidabschnitt) als zentralen Referenzpunkt zur Bestimmung des Glenoiddefektes angegeben. Sie haben den bare spot als Zentrum des unteren Glenoids definiert. Ihre Messmethode wurde

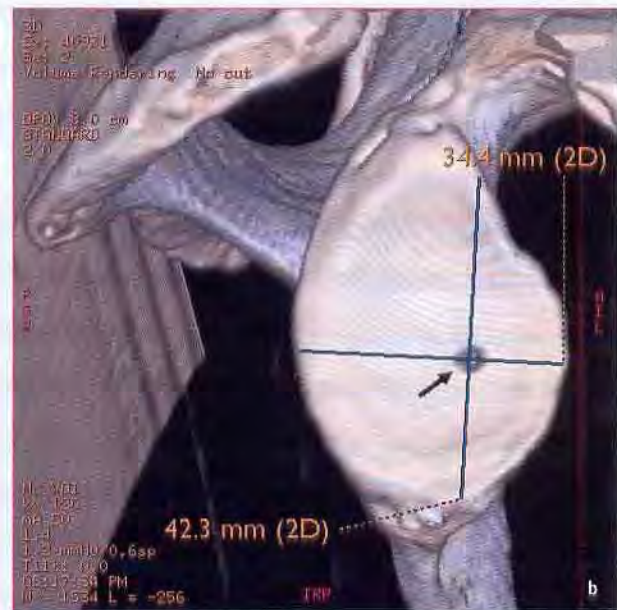


Abb. 5-21 3-D-CT Bild (b) eines Präparates, bei dem der bare spot (mit Metallnadel gekennzeichnet, Pfeil) nicht im Zentrum des unteren Glenoids liegt. Entsprechendes Präparat (a) mit bare spot (Pfeil).

dann arthroskopisch durchgeführt. Der Abstand vom bare spot zum hinteren Glenoidrand wurde gemessen und mit dem Abstand zum vorderen Glenoidrand verglichen und damit ein eventueller Defekt am vorderen Glenoidrand quantifiziert. In anderen Arbeiten (Huysmans et al. 2006, Kralinger et al. 2006) konnte der bare spot als konstanter Bezugspunkt im Zentrum des unteren Glenoids nicht gefunden werden (> Abb. 5-21a und b). Entweder ließ sich ein bare spot gar nicht oder wenn, dann nicht immer im Zentrum nachweisen. In beiden dazu vorliegenden Studien (Huysmans et al. 2006, Kralinger et al. 2006) wurden am Leichenpräparat der vorhandene bare spot gemessen und die Präparate dann noch einer CT-Untersuchung unterzogen. Auch Griffith et al. (2007) berichteten über die hohe Sensitivität und Spezifität der CT-Untersuchung bei der Quantifizierung von Glenoiddefekten und der geringen Übereinstimmung bei der arthroskopischen Messung.

Posttraumatische Folgezustände, AC-Gelenk, SC-Gelenk, Klavikula

Posttraumatische Folgezustände

Bei klinischem und radiologischem Verdacht auf knöcherner Heilungsstörung konservativ oder operativ behandelter Frakturen im Bereich des Schultergürtels bringt die CT Aufschluss über den Heilungszustand der Verletzung.

Durch die muliplanare Darstellungsmöglichkeiten der Spiral-CT können posttraumatisch Fehlstellungen exakt identifiziert und Revisionsoperationen mit Reosteosynthese oder prothetischem Gelenkersatz geplant und berechnet werden (> Abb. 5-22a). Bei der Entscheidung zum rekonstruktiven oder prothetischen Verfahren bei Oberarmkopffrakturen hilft heute die Bestimmung der Knochendichte (BMD; siehe > Abb. 5-16e und f), die an der simultan aufgenommenen unverletzten Schulter mit Hilfe eines mitgeschichteten Phantoms abgeschätzt werden kann.

Die Entscheidung über Art und Typ des prothetischen Gelenkersatzes ist ebenfalls eng an die CT-Untersuchung gekoppelt. Lässt das Ausmaß der Achsenfehlstellung eine schaftgeführte Prothese nicht mehr zu, muss die Indikation

zu einer schaftlosen Prothese oder zum Oberflächenersatz gestellt werden. Andererseits können bei Luxationsfrakturen Defekte am Oberarmkopf abgeschätzt werden. Im Fall einer Oberarmkopffraktur mit konsekutiver Nekrose kann zuverlässig erhoben werden, ob die Knochensubstanz noch einen Oberflächenersatz toleriert oder die Deformität schon eine schaftgeführte Prothese verlangt (> Abb. 5-22b und c).

SC-Gelenk

Traumatische, degenerative oder habituelle Subluxationen und Luxationen des SC-Gelenks sowie mediale Klavikulafrakturen (> Abb. 5-23a) kommen im konventionellen Röntgen meist nicht zufrieden stellend zur Darstellung. Es empfiehlt sich daher eine CT-Untersuchung zur Erfassung des Dislokationsgrades, der Luxationsrichtung (v.a. bei dorsalen Luxationen; > Abb. 5-23b) und zur Klassifizierung der degenerativen Veränderungen.

AC-Gelenk

Bei unklarer AC-Gelenksymptomatik und negativem Röntgen-Befund in der Zanca-Aufnahme kann die CT Aufschluss über eine vorliegende Pathologie am lateralen Klavikulaende bringen. Osteolytische Veränderungen am lateralen Klavikulaende können je nach Neigungswinkel des Gelenks zur sagittalen Ebene und je nach Lokalisation der Osteolyse im konventionellen Röntgen unentdeckt bleiben.

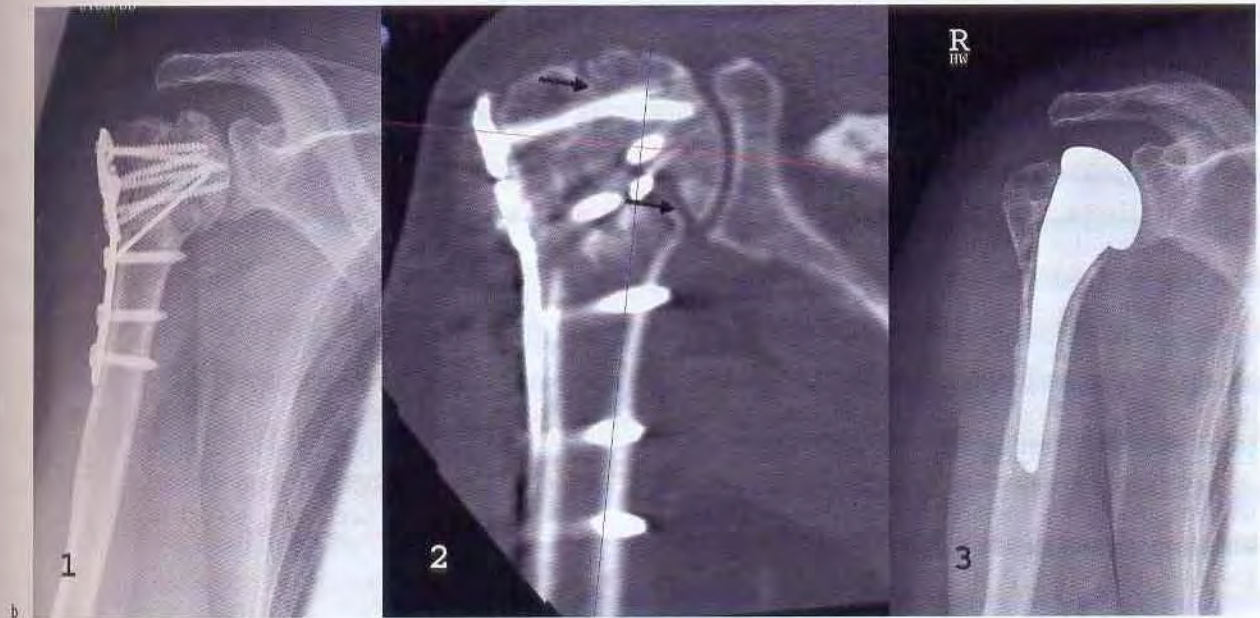
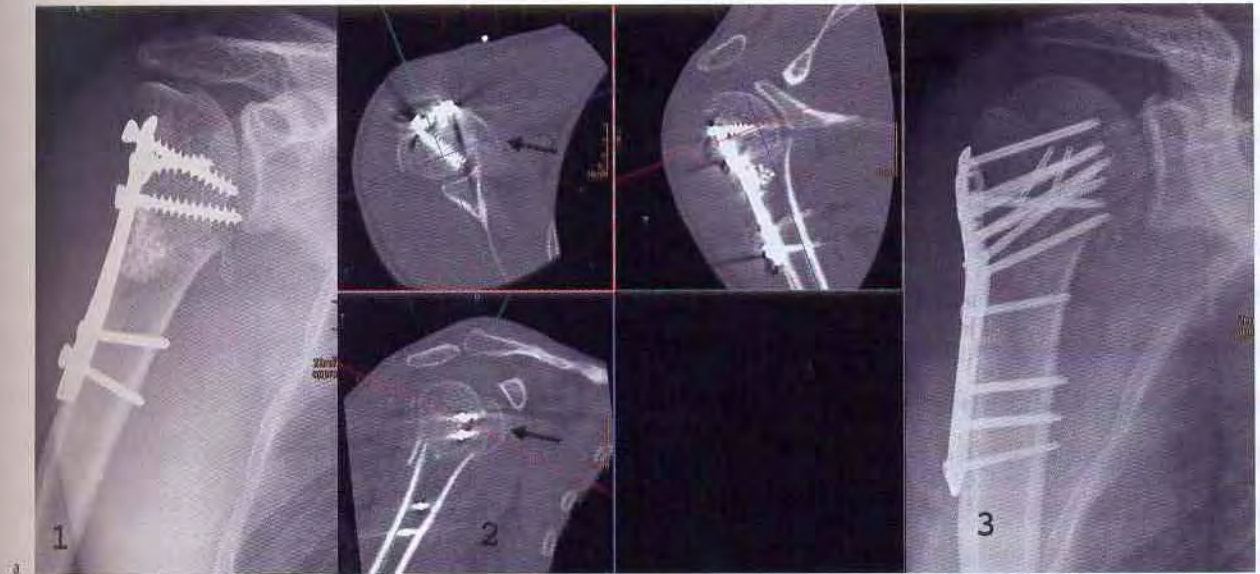
Klavikula

Konservativ behandelte dislozierte Frakturen der Klavikula heilen beim Erwachsenen häufig in Verkürzung und/oder Fehlstellung aus.

Die bestehenden Messmethoden zur Bestimmung der Verkürzung sind die a.p. Aufnahme der verletzten Seite, die 15°-eingekippte a.p. Panoramaaufnahme und die p.a. Thoraxaufnahme. Alle diese Aufnahmen wurden bisher nicht validiert. Smekal (Smekal et al. 2008) hat in seiner Studie nativradiologische Aufnahmen mit der Längenmessung mit Hilfe der CT verglichen.

Abb. 15-22

- a: (1) Standard a.p. Röntgen-Bild nach operativer Versorgung einer Headsplit-Fraktur mit Schraubenperforation; (2) Planung der Revisionsoperation mittels CT mit muliplanarer Reformatierung: Hier zeigt sich eine „unanatomische“ Reposition des Kalottenfragments und fehlende Einpassung des Headsplit-Fragments (Pfeil); (3) Aufgrund des Alters des Patienten und guter BMD-Werte war die Rekonstruktion und Spongiosaplastik indiziert.
- b: (1) Standard a.p. Röntgen-Bild nach operativ versorgter Vierteilefraktur (2) im CT, Nachweis einer Pseudarthrose (Pfeile) bei knöchern eingeheltem Tubercula; (3) Röntgen-Aufnahme nach Revision und Implantation einer Hemiprothese.
- c. (1, 2) Standard a.p. Röntgen-Bild und 2-D-reformatierte CT-Bilder fünf Jahre nach perkutan versorgter Oberarmkopffraktur mit Entwicklung einer Omarthrose und partieller Kopfnekrose (Pfeile). Weitgehend achsengerechte Stellung und anatomisch eingeheltem Tuberkel; (3) Versorgung mit Oberflächenersatz und Implantation einer Pfannenprothese.



5

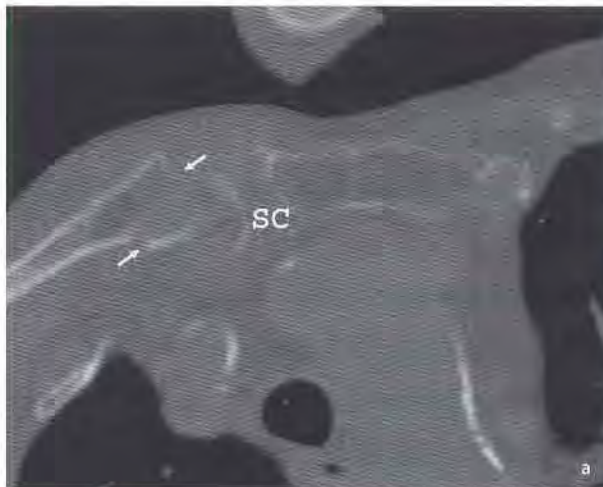


Abb. 5-23

a: 2-D-reformatiertes CT-Bild eines rechten SC-Gelenks (SC) bei medialer Klavikulafraktur (Pfeile); Nativ-Röntgen-Bild \rightarrow Abb. 5-15b.
 b: 3-D-Rekonstruktion einer CT-Angiographie bei traumatischer Subluxation der medialen Klavikula nach dorsal mit Darstellung der retrosternalen Gefäße.

Dabei zeigte sich die größte Übereinstimmung zwischen der CT-Untersuchung, die als Referenzmessung gegenüber den nativradiologischen Aufnahmen herangezogen wurde, und der p.a. Thoraxaufnahme (\rightarrow Abb. 5-24a und b). Diese hat gegenüber der 15°-eingekippten a.p. Panoramaaufnahme den Vorteil, dass die Distanz zur Röntgen-Platte und damit Vergrößerungs- und Verzerrungseffekte geringer sind. Da die p.a. Thoraxaufnahme im Stehen durchgeführt wird, hat sie im Gegensatz zur CT-Untersuchung, die im Liegen durchgeführt wird, den Vorteil, dass sie die „reale“ Verkürzung der Klavikula anzeigt.

Posttraumatisch lassen sich Pseudarthrosen (im CT) und Verkürzung (CT und Röntgen) bestimmen und erlauben somit eine exakte Planung der Revisionsoperationen (\rightarrow Abb. 5-24b bis d).

Omarthrose

Zur präoperativen Planung vor der Implantation einer Schulterprothese ist bei der Entscheidung, auch eine Pfanne einzusetzen, neben der nativradiologischen Abklärung die Nativ-CT notwendig. Damit kann die Pfannenform und Retroversion bestimmt und die Pfannenprotrusion und eine aufgetretene statische Fehlstellung können gemessen werden. Die angeführten Parameter lassen sich prinzipiell auch am nativen Röntgen-Bild in zwei Ebenen darstellen, sind aber mit der CT-Untersuchung wesentlich exakter.

MERKE

Wichtig ist, dass die Messungen nicht an den primären axialen Schichten erfolgen, da hier durch die unterschiedliche Stellung der Skapula bei der Untersuchung Messfehler entstehen können.

Mit Hilfe der Spiral-CT oder Multi-Slice-CT sind heute exakte multiplanare 2-D(double oblique)-Rekonstruktionen möglich, die von der Skapulastellung bei der initialen CT-Untersuchung unabhängig sind.

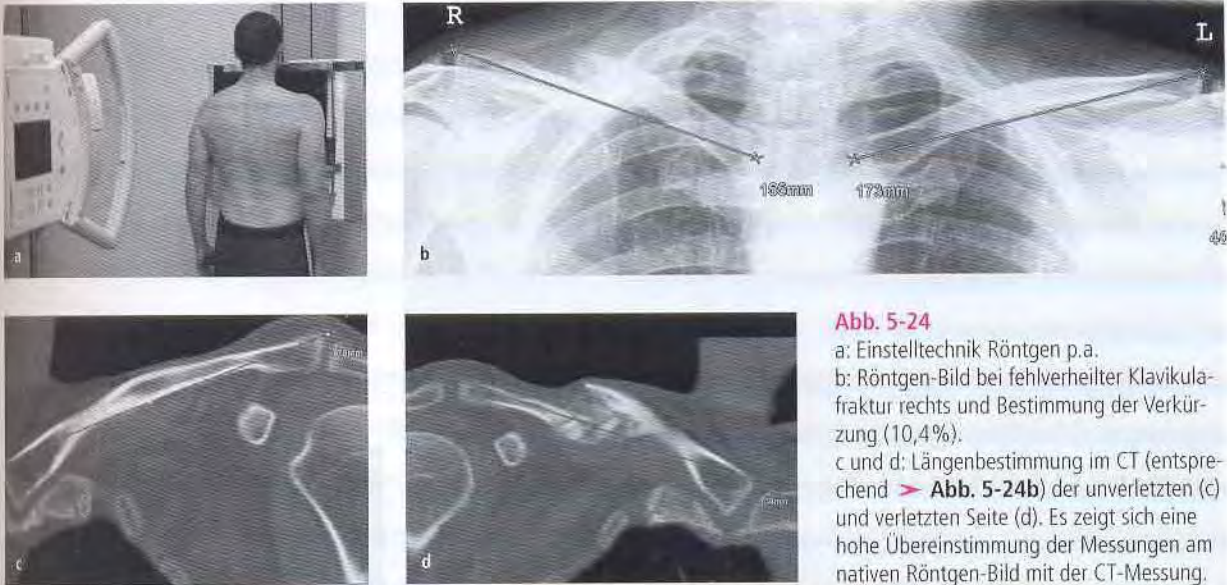
Pfannendeformität nach Walch

Walch (Walch et al. 1999) hat die Glenoidform bei der Beurteilung der Omarthrose morphologisch in drei Klassen eingeteilt (\rightarrow Abb. 5-25):

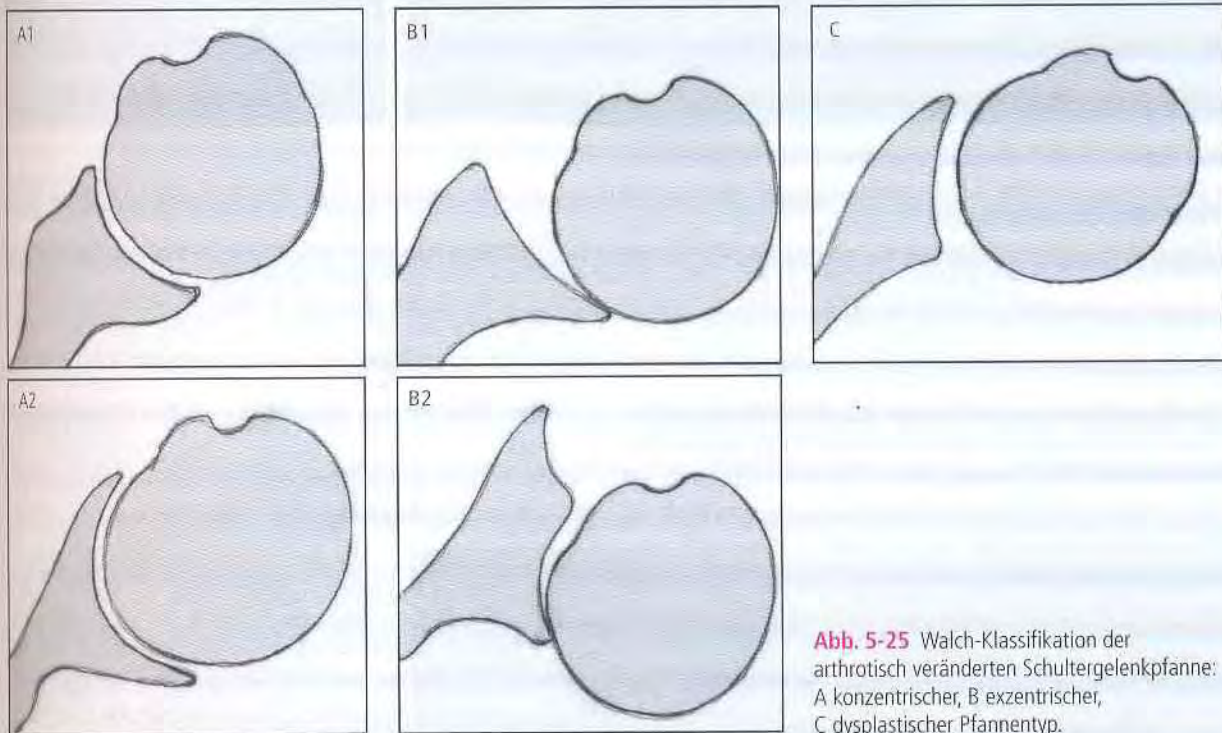
- Typ A: zentrische Kopfposition in der Pfanne
 - Typ A1: geringfügiger Pfannenverbrauch
 - Typ A2: zentrale Kopfprotrusion mit konkaver Pfannenvertiefung
- Typ B: exzentrisch posteriore Kopfposition
 - Typ B1: posteriorer Pfannenverbrauch mit subchondraler Sklerosierung und Abflachung
 - Typ B2: bikonkave posteriore Pfannendeformität
- Typ C: primär dysplastische Pfannenretroversion von $> 25^\circ$.

Messung der Glenoidversion

Die normale Glenoidversion liegt zwischen 0° und -10° . In arthrotisch veränderten Schultergelenken zeigt sich häufig eine vermehrte Retroversion der Gelenkpfanne, die zu einer posterioren Subluxationsstellung des Oberarmkopfes führt. Die Messung (Friedmann et al. 1992, Nyffeler et al. 2003) der Glenoidversion erfolgt am 2-D-rekonstruierten axialen Bild in Bezug auf die Skapularebene. Den Bezugspunkt bildet, wie bei der Instabilität, der Mittelpunkt des inferioren Glenoids (Kreismittelpunkt). An die Glenoid-

**Abb. 5-24**

a: Einstelltechnik Röntgen p.a.
 b: Röntgen-Bild bei fehlverheilter Klavikulafraktur rechts und Bestimmung der Verkürzung (10,4%).
 c und d: Längenbestimmung im CT (entsprechend **Abb. 5-24b**) der unverletzten (c) und verletzten Seite (d). Es zeigt sich eine hohe Übereinstimmung der Messungen am nativen Röntgen-Bild mit der CT-Messung.

**Abb. 5-25** Walch-Klassifikation der arthrotisch veränderten Schultergelenkpfanne: A konzentrischer, B exzentrischer, C dysplastischer Pfannentyp.

ebene wird eine Tangente (E) angelegt, dann von der Mitte der Glenoidebene in der Skapularebene eine Linie (S) angelegt und eine Senkrechte darauf als Linie (s) eingezeichnet. Die Glenoidversion wird aus dem Winkel zwischen den Linien E und s ermittelt. Die Glenoidversion beträgt 0° , wenn E und s parallel verlaufen (**Abb. 5-26a und b**).

Messung der Glenoidinklation

Eine exzentrische Deformierung des Glenoids im Rahmen der Omarthrose findet nicht nur in einer anteroposterioren, sondern auch in einer superoinferioren Richtung (Zunahme der Inklination) statt. Für die Dezentrierung des Oberarmkopfs und die vermehrte Glenoidversion und In-

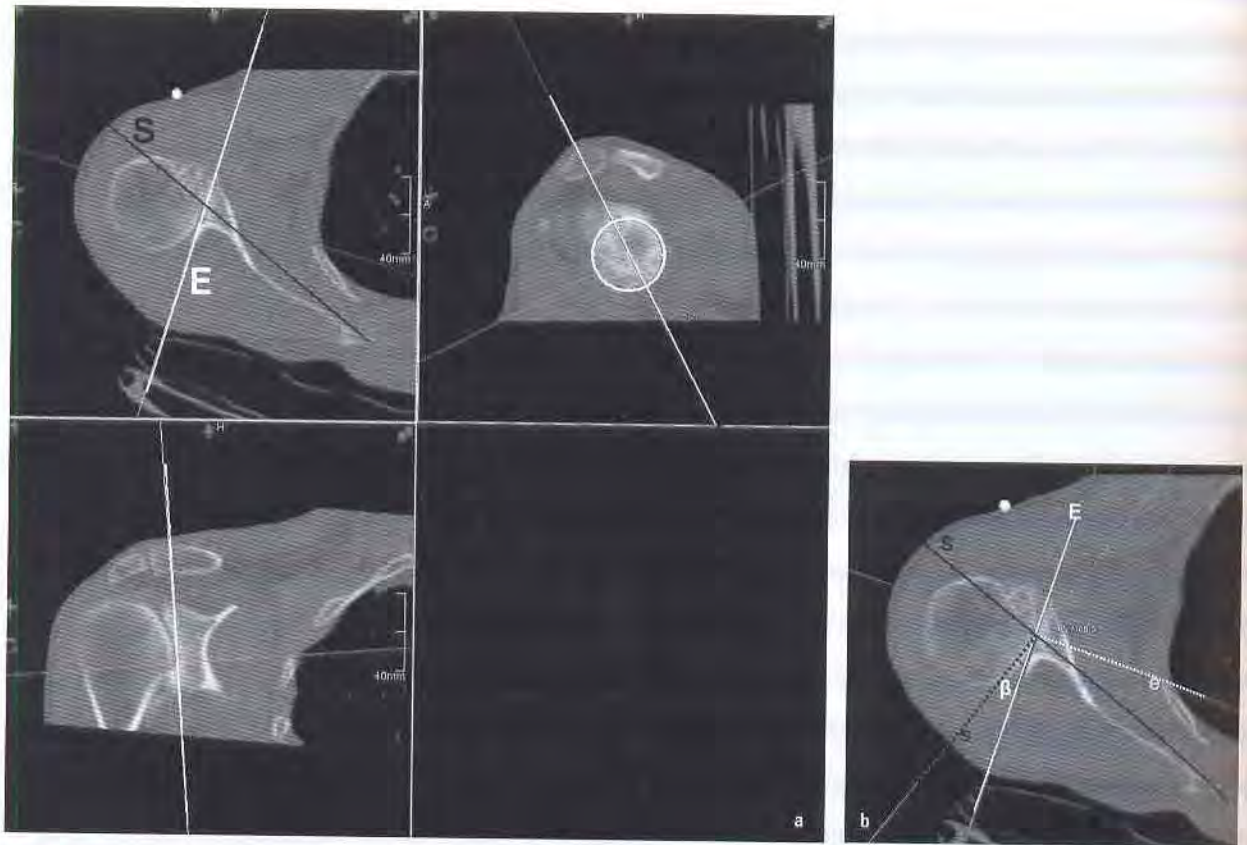


Abb. 5-26

a: Multiplanare 2-D-Rekonstruktion mit Festlegung der Pfannenebene (E) und der Skapularebene in der axialen Reformatierung auf Höhe des unteren Glenoidzentrums (Kreis).

b: Messung des Retroversionswinkels ($\beta = 19,5^\circ$) zwischen der Tangente der Pfannenebene E (weiße Linie) und der Senkrechten (gepunktete schwarze Linie) auf die Skapularebene S (schwarze Linie), Senkrechte auf die Pfannenebene (gepunktete weiße Linie).

klination werden v. a. Insuffizienz und Kontrakturen durch Kapselvernarbungen der Rotatorenmanschette verantwortlich gemacht. Zur Planung einer Glenoidkomponente ist daher neben der Bestimmung der Glenoidversion auch die Messung der Glenoidinklination unerlässlich.

Habermeyer (Habermeyer et al. 2006) hat in einer radiologischen Studie an a.p. und axialen Röntgen-Bildern die Retroversion und Inklination vermessen. Diese Technik lässt sich auch auf die CT-Untersuchung übertragen. Die Inklination wird dabei auf den schräg-koronaren Rekonstruktionen bestimmt. Dabei wird eine Tangente vom oberen zum unteren Glenoidpol gezogen (Glenoidlinie), eine zweite Linie wird entlang der Korakoidbasis gezogen (Korakoidbasislinie). Daraus lässt sich die Inklination des Glenoids bestimmen und klassifizieren (\rightarrow Abb. 5-27):

- Typ 0: Die Korakoidbasislinie ist parallel zur Glenoidlinie
- Typ 1: Korakoidbasislinie und Glenoidlinie kreuzen unterhalb dem unteren Glenoidpol
- Typ 2: Korakoidbasislinie und Glenoidlinie kreuzen zwi-

schen dem unteren Glenoidpol und dem Glenoidmittelpunkt

- Typ 3: Korakoidbasislinie und Glenoidlinie kreuzen oberhalb der Korakoidbasis.

Messung der Protrusion der Pfanne

Diese Messung wird bei zentraler Kopfprotrusion Typ A2 nach Walch, wie sie bei der rheumatoiden Arthritis auftreten kann, durchgeführt, um zu erkennen, ob eine Pfannenprothese noch suffizient verankert werden kann.

Hierzu werden aus dem CT-Datensatz 2-D-Rekonstruktionen angefertigt und die Pfannentiefe auf drei Höhen gemessen. Bei dieser von Mullaji (Mullaji et al. 1994) angegebenen Methode wird die erste Ebene auf Höhe der Korakoidbasis festgelegt, die zweite und dritte Ebene liegt 10 bzw. 20 mm darunter.

Als Bezugsebene für die Messung der Glenoidtiefe wird auf der ersten Ebene von der Korakoidbasis aus eine zur Tangente A (Pfannenebene) parallele Linie F gezogen, die

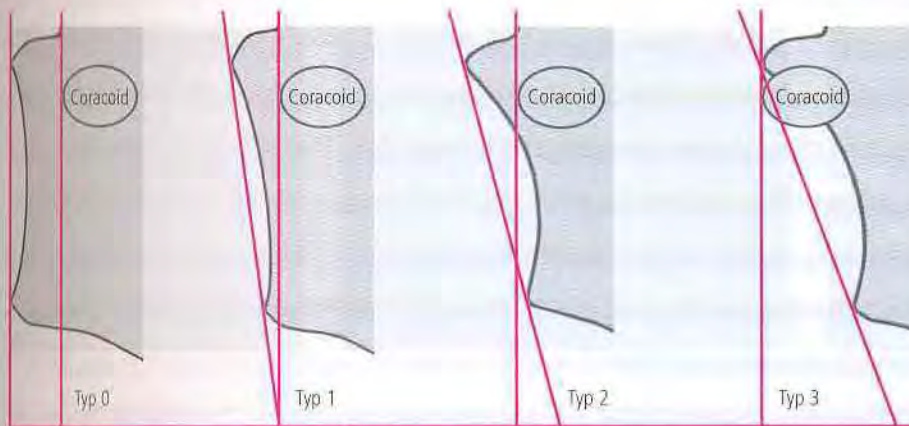


Abb. 5-27 Klassifikation der Glenoidinklation nach Habermeyer (Typ 0 bis 3; Habermeyer et al. 2006).

die Breite des Skapulalhalses (F) bestimmt. Die Werte C1 bis C3 als Maß für die Glenoidprotrusion ergeben sich aus Distanz von F zum tiefsten Punkt des Glenoids (\gg Abb. 5-28a).

In der Arbeit von Mullaji zeigte sich bei Patienten mit rheumatoider Arthritis eine vermehrte Protrusion v. a. in der oberen und mittleren Höhe, während bei der Osteoarthrose die Protrusion im mittleren und unteren Bereich des Glenoids lag (\gg Abb. 5-28b).

Messung der statischen Fehlstellung des Oberarmkopfs nach posterior

Zur Messung einer Subluxationsstellung des Oberarmkopfs können auf einem Röntgen-Bild, aber auch auf einem axialen CT-Schnitt (besser noch auf einem 2-D-rekonstruierten Bild) die Mittelpunkte von Oberarmkopf und Glenoid

bestimmt werden. Liegen beide Punkte auf einer Geraden (in der Skapularebene), ist der Oberarmkopf zentriert. Weicht der Oberarmkopf von dieser Geraden ± 5 mm ab, befindet er sich in einer (bei der Omarthrose meist posterioren) Subluxationsstellung (Habermeyer et al. 2006). Das Ausmaß der Subluxationsstellung lässt sich als Abstand zwischen der Linie durch die Skapularebene und der parallel dazu verlaufenden Linie durch den Kopfmittelpunkt angeben (Iannotti und Norris 2003; \gg Abb. 5-29a und b). Die bei der Omarthrose durch die Zunahme der Retroversion bedingte Subluxationsstellung des Oberarmkopfs lässt sich bei der Glenoidform A1 nach Walch noch durch ein asymmetrisches ventrales Abfräsen der Pfanne korrigieren. Bei der Deformität A2 mit bikonkaver Pfanne ist meist ein knöcherner Pfannenaufbau notwendig.

Die Subluxationsstellung lässt sich (inkl. einer Arthrolyse mit Befreiung der Rotatorenmanschette von Vernar-

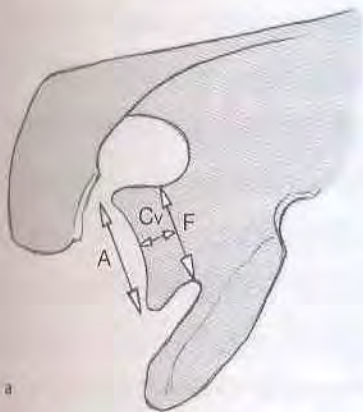


Abb. 5-28

a: Bestimmung des Abstandes von Glenoidoberfläche zur Ebene der Korakoidbasis. A: maximaler a.p. Durchmesser; F: Ebene der Korakoidbasis, C (u, m, i): Abstand vom tiefsten Punkt der Gelenkfläche zur Korakoidbasis (auf dem oberen, mittleren und unteren Schnitt durch das Glenoid). b: Axiale 2-D-Reformatierung bei Omarthrose. Bestimmung der Pfannenprotrusion: Die Protrusion nimmt vom (1) oberen Schnitt ($C_u = 9$ mm auf Höhe der Korakoidbasis) zum (2) mittleren Schnitt ($C_m = 3,7$ mm) bis (3) unteren Schnitt ($C_i = 2,4$ mm) zu. A: maximaler a.p. Durchmesser; F: Ebene der Korakoidbasis; h (in 3): Tangente an den tiefsten Punkt der Gelenkfläche.

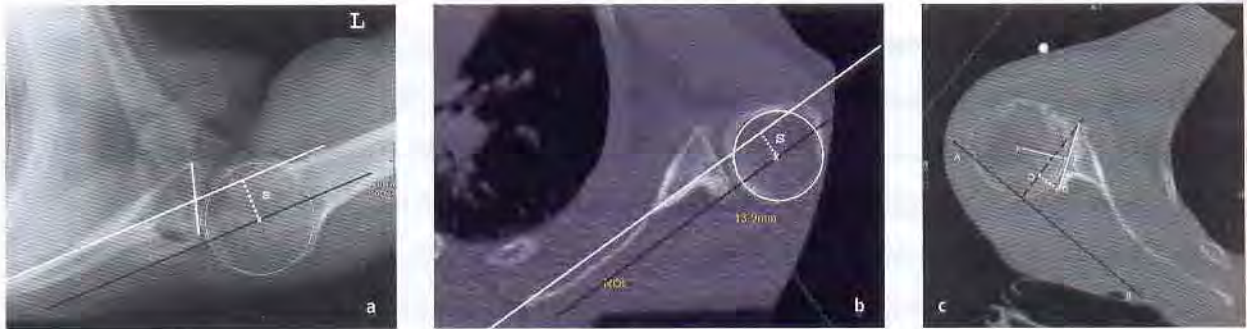


Abb. 5-29

a und b: Berechnung der statischen Subluxation (s) am nativ axialen (a) und am axial multiplanar rekonstruierten 2-D-CT-Bild (b). Das reformatierte CT-Bild erweist sich dabei als genauer, während die exakte Berechnung der Subluxation im axialen Nativbild von der Genauigkeit der Einstellung bei der Aufnahme abhängt.

c: Berechnung des posterioren Glenoiddefektes bei Planung des Glenoidersatzes nach Iannotti (Iannotti und Norris 2003) am axial reformatierten 2-D-Bild. Strecke AB: Tangente zur Skapularebene; gestrichelte schwarze Linie: Senkrechte auf AB; E: Pfannenebene; x: Kopfmittelpunkt. Die Strecke CD entspricht dem Glenoiddefekt, der aufgebaut und/oder abgefräst werden müsste, um eine anatomische Retroversion von 10° zu erhalten.

bungen und Kapsel) nur durch die Korrektur auf eine physiologische Retroversion beseitigen. Das Wiederherstellen der physiologischen Retroversion gelingt intraoperativ mit Bestimmung des Resch-Winkels von 60° (Hertel und Lehmann 2001), lässt sich aber auch mit der CT präoperativ planen. Da die intraoperative Messung der Glenoidversion derzeit noch nicht standardisiert ist, berechnet man das Ausmaß der Resektion des anterioren Glenoidanteiles. Am 2-D-Bild bestimmt man die tatsächliche und die gewünschte Retroversion des Glenoids. Legt man nun die gewünschte Retroversion an die Glenoidebene an, ergibt sich ventralseitig der abzufräsende Überstand. Dieser Überstand lässt sich am CT-Bild einfach ausmessen (siehe > Abb. 5-26a und b). Ähnlich erfolgt die Berechnung des Glenoiddefekts: Parallel zur Skapularebene wird eine Linie eingezeichnet (Strecke AB mit -10° , der Retroversion der Gegenschulter entsprechend), auf diese Linie wird eine Senkrechte gelegt, die durch die vordere Glenoidbegrenzung läuft, daraus lässt sich eine Linie CD ausmessen, die dem Glenoiddefekt entspricht (Iannotti und Norris 2003; > Abb. 5-29c). Bei einer B2-Glenoid-Situation ist ein alleiniges ventrales Abfräsen nicht mehr ausreichend. Damit die Außenrotatoren nicht unter übermäßige Spannung geraten, sollte die Gelenklinie möglichst wenig lateralisiert werden, was durch eine Kombination aus ventraler Fräsung und dorsalem Pfannenaufbau erreicht werden kann (Hertel und Lehmann 2001). Die Größe des notwendigen Knochenblockes lässt sich auch durch Spiegelung und Subtraktion des simultan erfassten Glenoids der Gegenseite bestimmen.

CT-Kriterien bei der Rotatoren-manschettenruptur

Als Screening-Verfahren in der Abklärung der Rotatoren-manschette bleibt die Sonographie die Untersuchungsmethode der Wahl. Die Feindiagnostik wird wegen der exzellenten Weichteildarstellung mit der MRT durchgeführt (Hedtmann und Heers 2007). Es hat sich ein Zusammenhang zwischen der fettigen Degeneration der Muskulatur und dem anatomischen und funktionellen Ergebnis bei der Versorgung von Rotatorenmanschettenrupturen gezeigt. Ist mehr als die Hälfte der Muskulatur in Fett umgewandelt, kommt es häufiger zu Rupturen, des Weiteren wird die Funktion signifikant negativ beeinträchtigt (Goutallier et al. 1994). Daher hat in den letzten Jahren die präoperative Abklärung der Muskulatur der Rotatorenmanschette einen wichtigen Stellenwert bei der Behandlung von Rotatoren-manschettenläsionen bekommen.

Goutallier hat schon sehr früh eine qualitative Beurteilung der Muskulatur mit der CT durchgeführt und beschrieben (Goutallier et al. 1994).

Qualitative Gradeinteilung nach Goutallier

Für die Beurteilung der Muskulatur der Rotatorenmanschette wurden axiale CT-Schichten im Weichteilfenster herangezogen. Referenzschicht für den M. supraspinatus war die, in der der M. supraspinatus zwischen Spina scapulae und dem Schulterblatt liegt. Für die Mm. subscapularis und infraspinatus wurden zwei Referenzschichten benutzt. Der obere Schnitt lag unterhalb des lateralen Ansatzes der Spina scapulae, der untere Schnitt verlief durch den unteren Teil des Glenohumeralgelenks.

Daraus entwickelte Goutallier eine fünfstufige Gradeinteilung zur Beurteilung der fettigen Degeneration der Muskulatur der Rotatorenmanschette:

- Grad 0: intaktes Muskelgewebe, keine Fetteinlagerungen
- Grad 1: intaktes Muskelgewebe mit vereinzelt streifigen Fetteinlagerungen
- Grad 2: deutliche Verfettung, aber noch mehr Muskel als Fett
- Grad 3: erhebliche Verfettung, gleichviel Muskel wie Fett
- Grad 4: fortgeschrittene fettige Degeneration, mehr Fett als Muskel

Quantitative Messung der fettigen Degeneration nach van de Sande

Fuchs und Zanetti (Fuchs et al. 1999) haben an T1-gewichteten parasagittalen MR-Schichten versucht, die fettige Degeneration zu quantifizieren. Eine Abnahme der Querschnittsfläche der Rotatorenmanschettenmuskulatur an einer definierten Schicht wurde als Atrophie der Muskulatur und in Korrelation dazu als Ausmaß der fettigen Degeneration gewertet. Allerdings wäre bei dieser Studie die angegebene Messmethode auf alleiniger Basis der Muskelquerschnittsfläche zu ungenau und nicht zuverlässig, um das Ausmaß der fettigen Degeneration zu quantifizieren.

Die CT eignet sich zur Dichtebestimmung unterschiedlicher Gewebe (Densitometrie), die als Verhältnis von physikalischer Dichte und Röntgen-Abschwächung in Hounsfield-Einheiten ausgedrückt werden kann (Goodpaster et al. 2000).

Daraus hat van de Sande geschlossen, dass die Messung der Muskeldichte zur Quantifizierung der fettigen Muskeldegeneration herangezogen werden kann und dass diese Methode zuverlässiger und reproduzierbarer sei, als der Goutallier-Score (van de Sande et al. 2005).

Zur Untersuchung dieser Hypothese wurden CT-Untersuchungen an Patienten mit rheumatoider Arthritis durchgeführt, da bei diesen Patienten gehäuft alle Schweregrade der Muskelatrophie auftreten.

Im Gegensatz zu den axialen Schichten bei Goutallier hat Fuchs nachgewiesen, dass die fettige Degeneration am zuverlässigsten an parasagittalen Schichten beurteilt werden kann. Aus den Primärschichten wurden multiplanare Rekonstruktionen parallel zum Glenohumeralgelenk hergestellt. Als Referenzschicht zur Beurteilung wurde die lateralste Schicht am Übergang der Spina scapulae in das Schulterblatt definiert (> Abb. 5-30).

Am Rekonstruktionsbild wurden dann zur Beurteilung der mittleren Muskeldichte (MMD) die Muskelquerschnitte der Rotatorenmanschette manuell markiert (umrandet). Zusätzlich wurde die Querschnittsfläche im mm^2 berechnet.

Durch die niedrige Standardabweichung und den hohen Interclass-Korrelationskoeffizienten zeigte die Messung im Gegensatz zur Goutallier-Methode eine hohe Übereinstimmung zwischen den Messungen und eine hohe Reproduzierbarkeit.

Ähnlich wie bei Fuchs fand sich in dieser Studie eine hohe Korrelation zwischen Dichtegrad der Muskulatur (MMD) und der Querschnittsfläche als Ausdruck der Atrophie.

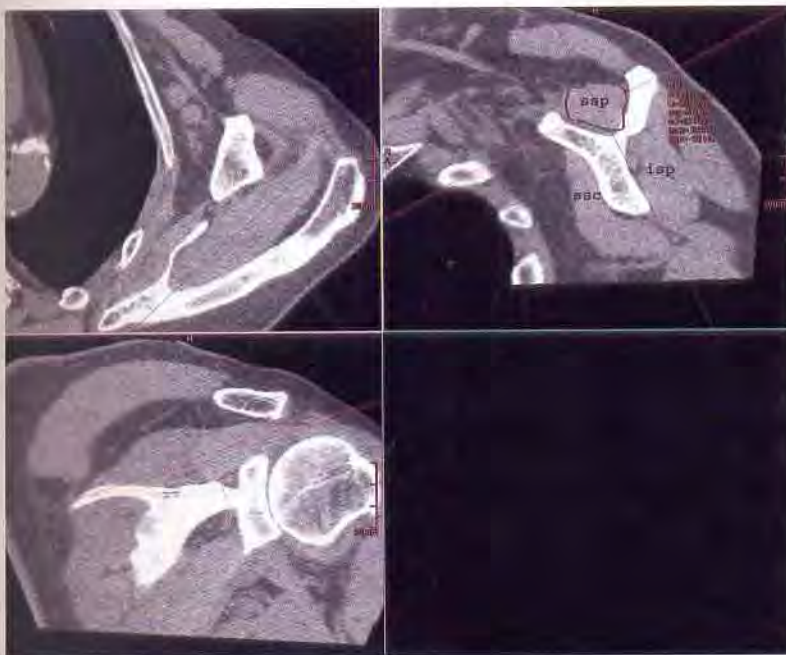


Abb. 5-30 CT-Bestimmung der Muskelatrophie im Weichteilfenster am reformatierten koronaren Bild. Beachte: Die Messebene sollte etwas hinter der Glenoidebene liegen, da bei einer Ruptur Sehne und Muskel retrahiert und dadurch das Messergebnis verfälscht sein könnte.

5.8 Defektarthropathien

Der Begriff der „Cuff tear arthropathy“ wurde von Charles Neer (Neer et al. 1983) geprägt. Er beschrieb die pathoanatomischen Veränderungen bei chronischem Rotatorenmanschettendefekt mit Erosionen der knöchernen Strukturen, Osteopenie des Humeruskopfs und eingeschränkter Beweglichkeit.

Pathomechanisch werden eine kristallmedierte, eine mechanisch-ernährungsbedingte und eine „Force-Couple“-Theorie beschrieben.

Die Defektarthropathien wurden von Hamada (Hamada et al. 1989) nach morphologisch-radiologischen Gesichtspunkten in fünf Schweregrade eingeteilt. Sirveaux (Sirveaux et al. 2004) beschrieb morphologische Veränderungen an Humeruskopf, Glenoid und Akromion (> Abb. 5-31a).

Gebräuchlich ist heute vor allem die pathomechanische Klassifikation nach Seebauer (Seebauer et al. 2005), die Rückschlüsse auf die Indikation zum prothetischen Gelenkersatz zulässt. Loew hat versucht, die Defektarthropathien nach strukturellen und funktionellen Gesichtspunkten einzuteilen (Loew et al. 2007).

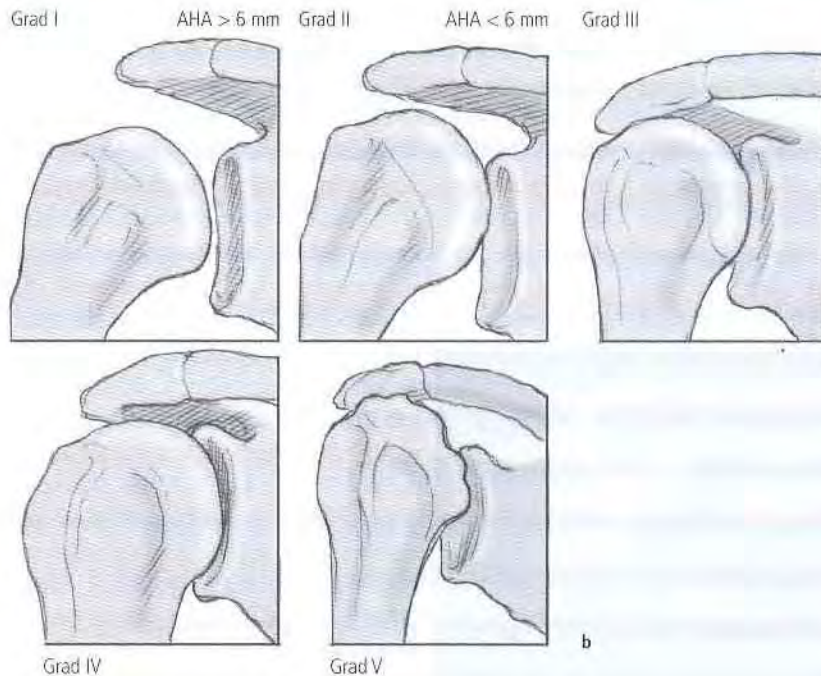
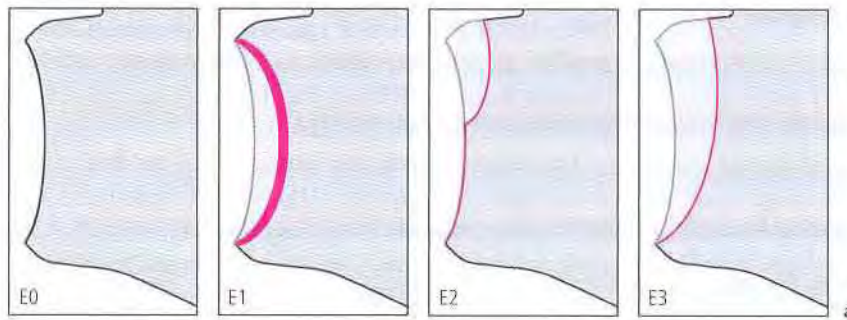


Abb. 5-31

a: Klassifikation der Glenoidmorphologie bei Cuff-Arthropathie nach Sirveaux. E0: Migration des Oberarmkopfs nach kranial ohne Glenoiderosion; E1: konzentrische Glenoiderosion; E2: Erosion des oberen Glenoidteils; E3: Erosionsausdehnung auf inferioren Glenoidteil.
 b: Klassifikation der Cuff-Arthropathie nach Hamada: Grad 1 bis 5.
 c: Pathomorphologische Klassifikation der Cuff-Arthropathie nach Seebauer (Seebauer et al. 2005); blau: Hebelarm; gelb: Zugrichtung der Deltamuskulatur).

Radiologische Klassifikation nach Hamada

Einteilung der Defektarthropathien nach Hamada et al. (1989; > Abb. 5-31b):

- Grad 1: der akromiohumere Abstand (AHA) > 6 mm
- Grad 2: der AHA < 6 mm
- Grad 3: Grad 2 plus Azetabularisierung
- Grad 4: Grad 3 plus Gelenkspaltverschmälerung
- Grad 5: zusätzlich Deformierung des Humeruskopfs.

Pathomechanische Klassifikation nach Seebauer

Unterschieden werden vier Typen hinsichtlich Position und Stabilität des glenohumeralen Drehzentrums. Die Typen unterscheiden sich in ihrer Prognose nach konventioneller prothetischer Versorgung (> Abb. 5-31c).

- Typ Ia: keine superiore Migration des Drehzentrums, stabiles Gelenk durch Azetabularisierung des Fornix humeri und Femuralisierung des Humeruskopfs
- Typ Ib: keine superiore Migration des Drehzentrums, signifikante mediale Glenoiderosion mit Medialisierung des Drehzentrums
- Typ IIa: superiore Migration des Drehzentrums, grenzwertig stabile Gelenksituation aufgrund residualer Stabilisierung durch intakten Fornix humeri
- Typ IIb: superiore Migration des Drehzentrums, antero-superior instabiles Gelenk.

Strukturell funktionelle Klassifikation nach Loew

- Stabiler, arthrotischer Typ I:
 - Gelenkspaltverschmälerung
 - Azetabularisierung
 - Kranzosteophyten mit starken Belastungsschmerzen
 - geringe Ruheschmerzen
 - noch gute Beweglichkeit und tolerable Kraftentwicklung unterhalb der Schulterhöhe
- Instabiler, areaktiver Typ II:
 - Humeruskopf und Glenoid ohne stärkere arthrotische Veränderungen
 - weiter Gelenkspalt
 - Weichteilenzündung und rezidivierende Ergussbildung
 - Aktive Beweglichkeit und Kraftentwicklung sind stark eingeschränkt
 - bei Abduktion und Flexion dezentriert der Humeruskopf
 - noch gute passive Beweglichkeit und geringer Ruheschmerz

- Nekrotischer, destruktiver Typ III:
 - ausgeprägte destruktive Deformierung des Humeruskopfs und erosive Veränderungen der Gelenkpfanne
 - Weichteilenzündungen
 - permanenter Ruhe- und Bewegungsschmerz
 - aktive Beweglichkeit weitgehend aufgehoben, passiv hochgradig eingeschränkt
 - vorwiegend Frauen betroffen.

5.9 Instabilitätsarthrose nach Samilson

Zur Beurteilung der glenohumeralen Arthrose, nicht nur der Instabilitätsarthrose, wird gerne die Klassifikation nach Samilson (Samilson und Prieto 1983) herangezogen. Sie beruht im Wesentlichen auf einer Beschreibung von Osteophytengröße und Gelenkspaltverschmälerung am nativen a.p. Röntgen-Bild (in Außen- und Innenrotation) und am axialen Röntgen-Bild. Die Klassifikation kann auch am CT-Bild verwendet werden. Eine eigene Klassifikation der glenohumeralen Arthrose am CT existiert bis dato nicht. Die Schwere der Arthrose wird hier in drei Graden als milde, moderate und schwere Arthrose beschrieben (> Abb. 5-32). Für die tatsächliche Schwere der Arthrose scheint allerdings diese Klassifikation ungenügend, da sie die Pfannenmorphologie nicht berücksichtigt.

MERKE

Insbesondere für die Planung eines prothetischen Gelenkersatzes, die Prognose und die Progredienz der Arthrose ist die Einbeziehung der Pfannendeformität, wie dies von Walch (Walch et al. 1999) beschrieben wurde, unerlässlich.

Hovelius (Hovelius und Saeboe 2008) hat eine Validierung des Arthrose-Scores von Samilson zur besseren Vergleichbarkeit von Röntgen-Bild-Befundungen hinsichtlich einer Arthrose durchgeführt und dabei den Area-Index (AI) angegeben.

Auf a.p. Aufnahmen in Außen- und Innenrotation wird der längste Teil des meist dreieckigen Osteophyten gemessen. Den AI erhält man dann durch Multiplikation der Osteophytenlänge C mit der senkrecht darauf gemessenen Osteophytenweite B, jeweils multipliziert mit dem Abweichungskoeffizienten k und nachfolgende Division durch 2. Der Abweichungskoeffizienten errechnet sich aus dem Kopfdurchmesser auf der a.p. Aufnahmen an der Knochen-Knorpel-Grenze dividiert durch den Durchschnittsdurchmesser (Männer 47 mm, Frauen 43 mm). Der AI berechnet sich also nach der Formel: $C \times k \times B \times k \div 2$.

Hovelius stellt auch fest, dass die Osteophytengröße bzw. der Osteophyten-AI nicht das einzige Kriterium bei der

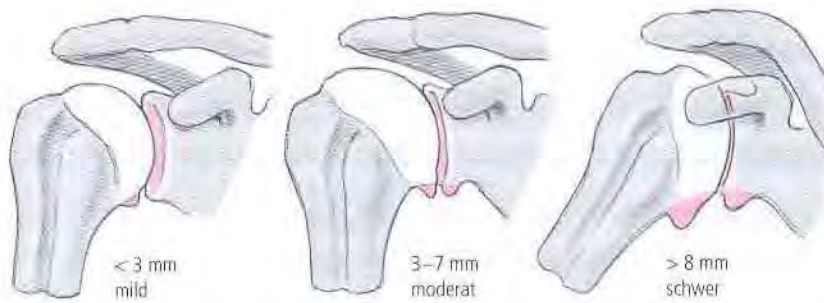


Abb. 5-32 Klassifikation der Instabilitätsarthrose nach Samilson und Prieto: Grad 1 bis 3.

Beurteilung der Klassifikation der (Instabilitäts-)Arthrose sein kann. Er führt als weitere Kriterien die Gelenkspaltverschmälerung und die Gelenkinkongruenz an.

Klassifikation nach Samilson und Prieto

- Grad 1 (milde Arthrose): Nachweis von Osteophyten mit einer Höhe von weniger als 3 mm am Humeruskopf und/oder am Glenoid am a.p. Röntgen-Bild bzw. CT. Entspricht einem AI von 2 bis 6
- Grad 2 (moderate Arthrose): Nachweis von Osteophyten mit einer Höhe zwischen 3 und 7 mm am Humeruskopf und/oder am Glenoid am a.p. Röntgen-Bild bzw. CT. Entspricht einem AI von 10,6 bis 15,1.
- Grad 3 (schwere Arthrose): Nachweis von Osteophyten mit einer Höhe von mehr als 7 mm am Humeruskopf und/oder am Glenoid am a.p. Röntgen-Bild bzw. CT sowie Gelenkspaltverschmälerung und Sklerose. Entspricht einem AI von 26,4 bis 30,3.

Klassifikation nach Rosenberg

Eine modifizierte etwas verfeinerte Graduierung der Arthrose (ebenfalls nach Schulterinstabilität) wurde von Rosenberg (Rosenberg et al. 1998) angegeben.

- Grad 0 – normal: keine Gelenkspaltverschmälerung, keine Osteophyten, keine Sklerose
- Grad 1 – minimale degenerative Veränderungen: leichte Gelenkveränderungen, Gelenkspaltverschmälerung < 1 mm, leichte Sklerose
- Grad 2 – moderate degenerative Veränderungen: Gelenkspaltverschmälerung < 2 mm, kleine Osteophyten, moderate Sklerose
- Grad 3 – schwere degenerative Veränderungen, ausgeprägte Gelenkspaltverschmälerung, ausgeprägte Osteophyten, ausgeprägte Sklerose, Gelenkzysten.

5.10 Rheumatoide Arthritis

Die Klassifizierung der rheumatoiden Arthritis ist für die sinnvolle Indikation zum Schultergelenkersatz mit oder ohne Glenoidkomponente wichtig. Während für die Primärdiagnostik das native Röntgen-Bild ausreichend ist, bringt die CT für die exakte Operationsplanung wichtige Zusatzinformationen, wie Beurteilung der häufig vorhandenen Kopfzysten und das Ausmaß der knöchernen Destruktion am Glenoid (Hedtmann und Werner 2007, Schill et al. 2002).

Am nativen Röntgen-Bild bzw. am CT lässt sich das radiologische Ausmaß der Gelenkdestruktion nach Larsen (Larsen et al. 1977) klassifizieren:

- Stadium 0: radiologische Veränderungen am Röntgen-Bild/CT sind nicht nachweisbar
- Stadium 1: erste arthritische Zeichen wie gelenknahe Osteoporose, periartikuläre Weichteilschwellung, noch keine Gelenkspaltverschmälerung, keine destruktiven Veränderungen
- Stadium 2: beginnende Gelenkspaltverschmälerung, beginnende Erosionen
- Stadium 3: zunehmende Gelenkspaltverschmälerung, radiologisch nachweisbare Usuren und Zystenbildungen, leichtes Höherentreten des Oberarmkopfs als Zeichen beginnender Veränderungen der Rotatorenmanschette
- Stadium 4: Gelenkspalt aufgehoben, ausgeprägte Destruktionen am Oberarmkopf und Glenoid mit Knochenstoffverlust und Medialisierung des Schulterdrehpunktes, eindeutiger Hochstand des Humeruskopfs
- Stadium 5: schwere Knochendeformitäten, Verlust der Gelenkkontur, ggf. Artikulation des Tuberculum majus mit dem ausgedünnten Akromion.

Unabhängig von dieser radiologischen Einteilung können drei radiologisch-morphologisch unterschiedliche rheumatoide Formen beschrieben werden (Habermeyer und Ebert 1999):

- entrierte („trockene“) Form: durch den gleichmäßigen zentralen Knochendefekt ist hier der totale Gelenkersatz indiziert

- destruktive („feuchte“) Form: die zystische Zerstörung der Gelenkfläche erlaubt nur eine Hemiprothese
- ascendierende Form: Kombination aus Rotatorenman-schettendefekt und superiorem Gelenkverbrauch, für eine Glenoidprothese zu hohe exzentrische Belastung.

Nach Hirooka (Hirooka et al. 1996) manifestiert sich der Verlauf der rheumatoiden Arthritis in fünf radiologische Formen:

- nichtprogressiver Typ, nur geringe entzündliche Veränderungen
- erosive Verlaufsform mit Usuren und Zysten, Humeruskopf bleibt erhalten
- Kollapstyp mit rasch progredientem Verlauf und Destruktion des Oberarmkopfes
- arthroseähnlicher Typ mit Sklerosierung und Osteophyten
- mutilierender Typ mit osteolytischem Verlauf.

Für die Berechnung des Ausmaßes der rheumatoiden Arthritis und die Prognose sind die folgenden Parameter hilfreich:

- Bestimmung der Medialisierungsdistanz (MD): Distanz von der lateralen Begrenzung des Tuberculum majus bis zum medialen Rand des Processus coracoideus
- Bestimmung des Kranialisierungindexes (upward migration index UI): Distanz vom Zentrum des Oberarmkopfs zur Unterfläche des Akromions dividiert durch den Radius des Oberarmkopfs
- Bestimmung des Medialisierungindexes (MI): Distanz vom Kopffzentrum zur Glenoidoberfläche dividiert durch den Kopfradius.

Lehtinen (Lehtinen et al. 2001) fand bei einer Untersuchung an 148 Rheumaschultern eine negative Korrelation zwischen der Larsen-Klassifikation und MI und UI, wobei der Kollaps der MD zwischen den Larsen-Stadien 4 und 5 eintrat. Daraus schloss er, dass ab einem Larsen-Stadium 3 die präoperative Planung für einen Gelenkersatz durchgeführt werden sollte.

5.11 Glenoiddysplasien

Glenoiddys- bzw. -hypoplasien sind relativ selten und bleiben bei milder Ausprägung häufig klinisch stumm und unerkannt. Sie sind meist beidseitig und finden sich hauptsächlich beim männlichen Geschlecht. Patienten mit ausgeprägter Dysplasie werden meist in der zweiten bis dritten Lebensdekade symptomatisch.

Einteilungen werden aus Fallberichten abgeleitet, eine einheitliche Klassifikation existiert nicht.

Wirth (Wirth et al. 1993) unterschied drei Gruppen:

- Patienten mit beidseitiger Glenoidhypoplasie mit Instabilität des Schultergelenks
- beidseitige Hypoplasie ohne Instabilität
- einseitige Hypoplasien mit Deformität des Oberarmkopfs.

Ätiologisch können Glenoiddysplasien kongenital, Folge von Geburtstraumen, Infektion, durch Muskeldystrophien oder Plexusläsionen bedingt sein. Die zugrunde liegende Ätiologie bei den kongenitalen Dysplasien ist nicht vollständig geklärt.

MERKE

Die Pathogenese liegt aber meist in einer fehlenden Ossifikation des inferioren Glenoids, wobei das Glenoid nicht fehlt, sondern der Knorpel der inferioren Glenoidapophyse nicht verknöchert ist.

Die Klinik bei nachgewiesener Glenoiddysplasie reicht von symptomlos über schmerzhafte Bewegungseinschränkung bis Instabilitätsbeschwerden, wobei eine komplette Schulterluxation kaum vorkommt.

Smith und Bunker (2001) haben zwei Gruppen beschrieben: Patienten, bei denen die Symptome unter dem 40. Lebensjahr begonnen haben (Gruppe 1) und Patienten mit Symptomen ab dem 40. Lebensjahr (Gruppe 2).

Alle Patienten der Gruppe 2 hatten deutliche arthrotische Veränderungen, während bei Patienten der Gruppe 1 keine arthrotischen Veränderungen nachgewiesen werden konnten. Als radiologische Auffälligkeiten werden neben der Glenoiddysplasie Veränderungen, Hypoplasien und Varusfehlstellung des Oberarmkopfs, gekrümmte laterale Klavikel, prominenter Processus coracoideus oder ein vergrößertes Akromion beschrieben.

Kongenitale Glenoiddysplasien (CGD) sind fast immer beidseitig und können in fünf Typen unterteilt werden (Smith und Bunker 2001):

- Primäre CGD: Unterentwicklung des inferioren Ossifikationszentrums im Glenoid beidseits, meist im Jugend- und Erwachsenenalter symptomatisch. Man unterscheidet eine glatte und eine zahnartige Form. Im Röntgen-Bild erscheint der untere Gelenkspalt durch eine verdickte bzw. nicht verknöcherte Knorpelschicht erweitert. Straffe Kapsel, verkleinertes Kapselvolumen (**> Abb. 5-33a und b**)
- CGD assoziiert mit anderen Anomalien: beidseitig, assoziiert u. a. mit Streckhemmung in Ellenbogen, Hand-, Kniegelenk, verkürzten Extremitäten, Skoliose der Wirbelsäule, Ösophagusatresie und Anomalien der Wirbelsäule, Gesichtsfehlbildungen
- CGD bei definierten Syndromen: z. B. Apert-Syndrom, Holt-Oram-Syndrom, Chromosom-8-Trisomie, Nail-Patella-Syndrom, Noonan-Syndrom

- CGD bei Mukopolysaccharidosen und Mukolipidosen: z.B. Hurler-Syndrom, Morquio-Syndrom, Maroteaux-Lamy-Syndrom
- CGD bei Skelettdysplasien: z.B. multiple epiphyseale Dysplasie, spondyloepiphysche Dysplasie und metaphysische Chondrodysplasie.

Differenzialdiagnostisch sind diese beidseitigen kongenitalen Dysplasien von den erworbenen Dysplasien, wie der einseitigen Glenoiddysplasie bei Erb-Plexuslähmung, abzugrenzen.

Zancoli und Zancoli (1988) unterschieden in ihrer Klassifikation bei Kindern mit einer geburtsbedingten Plexuslähmung mit Entwicklung einer Innenrotationskontraktur Kinder, die entweder eine Glenoiddeformität oder eine posteriore (Sub-)Luxation oder beides hatten. Pearl (Pearl und Edgerton 1998) führte im Rahmen einer Studie Arthrogramme bei 25 Kindern mit geburtsbedingter Plexuslähmung durch und beschrieb dabei vier Glenoidtypen: konzentrische, flache, bikonkave Form und Entwicklung eines Pseudoglenoids mit Früh- und Spätstadium (\gg Abb. 5-33c). In einer späteren Studie (Pearl et al. 2003), in der auch die MRT eingesetzt wurde, erweiterte er diese arthrographische Klassifikation:

- Konzentrischer Glenoidtyp: runder Humeruskopf zentriert in der Skapularebene (scapular centerline) in einem konkaven Glenoid

- Konzentrisch-posteriorer Glenoidtyp: Glenoid tendiert zu einer vermehrten Retroversion, Humeruskopf zentriert, aber posterior der scapular centerline
- Flacher Glenoidtyp: beinahe kompletter Verlust der Glenoidkurvatur, Humeruskopfzentrum liegt posterior der scapular centerline
- Bikonkaver Glenoidtyp: ein zentraler Apex unterteilt einen anterioren und posterioren Glenoidanteil, bei gleicher Glenoidversion, Humeruskopfzentrum liegt posterior der scapular centerline
- Pseudoglenoid – milde Form: wie bikonkaver Glenoidtyp, aber die Retroversion des posterioren Glenoidanteiles nimmt zu ($< 30^\circ$ relative zur scapular centerline)
- Pseudoglenoid – moderate Form: Retroversion des posterioren Glenoidanteiles liegt zwischen 30 bis 60°
- Pseudoglenoid – schwere Form: Retroversion des posterioren Glenoidanteiles ist größer als 60° , das Humeruskopfzentrum liegt posterior der scapular centerline mit deutlicher Medialisierung des Humeruskopfs.

Ähnlich wie bei der Entstehung einer Arthrose beim Erwachsenen mit posteriorem Glenoiddefekt und posteriorer Subluxationsstellung des Humeruskopfs, kommt es bei der Glenoiddysplasie bei Erb-Plexuslähmung aufgrund der permanenten, durch die Innenrotationskontraktur bedingten nach posterior gerichteten Kraft zu einer Erosion oder Entwicklungshemmung des posterioren Glenoidanteils.

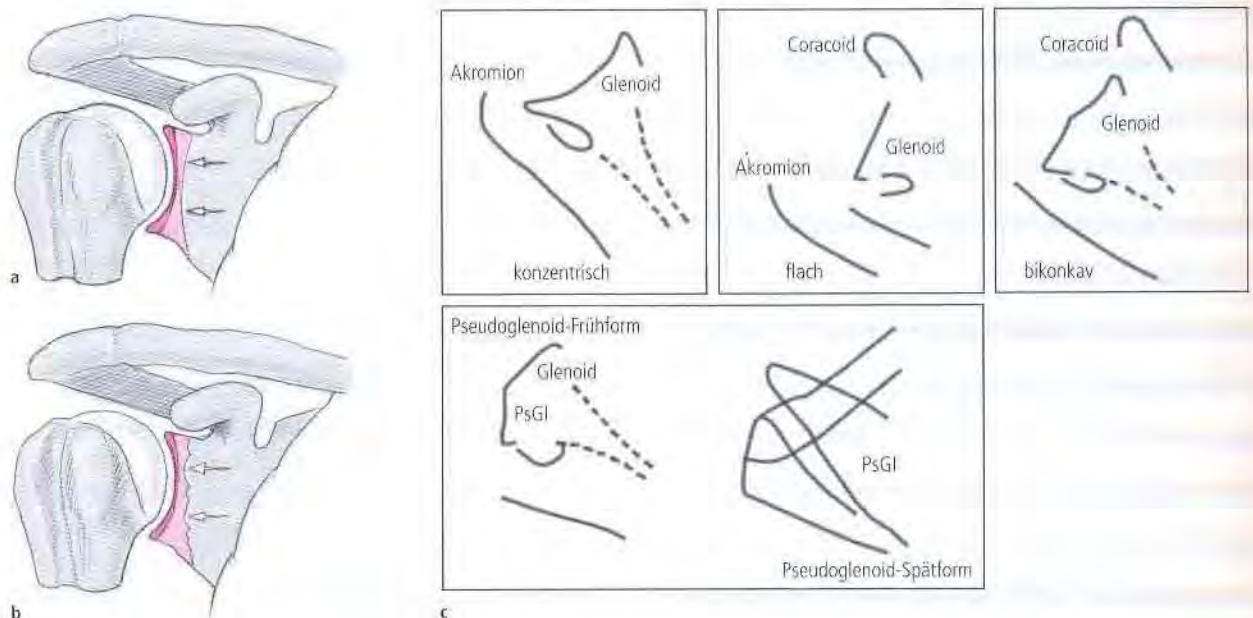


Abb. 5-33

a und b: Zwei Typen der kongenitalen Glenoiddysplasie am Röntgen-Bild: (a) glatter Typ und (b) dentaler Typ. Beachte: das im Röntgen-Bild ersichtliche Vakuumphänomen und der fehlende ossäre Glenoidteil beruhen auf dem nichtossifizierten unteren Glenoidteil, während z.B. die Gelenkfläche arthroscopisch unauffällig erscheint.

c: Mögliche Glenoiddysplasien als Folge einer geburtsbedingten Plexuslähmung: Die Formen reichen von einem konzentrischen bis zu einem deformierten retrovertierten Glenoid (PsGI: Pseudoglenoid).

Der Schweregrad der Glenoiddysplasie war in dieser Studie statistisch signifikant assoziiert mit dem Ausmaß der Innenrotationseinschränkung: So hatten die schwersten Deformitäten (Pseudoglenoid) die größte Innenrotationseinschränkung.

Bei der Behandlung dieser Patienten mit Release der ventralen Kapsel und Tenotomie des M. subscapularis und zusätzlichem Latissimus-dorsi-Transfer (bei Kindern über vier Jahren) kam es bei einem Großteil der Kinder mit Glenoiddysplasie zu einem Remodeling-Prozess des Glenoids. Acht von neun nachuntersuchten Kindern mit konzentrisch posteriorem Glenoidtyp wandelten sich in einen vollen konzentrischen Typ, elf von 15 Kindern mit nicht-konzentrischem Glenoidtyp zeigten ein exzessives glenohumerales Remodeling in eine konzentrische Glenoidform. Bei einem Kind zeigte sich eine Umwandlung in einen konzentrisch posterioren Glenoidtyp, bei drei Kindern verblieb die Glenoiddysplasie.

Literatur

- Arndt JH, Sears AD (1965) Posterior dislocation of the shoulder. *Am J Roentgenol* 94: 639.
- Aschauer E, Resch H, Hübner C (2007) Percutaneous osteosynthesis of humeral head fractures. *Oper Orthop Traumatol* 19: 276–293.
- Bankart ASB (1923) Recurrent or habitual dislocation of the shoulder. *Brit Med J* II: 1132.
- Bernageau JD, Patte D, Debeyre J et al. (1976) Intérêt du profil glénoïdien dans les luxations récidivantes de l'épaule. *Rev Chir Orthop (Suppl. 2)* 62: 142–147.
- Bernau A (1995) Orthopädische Röntgendiagnostik. Einstelltechnik, 3. Aufl. Urban & Schwarzenberg, München – Wien – Baltimore.
- Bigliani LU, Morrison DS, April EW (1982) The morphology of the acromion and its relationship to the rotator cuff tears. *Orthop Trans* 10: 228.
- Bloom MH, Obata WG (1967) Diagnosis of posterior dislocation of the shoulder with use of Velpeau axillary and angle-up roentgenography views. *J Bone Jt Surg* 49-A: 943.
- Bonnin JM (1993) Le radiographie simple dans les ruptures de coiffe. In: Walch G, Noël E, P. Léotard (eds) Journées Lyonnaises de l'Épaule, pp. 14–19. Clinique de Chirurgie Orthopédique Traumatologique, Centre Hospitalier Lyon-Sud.
- Brown WH, Dennis JM, Davidson CHN et al. (1957) Posterior dislocation of the shoulder. *Radiology* 69: 815.
- Burkhart SS, De Beer JF (2000) Traumatic glenohumeral bone defects and their relationship to failure of arthroscopic Bankart repairs: significance of the inverted-pear glenoid and the humeral engaging Hill-Sachs lesion. *Arthroscopy* 16: 677–694.
- Burkhart SS, Debeer JF, Tehrany AM, Parten PM (2002) Quantifying glenoid bone loss arthroscopically in shoulder instability. *Arthroscopy* 18: 488–491.
- Cisternino SJ, Rogers LE, Bradley CS et al. (1978) The trough line: a radiographic sign of posterior shoulder dislocation. *Am J Roentgenol* 130: 951.
- Corradi C, Del Moro VM (1953) La lussazione posteriore della spalla contributo radiologico. *Arch Orthop Unfall Chir* 66: 475.
- Cyprien JM, Vasey HM, Burdet A, Bonvin JC, Kritsikis N, Vaugneat P (1983) Humeral retrotorsion and glenohumeral relationship in the normal shoulder and in recurrent anterior dislocation (scapulometry). *Clin Orthop* 175: 8–17.
- Danzig LA, Greenway G, Resnick D (1980) The Hill-Sachs lesion: an experimental study. *Am J Sports Med* 8: 328.
- De Palma AF (1978) *Surgery of the Shoulder*, 3rd ed. Lippincott, Philadelphia.
- Deutsch A, Resnick D, Mink JH (1984) Computed and conventional arthrography of the glenohumeral joint: normal anatomy and clinical experience. *Radiology* 153: 603–609.
- Dorgan JA (1955) Posterior dislocation of the shoulder. *Am J Surg* 89: 890.
- Fisk C (1985) Adaptation of the technique for radiography of the bicipital groove. *Radiol Technol* 37: 47–50.
- Friedman RJ, Hawthorne KB, Genez BM (1992) The use of computerized tomography in the measurement of glenoid version. *J Bone Joint Surg* 74-A: 1032–1037.
- Fuchs B, Weishaupt D, Zanetti M, Hodler J, Gerber C (1999) Fatty degeneration of the muscles of the rotator cuff: assessment by computed tomography versus magnetic resonance imaging. *J Shoulder Elbow Surg* 8: 599–605.
- Galanski M, Prokop M (1998) Ganzkörpertomographie.
- Gärtner J, Simons B (1990) Analysis of calcific deposits in calcifying tendinitis. *Clin Orthop Relat Res* 254: 111–120.
- Golding FC (1962) The shoulder – the forgotten joint. *Brit J Radiol* 35: 149.
- Goldmann AB, Dines DM, Warren RF (1982) *Shoulder Arthrography: Technique, Diagnosis, and Clinical Correlation*. Little Brown, Boston.
- Goodpaster BH, Kelley DE, Thaete FL, He J, Ross R (2000) Skeletal muscle attenuation determined by computed tomography is associated with skeletal muscle lipid content. *J Appl Physiol* 89: 104–110.
- Goutallier D, Postel JM, Bernageau J, Lavau L, Voisin MC (1994) Fatty muscle degeneration in cuff ruptures. Pre- and post-operative evaluation by CT scan. *Clin Orthop Relat Res* 304: 78–83.
- Griffith JE, Antonio GE, Tong CW, Ming CK (2002) Anterior shoulder dislocation: quantification of glenoid bone loss with CT. *Am J Roentgenol* 180: 1423–1430.
- Griffith JE, Yung PS, Antonio GE, Tsang PH, Ahuja AT, Chan KM (2007) CT compared with arthroscopy in quantifying glenoid bone loss. *Am J Roentgenol* 189: 1490–1493.
- Habermeyer P, Ebert T (1999) Aktueller Entwicklungsstand und Perspektiven der Schulterendoprothetik. *Unfallchirurg* 102: 668–683.
- Habermeyer P, Magosch P, Luz V, Lichtenberg S (2006) Three-dimensional glenoid deformity in patients with osteoarthritis: a radiographic analysis. *J Bone Joint Surg Am* 88-A: 1301–1307.
- Habermeyer P, Magosch P, Lichtenberg S. (2006) Recentering the humeral head for glenoid deficiency in total shoulder arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res* 457: 124–132.
- Habermeyer P, Magosch P, Lichtenberg S. (2006) Classifikations and scores of the shoulder. Springer.
- Hamada K, Fukuda H, Mikasa M, Kobayashi Y (1989) Roentgenographic findings in massive rotator cuff tears. A long-term observation. *Clin Orthop Relat Res* 254: 92–96.

7 Ultraschalluntersuchung der Schulter

Gerd Gruber und Werner Konermann

| | | |
|-------|---|-----|
| 7.1 | Technik der Ultraschalluntersuchung, Dokumentation und Befundung | 166 |
| 7.2 | Sonographische Schulteruntersuchung in Standardschnittebenen | 166 |
| 7.2.1 | Dorsale Region – Transversalschnitt | 167 |
| 7.2.2 | Dorsale Region – Longitudinalschnitt | 167 |
| 7.2.3 | Lateral-superiore Region – Transversalschnitt | 168 |
| 7.2.4 | Lateral-superiore Region – Longitudinalschnitt | 169 |
| 7.2.5 | Ventrale Region – Transversalschnitt | 169 |
| 7.2.6 | Ventrale Region – Longitudinalschnitt | 170 |
| 7.3 | Zusatzschnittebene Akromioklavikulargelenk – Longitudinalschnitt | 172 |
| 7.4 | Verletzung des AC-Gelenks | 172 |
| 7.5 | Omarthritis | 173 |
| 7.6 | Bursitiden und Tenosynovialitiden | 173 |
| 7.7 | Proximale Ruptur der langen Bizepssehne | 176 |
| 7.8 | Luxation der langen Bizepssehne und Rotatorenintervallläsion | 177 |
| 7.9 | Tendinosis calcarea | 177 |
| 7.10 | Rotatorenmanschettenläsion | 178 |
| 7.11 | Schultergelenkluxation | 179 |
| 7.12 | Nervenengpassyndrom | 180 |
| 7.13 | Paraglenoidale Zyste | 182 |

Die sonographische Untersuchung der Schulter gehört zur Primärdiagnostik bei Schmerzen, Erkrankungen und Verletzungen des Schultergelenks und sollte nach Erhebung der Anamnese und nach der klinischen Untersuchung, jedoch vor weitergehenden teuren oder mit ionisierenden Strahlen belastenden bildgebenden Untersuchungsverfahren eingesetzt werden.

Typische pathologische Befunde und Indikationen für die sonographische Untersuchung des Schultergelenks sind in > Tabelle 7-1 aufgelistet.

7.1 Technik der Ultraschalluntersuchung, Dokumentation und Befundung

Für die Ultraschalluntersuchung des Schultergelenks empfiehlt sich die Verwendung eines Ultraschallgerätes mit einem Linearschallkopf mit einer Frequenz von 7,5 MHz. Bei stark muskulösen oder adipösen Patienten ist hiermit eventuell die Eindringtiefe zu gering, sodass in diesen seltenen Fällen ein Linearschallkopf mit einer Frequenz von 5 MHz empfohlen wird. Auf die Verwendung einer sog. Vorlaufstrecke kann in der Regel verzichtet werden. Ein konvex geformter Schallkopf (Sektorschallkopf oder curved array) bleibt speziellen Fragestellungen, wie z. B. der Bankart-Läsion, vorbehalten.

Der Patient sitzt mit entkleidetem Oberkörper aufrecht auf einem Untersuchungshocker zwischen dem Untersu-

cher und dem Ultraschallgerät – mit Blick auf den Monitor. Während der Untersuchung werden Rotationsbewegungen im Schultergelenk durchgeführt. Hierfür empfiehlt es sich, die untersuchte Extremität entweder frei hängen zu lassen oder aber in einer 90°-Beugstellung des Ellenbogengelenks zu positionieren.

MERKE

Es werden grundsätzlich alle sechs Standardschnittebenen eingestellt, zunächst die dorsale Region, dann die lateral-superiore Region und abschließend die ventrale Region.

Bei speziellen Fragestellungen werden additiv spezielle Schnittebenen eingestellt; z. B. Einstellung des AC-Gelenks oder des Labrum glenoidale anterius. Falls die interessierende Region durch die sechs Standardschnittebenen nicht erfasst wird, muss diese zusätzlich in zwei aufeinander senkrecht stehenden Schnittebenen untersucht werden. Von außerordentlicher Wichtigkeit ist die passive dynamische Untersuchung, damit auch kleinere pathologische Veränderungen dem Untersucher nicht entgehen. Hierdurch wird die flächendeckende Untersuchung des Schultergelenks ermöglicht.

Jedes untersuchte Schultergelenk wird mit zumindest zwei Abbildungen dokumentiert und zusätzlich schriftlich befundet. Bei Vorliegen eines pathologischen Befundes wird dieser in zwei unterschiedlichen Schnittebenen dokumentiert; falls sich kein pathologischer Befund finden lässt, werden zwei Standardschnittebenen nach Wahl dokumentiert – in diesem Falle empfehlen wir die Dokumentation der beiden Schnittebenen in der lateral-superioren Region.

Definitionsgemäß entspricht bei der Dokumentation der obere Monitorrand dem schallkopfnahen Bereich, der untere Monitorrand entspricht dem schallkopffernen Bereich. Der linke Monitorrand entspricht dem proximalen oder medialen Bereich, der rechte Monitorrand dem distalen oder lateralen Bereich. Es werden helle Strukturen auf dunklem Untergrund abgebildet.

7.2 Sonographische Schulteruntersuchung in Standardschnittebenen

Das Schultergelenk wird nach den Richtlinien des Arbeitskreises „Stütz- und Bewegungsorgane“ der DEGUM und der DGOU in sechs Standardschnittebenen erfasst. Es werden hierfür, bezogen auf die Skapulalängsachse, in der dorsalen, der lateral-superioren und der ventralen Region, jeweils eine Longitudinal- und eine Transversalschnittebene eingestellt (> Tab. 7-2).

Tab. 7-1 Typische pathologische Befunde und Indikationen für die Ultraschalluntersuchung der Schulter.

| Befunde und Indikationen | Eingeschränkte Indikationen |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Ossäre Destruktion/Usur/ Fraktur • Hill-Sachs-Läsion • Osteophyt • Freier Gelenkkörper • Synovialitis, Gelenkerguss • Bursitis • Tenosynovialitis bicipitis • Subluxation und Luxation der langen Bizepssehne • Bizepssehnenruptur • Rotatorenmanschettenläsion • Tendinosis calcarea • Veränderungen und Verletzungen des AC-Gelenks • Schultergelenkinstabilität • Engpassyndrom des N. suprascapularis • Chronische Polyarthritits • Tumor | <ul style="list-style-type: none"> • Veränderungen des ventralen Pfannenrandes (Bankart-Läsion) • Veränderungen des Humerushals-Retrotorsionswinkels |

Tab. 7-2 Standardschnittebenen der DEGUM und der DGOU für das Schultergelenk.

| | |
|--------------------------|--|
| Dorsale Region | <ul style="list-style-type: none"> • Transversalschnitt • Longitudinalschnitt |
| Lateral-superiore Region | <ul style="list-style-type: none"> • Transversalschnitt (korakoakromialer Schnitt) • Longitudinalschnitt |
| Ventrale Region | <ul style="list-style-type: none"> • Transversalschnitt • Longitudinalschnitt |

7.2.1 Dorsale Region – Transversalschnitt

Für die Einstellung der dorsalen Transversalschnittebene wird der Schallkopf im Bereich der Fossa infraspinata nach lateral ansteigend aufgesetzt. Die Skapula und der Humeruskopf bilden die knöchernen Leitstrukturen. Abgebildet werden ferner das Labrum glenoidale posterius, der längsgeschnittene M. infraspinatus und der quergeschnittene M. deltoideus. Zwischen diesen beiden Muskeln erscheint

die Bursa subdeltoidea beim Gesunden als echogene Linie. Wird der Schallkopf parallel nach distal geschoben, wird der M. teres minor im Längsverlauf dargestellt. In der dynamischen Untersuchung wird der Humeruskopf bei Innenrotation von der Infraspinatussehne bedeckt, bei Außenrotation „wickelt“ sich diese vom Humeruskopf ab und befindet sich in der Fossa infraspinata (> Abb. 7-1a bis c).

7.2.2 Dorsale Region – Longitudinalschnitt

Für die Einstellung der dorsalen Longitudinalschnittebene wird der Oberarm innenrotiert (zu empfehlen ist der „Schürzengriff“). Der Schallkopf wird nahezu senkrecht zur vorgenannten Schnittebene gedreht und befindet sich somit im Längsverlauf des proximalen Humerusschaftes. Das Akromion und der proximale Humerus bilden die knöchernen Leitstrukturen. In Innenrotation werden die Außenrotatoren dem proximalen Humerus konvex aufliegend im Querschnitt abgebildet: Dieses sind – von distal

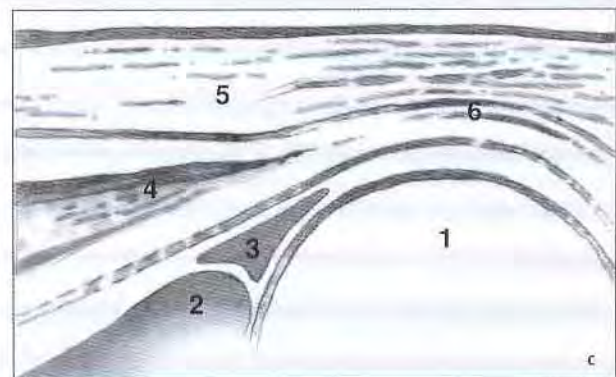
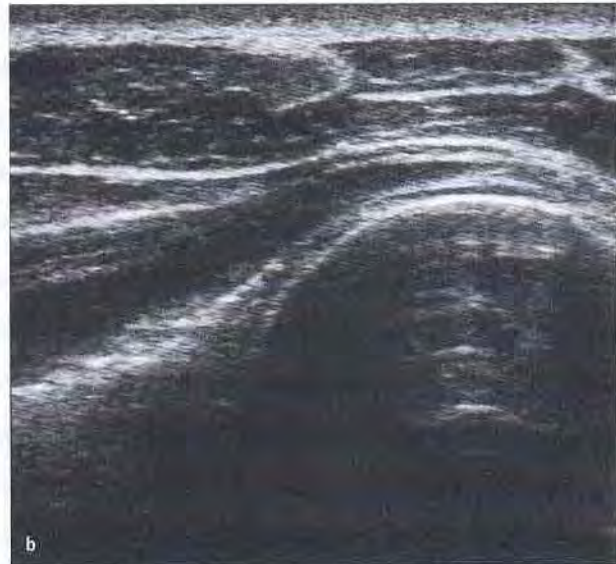


Abb. 7-1 Dorsale Region – Transversalschnitt.
 a: Schallkopfposition.
 b: Ultraschallbild.
 c: Schematische Darstellung (1 = Humeruskopf, 2 = Skapula, 3 = Labrum glenoidale posterius, 4 = M. infraspinatus, 5 = M. deltoideus, 6 = Bursa subdeltoidea). (Abb. 7-1a mit freundlicher Genehmigung des Thieme Verlags aus: Konermann W, Gruber G (2000) Ultraschalldiagnostik der Stütz- und Bewegungsorgane. Thieme Verlag, Stuttgart–New York.)

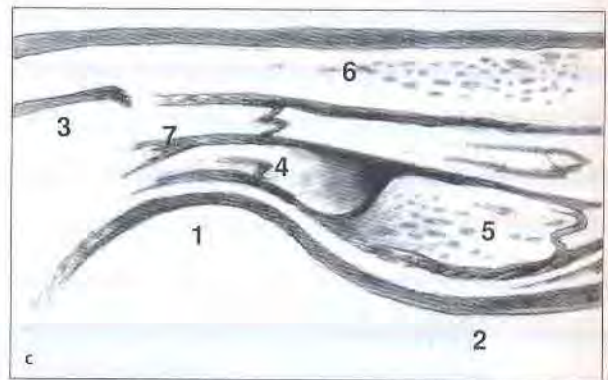
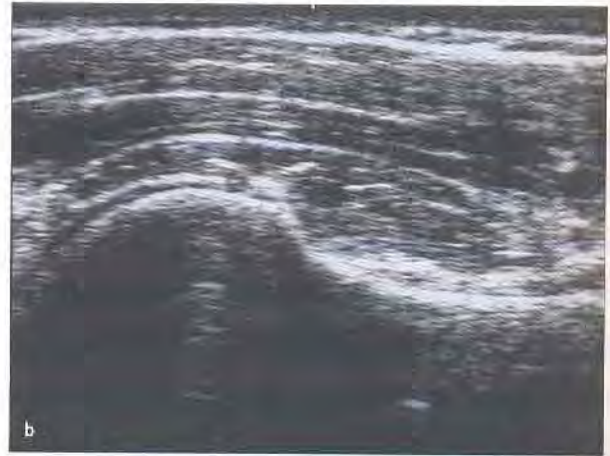


Abb. 7-2 Dorsale Region – Longitudinalschnitt.
 a: Schallkopfposition.
 b: Ultraschallbild.
 c: Schematische Darstellung (1 = Humeruskopf, 2 = Humerusschaft, 3 = Akromion, 4 = M. infraspinatus, 5 = M. teres minor, 6 = M. deltoideus, 7 = Bursa subdeltoidea). (Abb. 7-2a mit freundlicher Genehmigung des Thieme-Verlags aus: Konermann W, Gruber G (2000) Ultraschalldiagnostik der Stütz- und Bewegungsorgane. Thieme, Stuttgart – New York.)

nach proximal – der M. teres minor, der M. infraspinatus und der M. supraspinatus, welcher sich jedoch zum größten Teil im Schallschatten des Akromions befindet und somit in dieser Schnittebene nicht suffizient beurteilt werden kann. Zwischen den Außenrotatoren und dem Subkutangewebe stellt sich der M. deltoideus im Längsschnitt dar. Die Bursa subdeltoidea kommt beim Gesunden als echo-gene Linie zwischen dem M. deltoideus und den Außenrotatoren zur Abbildung (> Abb. 7-2a bis c).

7.2.3 Lateral-superiore Region – Transversalschnitt

Für die Einstellung der lateral-superioren Transversalschnittebene wird der Schallkopf zunächst im Längsverlauf über dem Lig. coracoacromiale aufgesetzt und anschließend parallel nach kaudal geschoben.

MERKE

Die korrekt eingestellte Schnittebene entspricht der Form eines Wagenrades (der Humeruskopf entspricht hierbei der Felge, die Rotatorenmanschette dem Reifen).

Das Coracoid und der Humeruskopf bilden die knöchernen Leitstrukturen. Abgebildet werden ferner die Rotatorenmanschette und der quergeschnittene M. deltoideus. Nach Identifikation der quergeschnittenen längsovalen langen Bizepssehne (LBS; diese wird in Neutralposition des Oberarms im Sulcus gelegen typischerweise bei 11 Uhr abgebildet) ist es sehr leicht, die entsprechenden Muskeln und Sehnen der Rotatorenmanschette zu identifizieren bzw. bei Vorliegen einer Rotatorenmanschettenläsion exakt die Lokalisation der Läsion zu bezeichnen. Die LBS stellt sich bei orthograder Schallrichtung echogen, bei schräger Schallrichtung echoarm dar. Medial der LBS wird der M. subscapularis abgebildet, lateral der LBS schließen sich die Sehne des M. supraspinatus und des M. infraspinatus an. Durch Rotationsbewegungen des Oberarmes lässt sich bei maximaler Innenrotation die Infraspinatussehne und bei Außenrotation die Subskapularissehne beurteilen. Zwischen der Rotatorenmanschette und dem M. deltoideus befindet sich die Bursa coracobrachialis als schmale echoarme Linie mit echogener Begrenzung (> Abb. 7-3a bis c).

Falls die LBS oder der Sulcus intertubercularis als Orientierungsmerkmale nicht mit abgebildet werden, empfiehlt es sich, zu dokumentieren, ob die Abbildung in Innen- oder in Außenrotationsstellung des Oberarms eingestellt wurde,

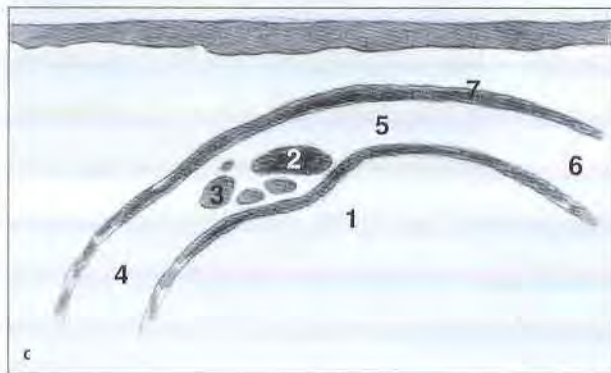
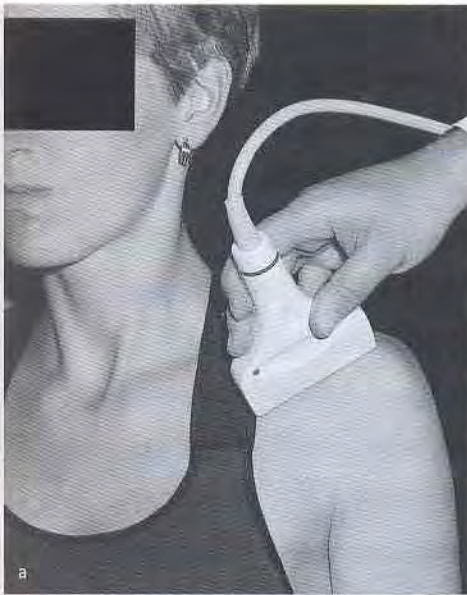


Abb. 7-3 Lateral-superiore Region – Transversalschnitt.

a: Schallkopfposition.

b: Ultraschallbild.

c: Schematische Darstellung (1 = Humeruskopf, 2 = LBS, 3 = Lig. glenohumerale medium, 4 = Subskapularissehne, 5 = Supraspinatussehne, 6 = Infraspinatussehne, 7 = Bursa coracobrachialis). (Abb. 7-3a mit freundlicher Genehmigung des Thieme-Verlags aus: Konermann W, Gruber G (2000) Ultraschalldiagnostik der Stütz- und Bewegungsorgane. Thieme, Stuttgart – New York.)

da sonst eine eindeutige Zuordnung der dargestellten Sehnen nicht möglich ist. Der Schallkopf darf nicht zu weit kaudal platziert werden, da sonst falsch-positive Befunde einer Rotatorenmanschettenläsion resultieren können. In diesem Falle würde die Schallkopfposition distal der Ansatzregion der Supraspinatussehne liegen.

7.2.4 Lateral-superiore Region – Longitudinalschnitt

Für die Einstellung der lateral-superioren Longitudinalschnittebene wird der Schallkopf unmittelbar im Längsverlauf über der Supraspinatussehne aufgesetzt. Bei geringer Weichteildeckung kann die Verwendung einer Vorlaufstrecke die Schallkopfplatzierung erleichtern. Das Akromion und der Humeruskopf bilden die knöchernen Leitstrukturen. Die längsgeschnittene Supraspinatussehne liegt direkt dem Humeruskopf auf und hat beim Gesunden in jeder Rotationsstellung des Oberarmes eine nach kranial konvexe Form.

MERKE

Die unauffällige Supraspinatussehne hat die Form eines „Rabenschnabels“, bei Vorliegen einer Supraspinatussehnenläsion ist die „Schnabelform“ typischerweise abgeflacht („Entenschnabel“).

Bei maximaler Innenrotationsstellung des Oberarmes wird die im Vergleich zur Supraspinatussehne etwas dünnere Infraspinatussehne sichtbar. Bei maximaler Außenrotation kann die LBS als echogene Struktur im Sulcus intertubercularis erfasst werden. Unmittelbar kranial der Supraspinatussehne und der Bursa subdeltoidea schließt sich der längsgeschnittene M. deltoideus an (> Abb. 7-4a bis c).

7.2.5 Ventrale Region – Transversalschnitt

Für die Einstellung der ventralen Transversalschnittebene wird der Schallkopf in streng horizontaler Ebene von ventral an das Schultergelenk herangeführt. Der Proc. coracoideus und die Silhouette der ventralen Humerusregion mit Tuberculum minus und majus sowie dem dazwischenliegenden Sulcus intertubercularis bilden die knöchernen Leitstrukturen.

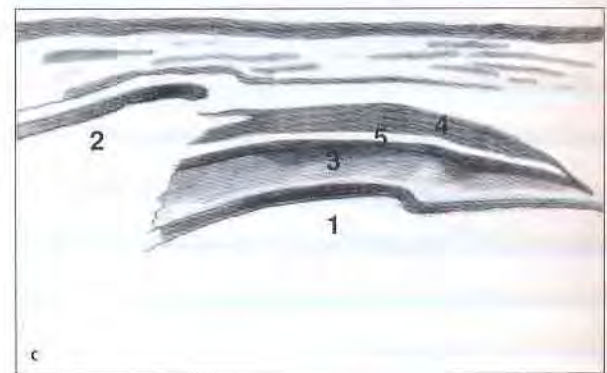
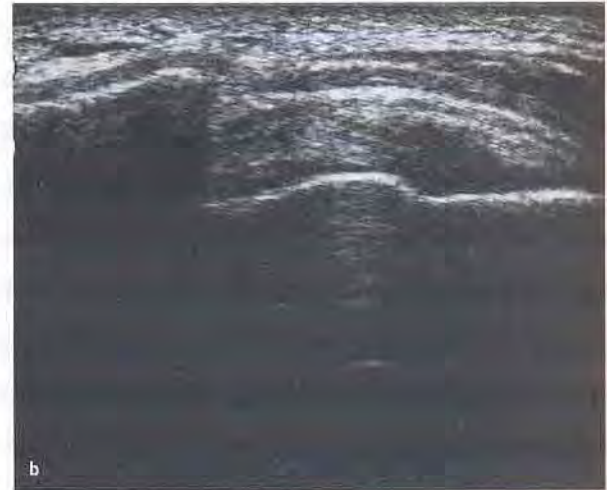


Abb. 7-4 Lateral-superiore Region – Longitudinalschnitt.
 a: Schallkopfposition.
 b: Ultraschallbild.
 c: Schematische Darstellung (1 = Humeruskopf, 2 = Akromion, 3 = Supraspinatussehne, 4 = M. deltoideus, 5 = Bursa subdeltoidea).
 (Abb. 7-4a mit freundlicher Genehmigung des Thieme-Verlags aus: Konermann W, Gruber G (2000) Ultraschalldiagnostik der Stütz- und Bewegungsorgane. Thieme, Stuttgart – New York.)

MERKE

Die LBS wird bei orthograder Anschallrichtung als echogene, nahezu kreisrunde Struktur im Sulcus intertubercularis dargestellt. Bei schräger Anschallrichtung stellt sich die LBS echoarm dar.

Das Lig. transversum kann als echogenes Band ventral der LBS quer verlaufend abgebildet werden. Der M. subscapularis befindet sich medial des Tuberculum minus. In Neutralstellung ist dieser Muskel echoarm, bei Außenrotation des Oberarms echogen abgebildet, da dann seine intramuskulären Septen von den Schallwellen orthograd getroffen werden. Der M. deltoideus befindet sich ventral aller aufgeführter Strukturen. Beim Gesunden sind die Bursa coracobrachialis und die Bursa subscapularis in der Regel nicht darstellbar (> Abb. 7-5a bis e). Erst bei Vorliegen von Flüssigkeit in der Bursa stellt sich diese mit unterschiedlicher Echogenität und ggf. mit Binnenechos dar.

7.2.6 Ventrale Region – Longitudinalschnitt

Für die Einstellung der ventralen Longitudinalschnittebene wird der Schallkopf von ventral streng vertikal an den proximalen Humerusschaft herangeführt.

MERKE

Die Einstellung wird erleichtert, indem der zuvor eingestellte ventrale Transversalschnitt mit dem Sulcus intertubercularis in der 12-Uhr-Position abgeschlossen wird.

Der proximale Humerusschaft ist die knöcherne Leitstruktur. Parallel und ventral hiervon kommt die LBS im Längsschnitt zur Abbildung. Das Ziel ist es, diese in orthograder Schallrichtung echogen abzubilden. Bei schräger Schallrichtung wird sie echoarm abgebildet und kann dann nicht sicher gegen eine Tenosynovialitis abgegrenzt werden. Der längsgeschnittene M. deltoideus befindet sich ventral der LBS (> Abb. 7-6a bis c).

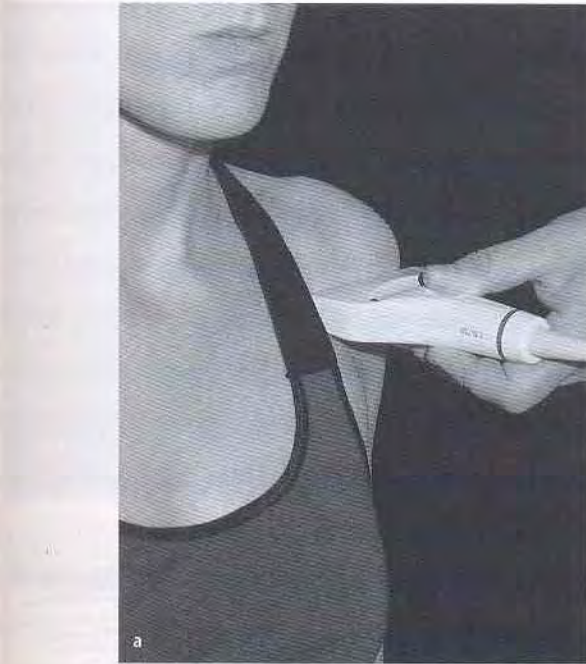


Abb. 7-5 Ventrale Region – Transversalschnitt. Einstellung in Neutralstellung des Oberarms (a bis c) und in Außenrotationsstellung des Oberarms (d und e).

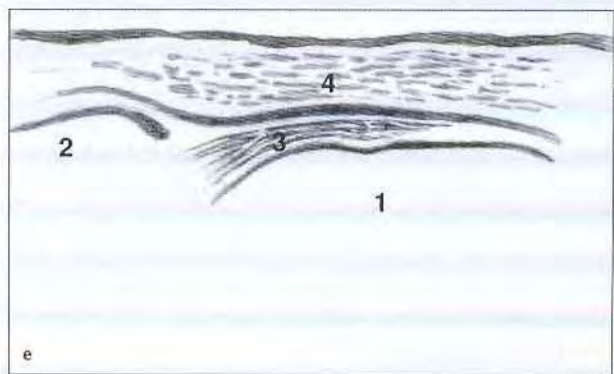
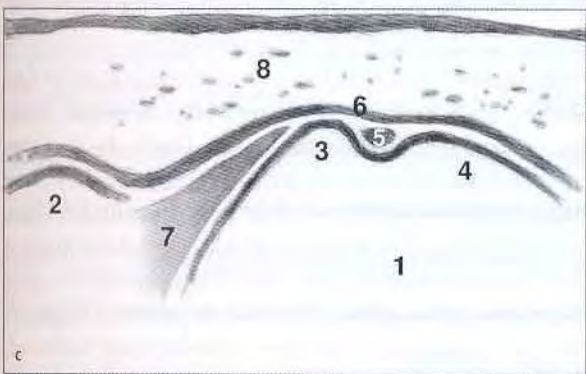
a: Schallkopfposition.

b: Ultraschallbild.

c: Schematische Darstellung (1 = Humeruskopf, 2 = Proc. coracoideus, 3 = Tuberculum minus, 4 = Tuberculum majus, 5 = LBS, 6 = Lig. transversum, 7 = M. subscapularis, 8 = M. deltoideus).

d: Ultraschallbild.

e: Schematische Darstellung (1 = Humeruskopf, 2 = Proc. coracoideus, 3 = M. subscapularis, 4 = M. deltoideus). (Abb. 7-5a mit freundlicher Genehmigung des Thieme-Verlags aus: Konermann W, Gruber G (2000) Ultraschalldiagnostik der Stütz- und Bewegungsorgane. Thieme, Stuttgart – New York.)



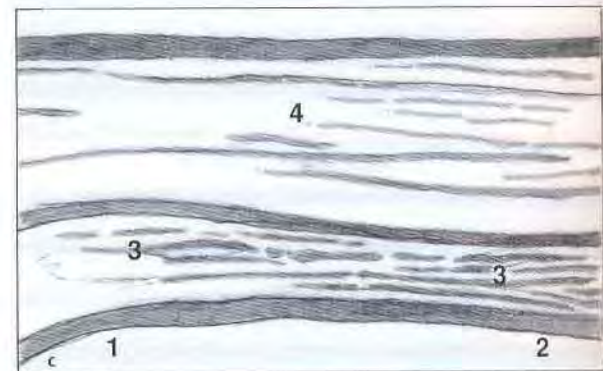
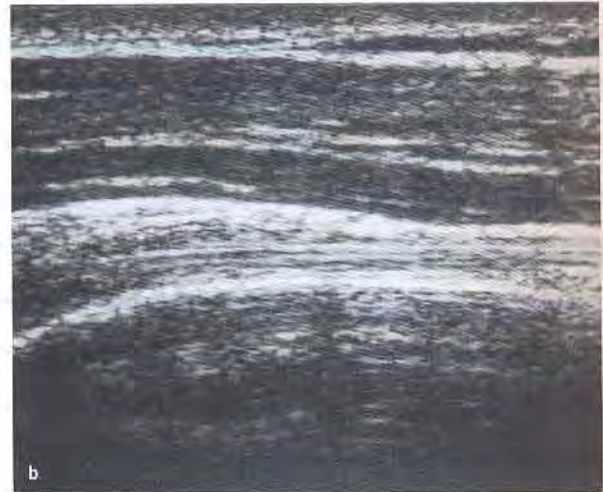


Abb. 7-6 Ventrale Region – Longitudinalschnitt.
 a: Schallkopfposition,
 b: Ultraschallbild.
 c: Schematische Darstellung (1 = proximaler Humerus, 2 = Humerusschaft, 3 = LBS, 4 = M. deltoideus). (Abb. 7-6a mit freundlicher Genehmigung des Thieme-Verlags aus: Könermann W, Gruber G (2000) Ultraschalldiagnostik der Stütz- und Bewegungsorgane, Thieme, Stuttgart – New York.)

7.3 Zusatzschnittebene Akromioklavikulargelenk – Longitudinalschnitt

Der Longitudinalschnitt über dem AC-Gelenk wird aus dem lateral-superioren Longitudinalschnitt entwickelt, indem der Schallkopf etwas weiter nach medial geführt wird. Die laterale Klavikula, das Akromion und ggf. der Humeruskopf stellen die knöchernen Referenzpunkte dar. Der Gelenkspalt des AC-Gelenks ist beim Gesunden echoarm und hat eine leicht konvexförmige echoarme Haubenform (> Abb. 7-7a und b).

7.4 Verletzung des AC-Gelenks

Verletzungen des AC-Gelenks werden nach Tossy in drei Stadien, nach Rockwood in sechs Stadien eingeteilt, wobei die Stadien I bis III identisch sind. Durch die sonographische Untersuchung im Seitenvergleich mit und ohne Belastung kann auf die sog. Röntgen-Panoramaaufnahme in der Regel verzichtet werden. Es wird hierbei der Abstand des Akromions und des lateralen Klavikulaendes zu einer horizontal verlaufenden Hilfslinie gemessen. Obligat ist die Anfertigung einer Röntgen-Aufnahme des verletzten Schultergelenks in zwei Ebenen, um eine Fraktur auszuschließen (> Abb. 7-8a und b).

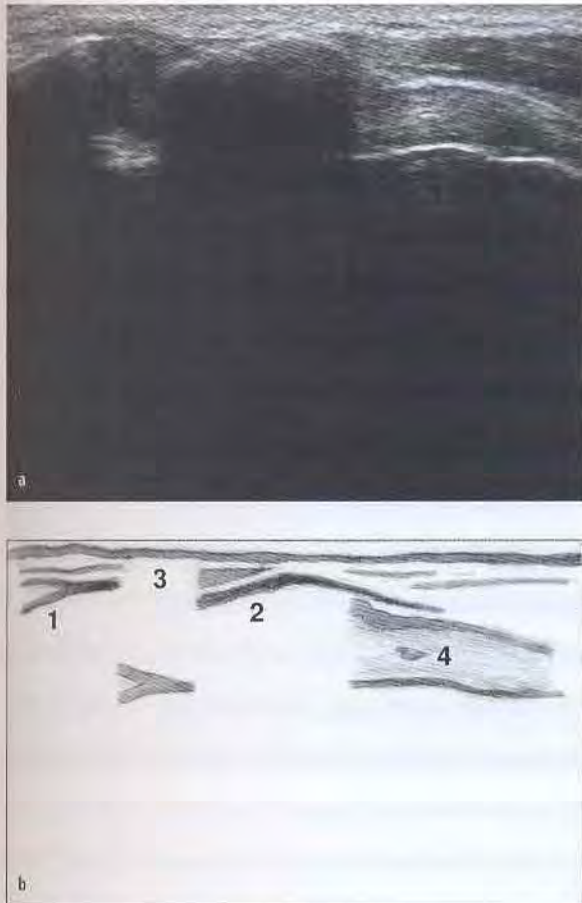


Abb. 7-7 AC-Gelenk – Longitudinalschnitt.
a: Ultraschallbild.
b: Schematische Darstellung (1 = laterale Klavikula, 2 = Akromion, 3 = AC-Gelenk, 4 = Supraspinatussehne).

7.5 Omarthritis

Am verlässlichsten kann eine intraartikuläre Volumenzunahme in den dorsalen Standardschnittebenen erfasst werden. Der Patient wird hierbei aufgefordert, seinen Oberarm zu adduzieren. Hierdurch gelingt es, auch kleinere Volumina abzubilden, da der Recessus articularis hierbei komprimiert wird und die Gelenkflüssigkeit aus dem Gelenkniveau herausgedrückt wird. Der M. infraspinatus wird aufgrund der intraartikulär vorliegenden Flüssigkeit nach dorsal verlagert (**> Abb. 7-9a und b**). Differenzialdiagnostisch sind aseptische (z.B. Hämarthros, Reizerguss) und septische Flüssigkeitsansammlungen möglich.



Abb. 7-8 Tossy-/Rockwood-III-Verletzung rechts bei einer 22-jährigen Patientin.
a: Der Longitudinalschnitt über dem verletzten AC-Gelenk zeigt einen Hochstand des lateralen Klavikulaendes.
b: Die seitenvergleichende Abstandsmessung der knöchernen Referenzpunkte zur eingezeichneten Hilfslinie ergibt eine Differenz von 0,8 mm auf der unverletzten Seite (linke Bildhälfte) bzw. von 11,2 mm auf der verletzten Seite (rechte Bildhälfte).

MERKE

Sonographisch kann aufgrund der Echogenität der abgebildeten Flüssigkeit jedoch kein Rückschluss auf die Genese der Flüssigkeit erfolgen!

7.6 Bursitiden und Tenosynovialitiden

Eine Bursitis und eine Tenosynovialitis können eine traumatische oder eine entzündliche Genese haben. Nicht selten tritt eine Bursitis in Kombination mit einer Rotatorenmanschettenläsion auf, kann jedoch auch isoliert vorkommen. Der Bursainhalt kann echoarm oder echogen sein, mit oder ohne Schallauslöschung (**> Abb. 7-10a und b, > Abb. 7-11a bis d**). Eine Tenosynovialitis stellt sich

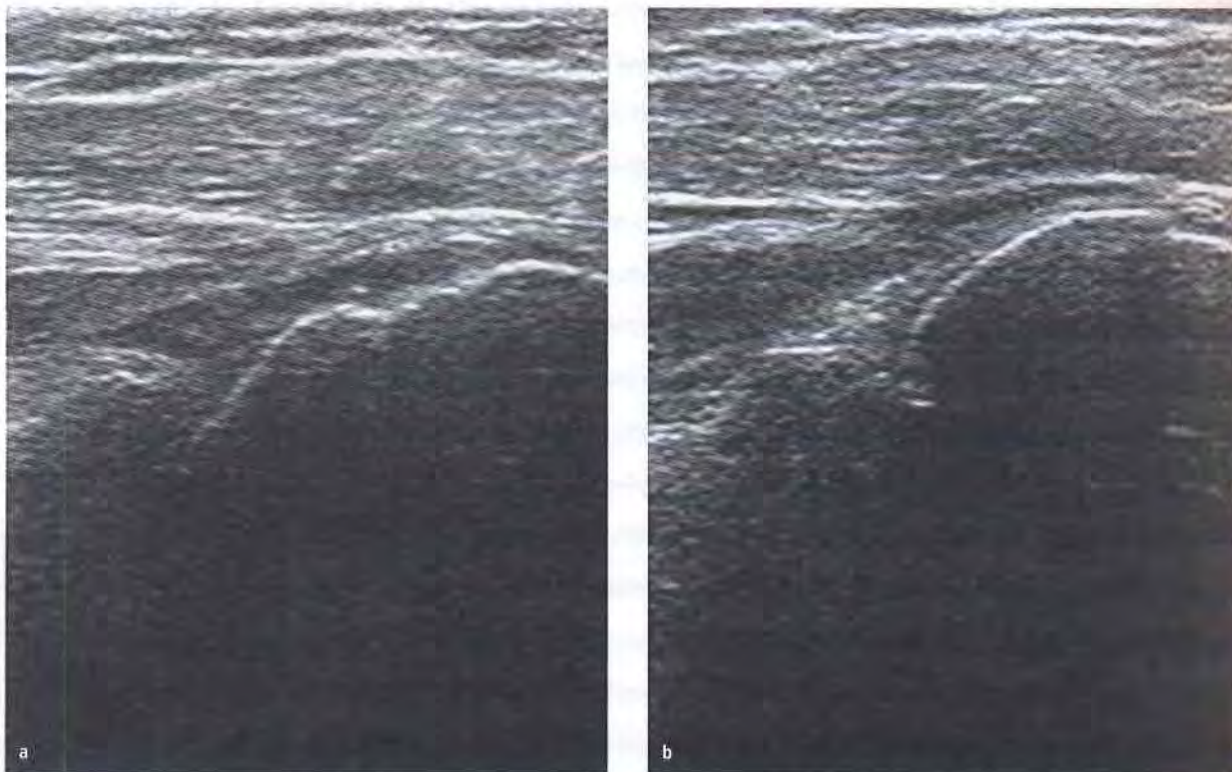


Abb. 7-9 43-jährige Patientin mit sonographisch gesicherter Omarthritis im rechten Schultergelenk. Die Flüssigkeit stellt sich als echoarme Formation zwischen dem M. infraspinatus, dem Humeruskopf und der Skapula dar. Es handelt sich um einen septischen Gelenkerguss (a). Der Vergleich mit dem linken Schultergelenk (b) verdeutlicht den Befund. (Abb. 7-9a und b mit freundlicher Genehmigung des Thieme-Verlags aus: Konermann W, Gruber G (2000) Ultraschalldiagnostik der Stütz- und Bewegungsorgane. Thieme, Stuttgart–New York.)

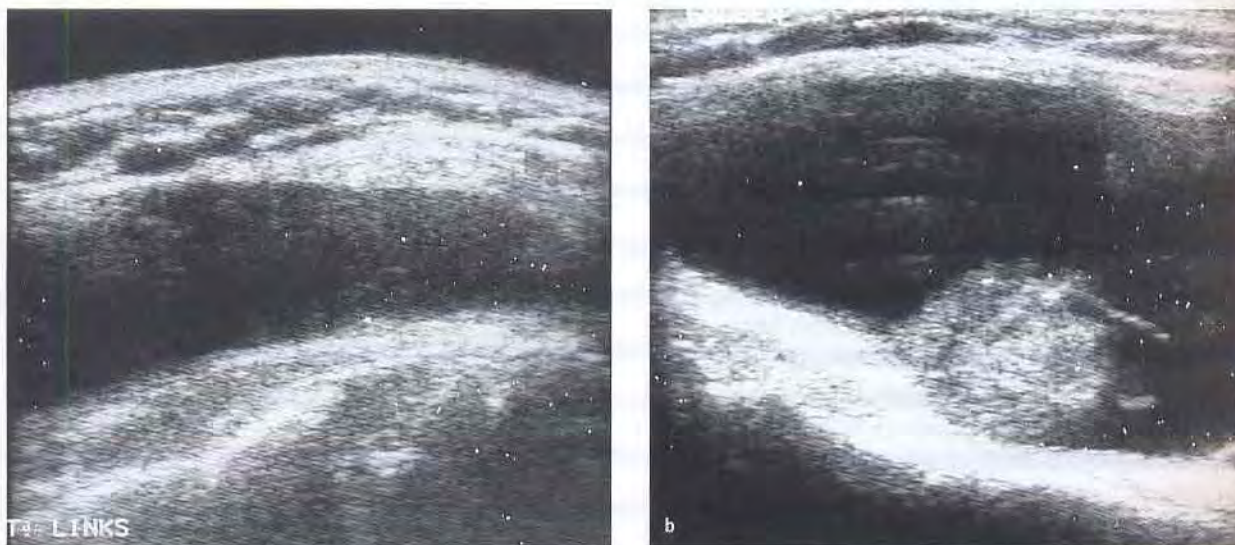


Abb. 7-10 Tuberkulöse Omarthritis.
 a: 72-jähriger Patient mit tuberkulöser Omarthritis im linken Schultergelenk. Im dorsalen Transversalschnitt kommt zwischen dem M. infraspinatus und dem M. deltoideus eine breite echoarme Zone als Hinweis auf die gefüllte Bursa zur Darstellung.
 b: In einem anderen Fall stellt sich bei einer 80-jährigen Patientin im ventralen Transversalschnitt eine gefüllte, überwiegend echoarme Bursa coracobrachialis mit z.T. echogenem Binnenmaterial dar. (Abb. 7-10a und b mit freundlicher Genehmigung des Thieme-Verlags aus: Konermann W, Gruber G (2000) Ultraschalldiagnostik der Stütz- und Bewegungsorgane. Thieme, Stuttgart–New York.)

in der Regel echoarm dar und kann bei orthograder Schallrichtung problemlos von der echogenen Sehne abgegrenzt werden (> Abb. 7-12a und b). Aufgrund der dynamischen sonographischen Untersuchung kann eine Bursitis zweifelsfrei von einer Tenosynovialitis oder einer intraartikulären Volumenzunahme differenziert werden. Ein Rückschluss der Echogenität der Flüssigkeit auf die Genese der pathologischen Veränderung ist nicht zulässig.

MERKE

Eine Tenosynovialitis bicipitis wird sonographisch am verlässlichsten distal des Sulcus intertubercularis abgebildet, da sich hier die pathologische Flüssigkeitsansammlung besser ausbreiten kann als im relativ engen Sulcus intertubercularis (> Abb. 7-13a und b).

Bei entsprechender Indikation kann unter sonographischer Kontrolle die Punktionskanüle im Längsschnitt sicher platziert werden, so dass Flüssigkeiten gezielt aspiriert werden können.

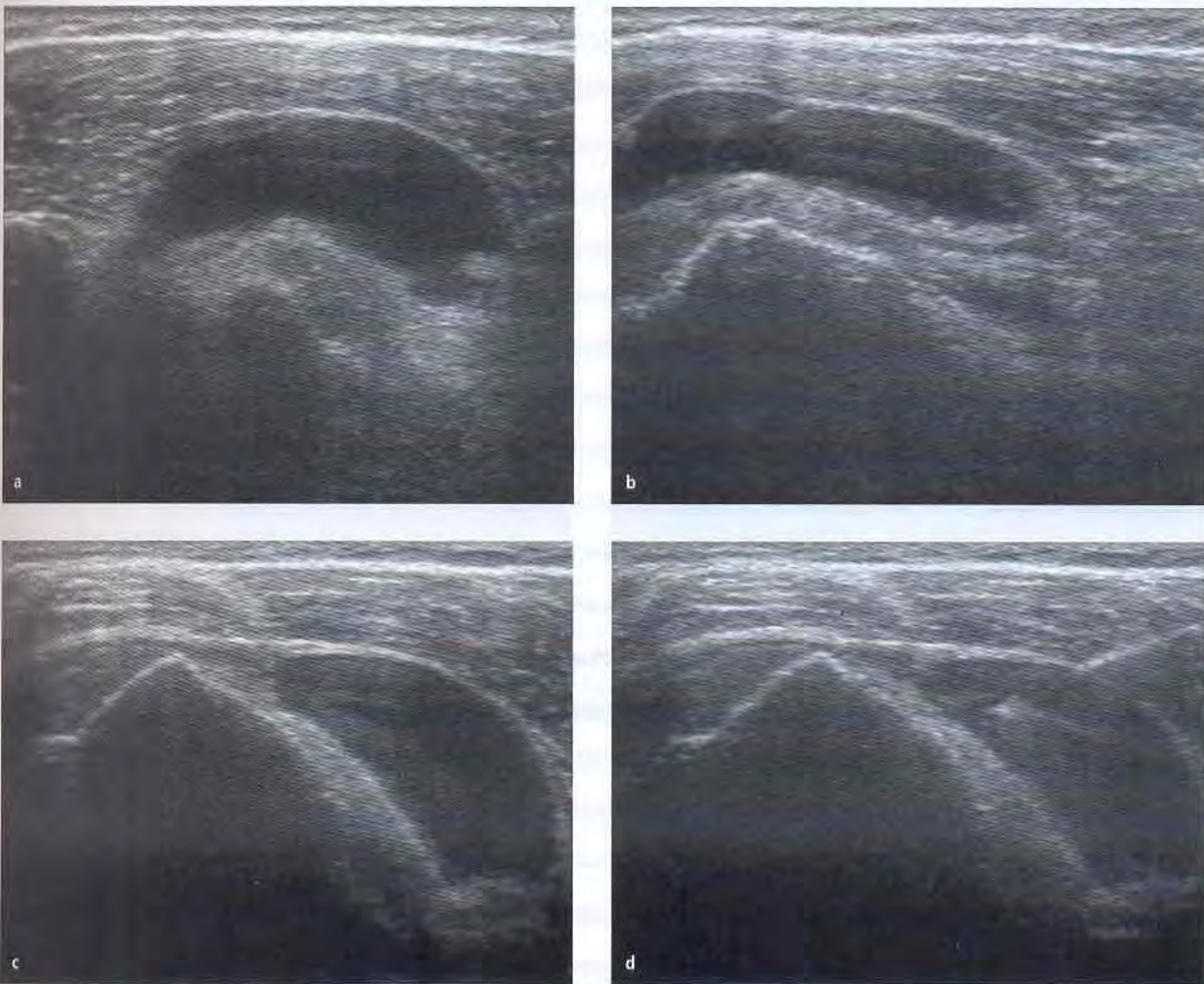


Abb. 7-11 64-jähriger Patient mit der Diagnose einer ausgeprägten Bursitis coracobrachialis, linkes Schultergelenk.

a: Im ventralen Transversalschnitt kommt eine große und überwiegend echofreie Strukturveränderung zwischen dem M. deltoideus und dem proximalen Humerus zur Abbildung.

b: Ventraler Longitudinalschnitt.

c: Modifizierte ventrale Transversalschnittebene, die die große Bursitis coracobrachialis darstellt.

d: Punktion der Bursa coracobrachialis unter sonographischer Kontrolle: Die Punktionskanüle wird von lateral an die Bursa herangeführt. Gut zu erkennen ist die Spitze der Punktionskanüle anhand des echogenen Reflexes.

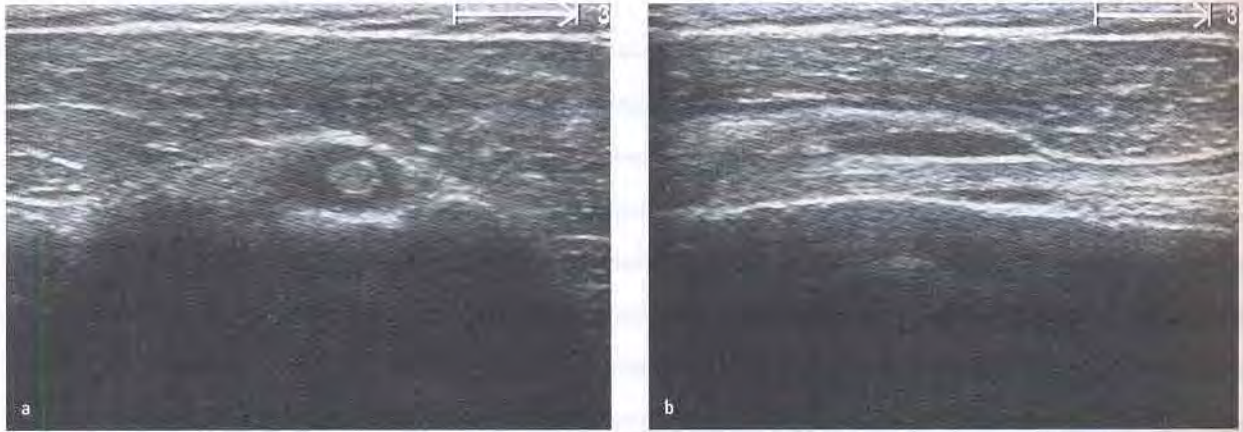


Abb. 7-12 42-jähriger Patient mit der Diagnose einer Tenosynovialitis bicipitis, rechtes Schultergelenk. Im ventralen Transversal- (a) und Longitudinalschnitt (b) ist die echogene LBS von einer echoarmen Formation umgeben. Für die Aufnahme in der ventralen Transversalschnitt-ebene (b) wurde die LBS kaudal des Sulcus intertubercularis eingestellt.

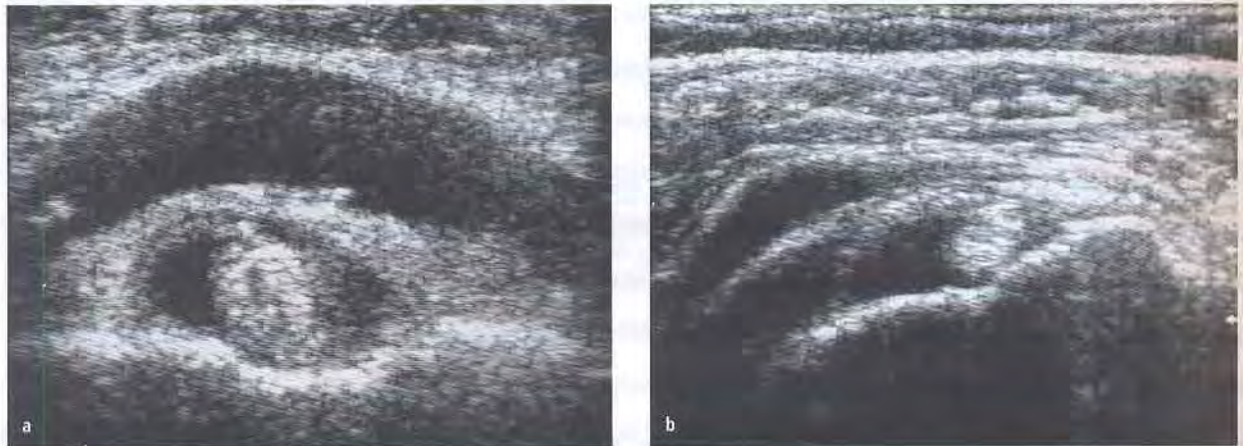


Abb. 7-13 60-jähriger Patient (a) und 65-jährige Patientin (b) jeweils mit der Diagnose einer Bursitis subdeltoidea und Tenosynovialitis bicipitis des rechten Schultergelenks. Im ventralen Transversalschnitt kommt jeweils die gefüllte Bursa echoarm zur Darstellung. Zusätzlich kommt bei beiden Patienten eine Tenosynovialitis bicipitis, ebenfalls echoarm, zur Darstellung. Durch die anatomischen Grenzschichten der Bizepssehnscheide und des Bursablattes können diese beiden Bereiche sonographisch-anatomisch klar voneinander abgegrenzt werden. (Abb. 7-13a und b mit freundlicher Genehmigung des Thieme-Verlags aus: Konermann W, Gruber G (2000) Ultraschalldiagnostik der Stütz- und Bewegungsorgane, Thieme, Stuttgart–New York.)

7.7 Proximale Ruptur der langen Bizepssehne

Eine Ruptur der LBS kann sowohl durch direkte Gewalteinwirkung als auch bei einer Rotatorenmanschettenläsion auftreten. Liegt eine proximale Ruptur der LBS vor, so kann diese im ventralen Longitudinal- und Transversalschnitt nicht durchgehend echogen abgebildet werden, oder die

Sehne lässt sich überhaupt nicht mehr echogen darstellen (> **Abb. 7-14a und b**). Eine Verringerung des Abstandes zwischen dem M. deltoideus und dem Humerus tritt – im Gegensatz zu Läsionen anderer Sehnen der Rotatorenmanschette – nicht ein. Die direkte sonographische Abbildung der Stumpfenden ist mit hoch auflösenden Ultraschallsystemen möglich.

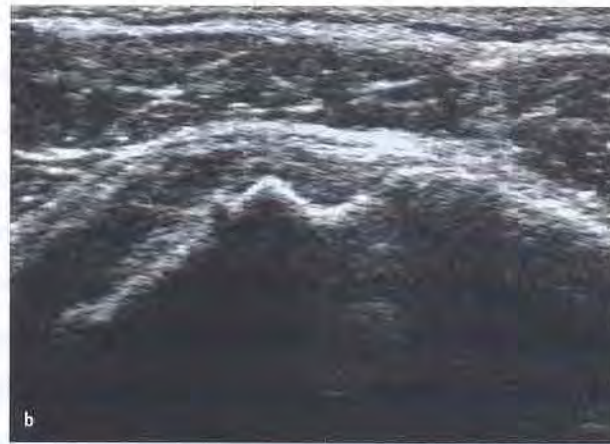


Abb. 7-14 49-jähriger Patient mit der Diagnose einer proximalen Ruptur der LBS, rechtes Schultergelenk. Im ventralen Longitudinal- (a) und Transversalschnitt (b) ist die LBS im Sulcus intertubercularis trotz orthograder Anschallrichtung nicht echogen darstellbar. Der Sulcus intertubercularis bleibt leer und echoarm. (Abb. 7-14a und b mit freundlicher Genehmigung des Thieme-Verlags aus: Konermann W, Gruber G (2000) Ultraschalldiagnostik der Stütz- und Bewegungsorgane. Thieme, Stuttgart – New York.)

7.8 Luxation der langen Bizepssehne und Rotatorenintervallläsion

Bei Vorliegen einer (Sub-)Luxation der LBS kann diese in beiden ventralen Standardschnittebenen nicht im Sulcus intertubercularis abgebildet werden, da sie diesen nach medial verlassen hat. Als Ursache für diese pathologische Lageveränderung der LBS kommen Läsionen im Bereich des Rotatorenintervalls (> Kap. 13), Verletzungen im Bereich des Tuberculum minus und der hier inserierenden Subskapularissehne und anlagebedingte Sulkuswandveränderungen in Frage (> Abb. 7-15a und b).



Abb. 7-15 51-jähriger Patient mit Luxation der LBS, rechtes Schultergelenk. Im ventralen Transversalschnitt (a) ist die LBS medial des Tuberculum minus abgebildet. Wird der Sulcus intertubercularis im Longitudinalschnitt eingestellt, so kommt dieser leer zur Darstellung; die LBS kann hier nicht abgebildet werden (b). (Abb. 7-15a und b mit freundlicher Genehmigung des Thieme-Verlags aus: Konermann W, Gruber G (2000) Ultraschalldiagnostik der Stütz- und Bewegungsorgane. Thieme, Stuttgart – New York.)

7.9 Tendinosis calcarea

Bezüglich der Ätiopathogenese der Tendinosis calcarea folgt die aktuelle Lehrmeinung der Theorie einer Verkalkung nach Metaplasie mit einer aktiven Kalzifizierung in der vitalen Sehne. Es werden vier Phasen unterschieden: In der Transformationsphase findet eine Metaplasie von Tenozyten zu Chondrozyten statt, in der Kalzifikations- oder Formationsphase werden Hydroxylapatitkristalle in der Interzellulärsubstanz der Knorpelzellen eingelagert. Während der Resorptionsphase wird das Einwachsen von Gefäßen und eine nachfolgende Phagozytose der Kristalle

beobachtet. Es schließt sich die Reparationsphase an. Das Kalkdepot befindet sich typischerweise in der hypovaskulären Zone zwischen der Faserknorpelregion und dem Sehnenansatz der Rotatorenmanschette.

MERKE

Durch die dynamische sonographische Untersuchung ist eine exakte topographische Zuordnung der Verkalkung zu den einzelnen Sehnen der Rotatorenmanschette möglich.

Hierbei wird das Kalkdepot in gleicher Richtung mitbewegt wie die entsprechende Sehne. Auch eine Abgrenzung zu einer in der Bursa gelegenen Verkalkung sowie zu einem knöchernen Ausriss der Rotatorenmanschette ist hierdurch möglich. In ca. 90% aller Fälle ist die Supraspinatussehne betroffen – die Verkalkung kann jedoch in jeder Sehne der Rotatorenmanschette angetroffen werden. Liegen mehrere Verkalkungen gleichzeitig vor, so können diese in den verschiedenen Standardschnittebenen abgebildet und entsprechend topographisch zugeordnet werden. Verkalkungen haben ein inhomogenes sonographisches Abbildungsmuster:

- Makroskopisch harte Kalkherde, die radiologisch scharf-randig und dicht sind (Röntgentyp 1 nach Gärtner), kommen sonographisch stark echogen mit Schallschatten zur Abbildung.
- Makroskopisch flüssige, breiige Verkalkungen, die radiologisch unscharf begrenzt und transparent zur Abbildung gelangen (Röntgentyp 2 oder 3 nach Gärtner), kommen mittelgradig echogen und ohne scharfe Randbegrenzung inhomogen, sowohl mit als auch ohne Schallauslöschung zur Darstellung (➤ Abb. 7-16a bis c).

Die sonographische Stadieneinteilung der Tendinosis calcarea ist wie folgt möglich:

- Typ 1: echogener Reflex mit Schallschatten
- Typ 2: echogener Reflex mit/ohne Schallabschwächung
- Typ 3: Inhomogenität der Sehne ohne Schallschatten.

7.10 Rotatorenmanschettenläsion

Bei der sonographischen Untersuchung der Rotatorenmanschettenläsion werden sichere von unsicheren Zeichen differenziert. Die dynamische Untersuchung ist obligat, da nur hierdurch ggf. erst kleinere Läsionen erkannt werden können. Als sichere Zeichen einer Rotatorenmanschettenläsion gelten:

- Fehlen der Sehnenstruktur
- Veränderungen der Sehnenform
- fehlendes Mitbewegen der Sehne bei dynamischer Untersuchung.

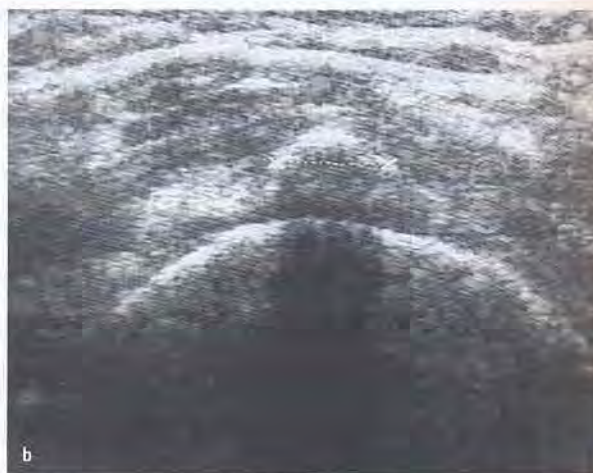
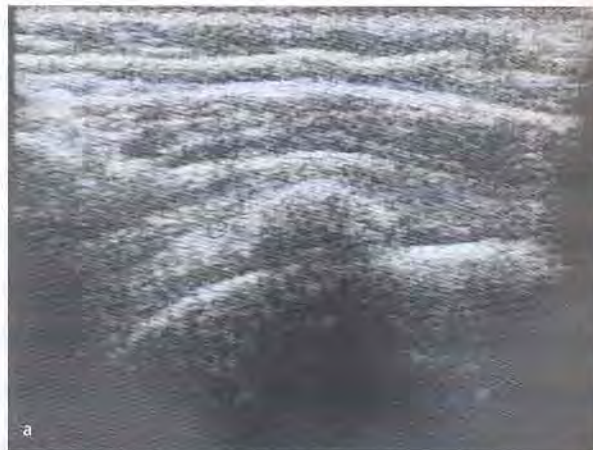


Abb. 7-16 46-jährige Patientin mit Tendinosis calcarea der Supraspinatussehne in der Longitudinal- (a) und in der Transversalschnittebene (b). Das breite Kalkdepot verursacht einen ebenso großen echogenen Reflex in der Supraspinatussehne mit dorsaler Schallverstärkung. c: Röntgen-Befund.

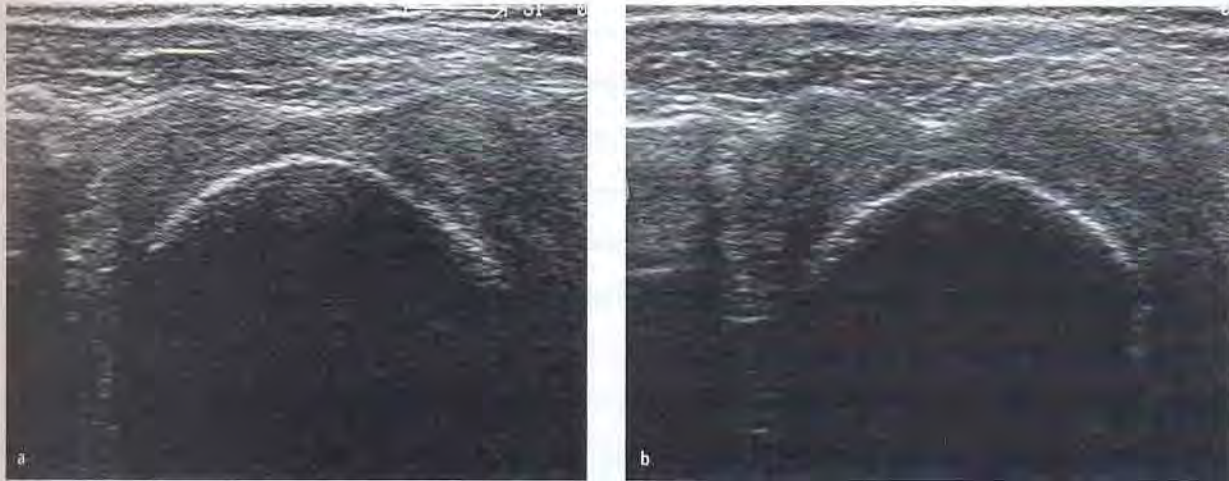


Abb. 7-17 68-jährige Patientin mit typischem Partialdefekt im Bereich der Supraspinatussehne, linkes Schultergelenk; lateral-superiorer Transversalschnitt (a, b).

a: Im Bereich der Supraspinatussehne stellen sich in Neutralposition des Humerus eine typische Konturumkehr (konkav anstelle von konvex) sowie eine Versmächtigung der Sehne dar.

b: Bei Innenrotation des Humerus wird diese Zone nach medial verlagert, die Formveränderung bleibt unverändert bestehen. (Abb. 7-17a und b mit freundlicher Genehmigung des Thieme-Verlags aus: Konemann W, Gruber G (2000) Ultraschalldiagnostik der Stütz- und Bewegungsorgane. Thieme, Stuttgart–New York.)

Die Rotatorenmanschette stellt sich typischerweise nach kranial konvex geformt dar. Ist diese typische Konvexität – und sei es auch nur auf einem kurzen Abschnitt – aufgehoben bzw. besteht eine Konturumkehr, so spricht dies für einen Partialdefekt oder eine kleinere Komplettruptur (> Abb. 7-17a und b).

Die LBS erleichtert die topographische Zuordnung der Rupturzone zu einer bestimmten Sehne.

Unsichere Zeichen einer Rotatorenmanschettenläsion sind insbesondere die Bewertung von Echogenitätsveränderungen innerhalb der Sehnenstruktur. Eine sog. Humeruskopfglatze bei Vorliegen einer kompletten Rotatorenmanschettenruptur imponiert sonographisch durch eine fehlende Darstellbarkeit der Rotatorenmanschette in jeder Rotationsstellung des Humerus. Auf der echogenen Struktur des Humeruskopfs liegt dann unmittelbar der M. deltoideus auf. Im Vergleich mit der gesunden Gegenseite ist die Silhouette des Humeruskopfs auf der betroffenen Seite in der lateral-superioren Schnittebene deutlich ventralisiert. Der typische Humeruskopfhochstand lässt sich in der lateral-superioren Longitudinalschnittebene im Seitenvergleich ebenfalls darstellen (> Abb. 7-18a bis d).

7.11 Schultergelenkluxation

Als Begleitverletzungen einer traumatischen anterioren Schulterluxation können Läsionen der Rotatorenmanschette (bei über 40-Jährigen zu 40 bis 70%), eine intra-artikuläre Ergussbildung, ein Hill-Sachs-Defekt (HSD) und eine Bankart-Läsion auftreten. Beim HSD, der Impression der dorsalen Humeruskopfoberfläche, findet sich im Sonogramm in den dorsalen Standardschnittebenen eine Unterbrechung der Oberfläche der Humeruskopfkortikalis mit Basisreflex (> Abb. 7-19a und b). Ein kranial gelegener HSD kann auch in der lateral-superioren Region dargestellt werden. Der HSD muss vom physiologischen Collum anatomicum abgegrenzt werden, hier ist der Vergleich mit der gesunden Gegenseite zu empfehlen. Die Sensitivität der Methode wird erhöht durch Parallelverschieben des Schallkopfs nach kranial und kaudal sowie durch Flexion des Arms im Schultergelenk, da hierdurch der gesamte Anteil der Humeruskopfrückfläche in die Schichtebene gebracht wird. Beim dorsalen Longitudinalschnitt gelingt dies durch zusätzliche Rotation des Arms. Bei der Bankart-Läsion liegt ein Abriss des Labrum glenoidale anterius vor. Bei der sonographischen Beurteilung des Labrum glenoidale anterius werden statische und dynamische Zeichen bewertet. Es wird in der Regel ein Konvexschallkopf verwendet. Als statisches Kriterium gilt der echogene Doppelreflex an der Labrumbasis (ähnlich wie beim Meniskusriss) oder die fehlende Darstellung des Labrums (> Abb. 7-20). Bei der dynamischen

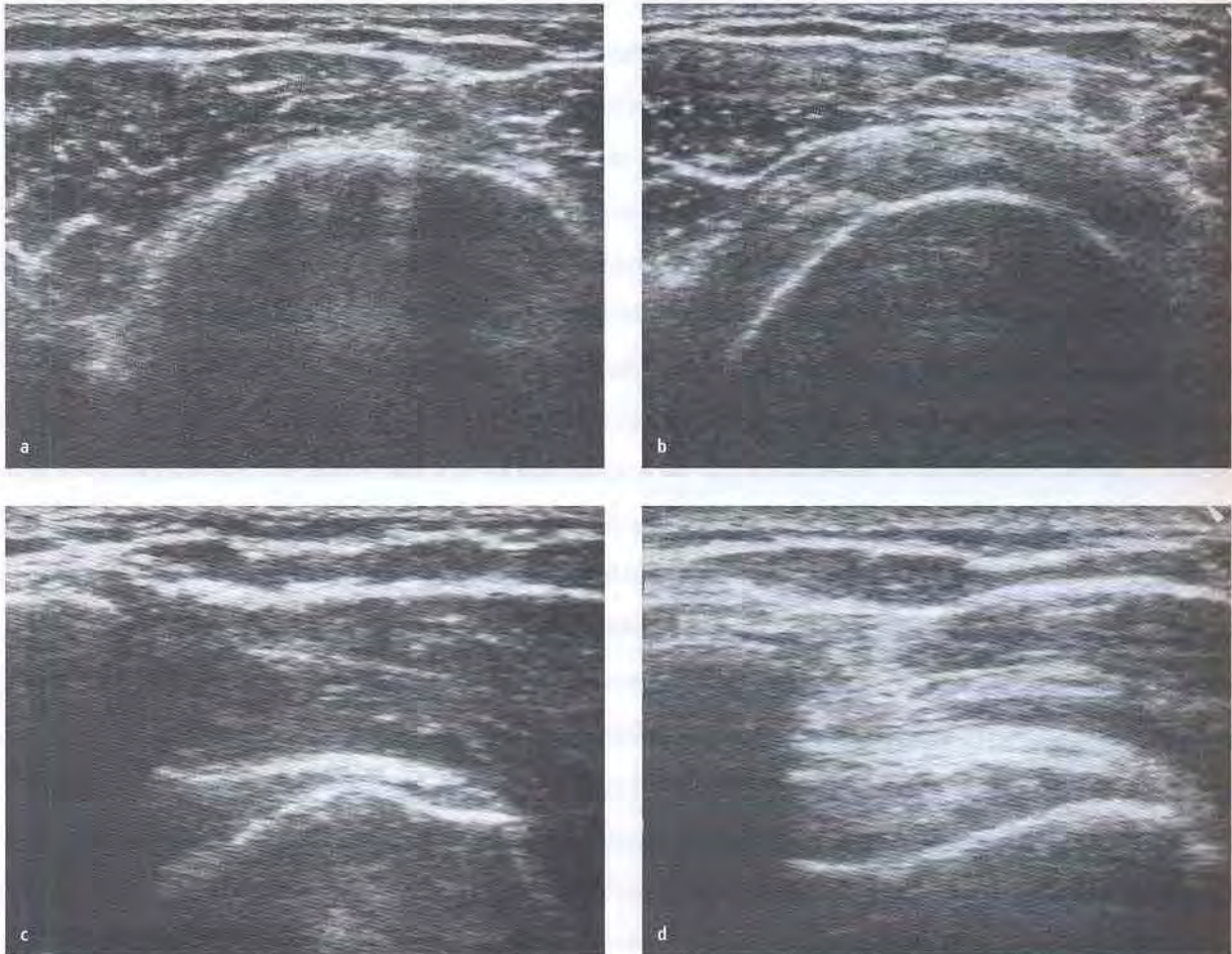


Abb. 7-18 59-jähriger Patient mit dem typischen sonographischen Befund einer Humeruskopfglatze des rechten Schultergelenks (a, c) im Vergleich mit der unauffälligen Gegenseite (b, d). In beiden Standardschnittebenen der lateral-superioren Region liegt bei kompletter Rotatorenmanschettenruptur der M. deltoideus unmittelbar auf dem Humeruskopf auf. Dieser steht im Seitenvergleich sowohl ventralisiert (a, b) als auch kranialisiert (c, d).

Untersuchung wird das Labrum bei Innenrotation nach medial vom Glenoid abgesichert, bei Übergang in die Außenrotation wird das Labrum vor das Glenoid verlagert.

Derzeit ist die sonographische Untersuchung bei der Verdachtsdiagnose „Bankart-Läsion“ hinsichtlich Sensitivität und Spezifität der MRT unterlegen.

7.12 Nervenengpasssyndrom

Der N. suprascapularis verlässt gemeinsam mit der A. suprascapularis die Incisura scapulae. Bei Einengung dieses tunnelartigen Raumes wird der N. suprascapularis komprimiert. Liegt eine Kompression oder eine Schädigung dieses Nervs vor, so kann dies – je nach Lokalisation der Beeinträchtigung – zu einer Schädigung des M. supraspinatus und/oder des M. infraspinatus führen. Das Resultat einer

Minderinnervation ist eine sonographisch sichtbare Veränderung am Erfolgsorgan, dem M. supraspinatus und/oder M. infraspinatus.

MERKE

Sonographisch führt dies zu einer Querschnittsminderung des M. infraspinatus in beiden Standardschnittebenen sowie zu einer Echogenitätszunahme und zu einem Verlust der typischen sonographisch darstellbaren Muskeltextur (> **Abb. 7-19a**).

Die beim Gesunden im Längs- und im Querschnitt charakteristische Muskeltextur verliert ihre Feindarstellung und wird zunehmend echogen. Die Beurteilung dieser Muskelveränderungen wird durch Einstellung des betroffenen Muskels im Seitenvergleich erleichtert, der Muskel sollte im Longitudinal- und im Transversalschnitt ausgemessen werden (> **Abb. 7-21a und b**).

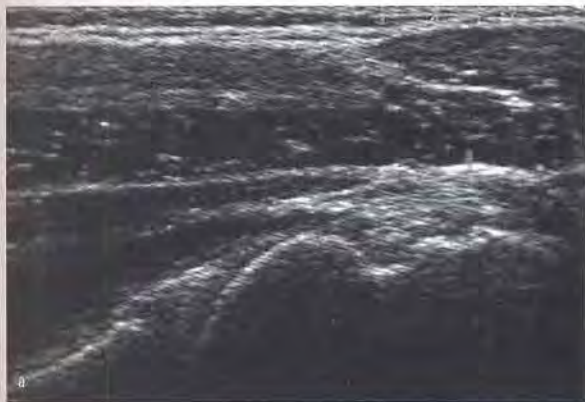


Abb. 7-19 26-jährige Patientin mit typischem sonographischem Befund eines Hill-Sachs-Defekts des rechten Schultergelenks in der dorsalen Transversal- (a) und Longitudinalschnittebene (b). Die Impressionsfraktur des Humeruskopfs kommt als Unterbrechung der Humeruskortikalis mit Basisreflex zur Abbildung. (Abb. 7-19a und b mit freundlicher Genehmigung des Thieme-Verlags aus: Konermann W, Gruber G (2000) Ultraschalldiagnostik der Stütz- und Bewegungsorgane. Thieme, Stuttgart–New York.)



Abb. 7-20 25-jähriger Patient mit typischem sonographischem Befund einer Bankart-Läsion des rechten Schultergelenks. Bei Einstellung der ventralen Glenoidtransversalschnittebene kommt ein echogener Doppelreflex an der Labrumbasis zur Abbildung. (Abb. 7-20 mit freundlicher Genehmigung des Thieme-Verlags aus: Konermann W, Gruber G (2000) Ultraschalldiagnostik der Stütz- und Bewegungsorgane. Thieme, Stuttgart–New York.)

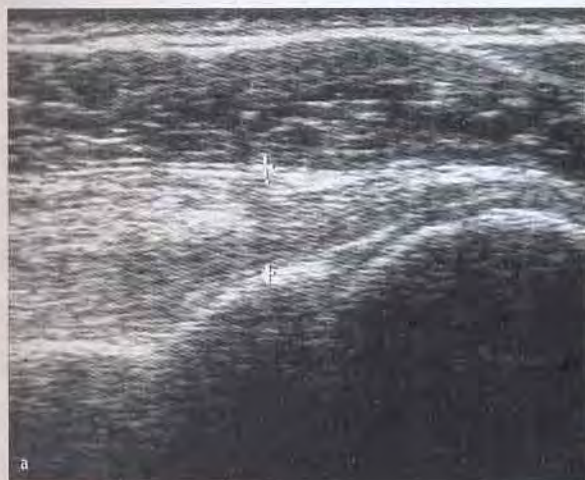


Abb. 7-21 52-jähriger Patient mit der neurophysiologisch gesicherten Diagnose einer Parese des M. infraspinatus auf dem Boden einer Kompression des N. suprascapularis, rechtes Schultergelenk (a) im Vergleich mit der Gegenseite (b), jeweils in der dorsalen Transversalschnittebene. Als typische Zeichen einer Parese erkennt man die deutliche Kaliberschwankung. Zusätzlich bestehen bei identischer Geräteeinstellung im Seitenvergleich auf der betroffenen Seite eine Echogenitätszunahme sowie eine Reduktion der muskulären Feinstruktur.

7.13 Paraglenoidale Zyste

Die paraglenoidale Zyste stellt eine typische Veränderung bei Sportlern mit Überkopfsportarten dar (sog. Volleyballer-Zyste). Es handelt sich um eine dorsal gelegene, i. d. R. mit gallertartiger Flüssigkeit gefüllte Zyste mit einem Verbindungsgang zum Schultergelenk. Sonographisch lässt sich eine in der Regel echoarme, rundliche Struktur im

Bereich der dorsalen Schultergelenkregion abbilden. Ein typischer Lokalisationsort dieser Zyste ist proximal und medial des Labrum glenoidale posterius, proximal der Skapula. In der dorsalen Region kann diese Zyste sowohl im Transversalschnitt als auch im Longitudinalschnitt eingestellt werden. Die Zyste stellt sich häufig echoarm dar, kann jedoch auch echogenes Binnenmaterial aufweisen (> Abb. 7-22a bis d).

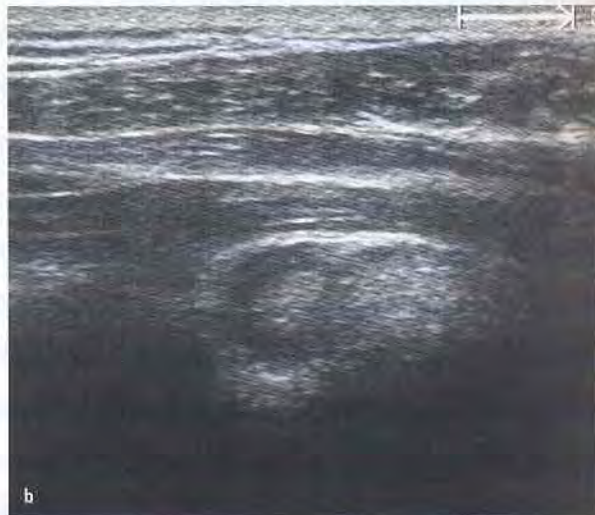
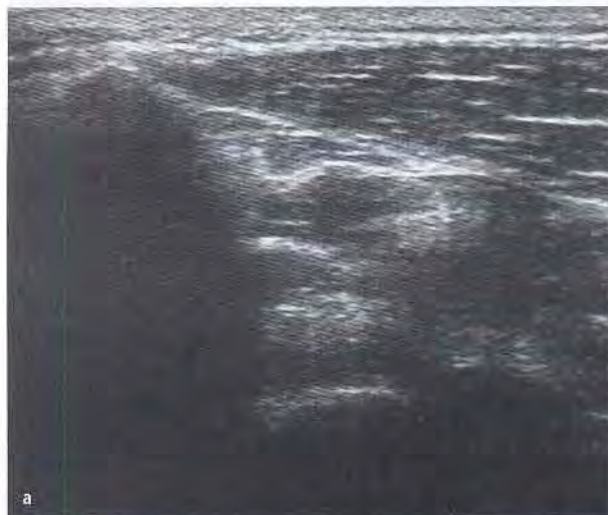


Abb. 7-22 24-jähriger Patient mit belastungsabhängigen Beschwerden im Bereich der Margo lateralis scapulae links in der dorsalen Longitudinal- (a) und Transversalschnittebene (b).
 a: Überwiegend echoarme Strukturveränderung
 b: Zystische Struktur als zentrale echogene Struktur mit echoarmem Hof mit echogener Randbegrenzung
 c und d: MRT des rechten Schultergelenks in koronarer Schnittrichtung (c) und in axialer Schnittrichtung (d) – jeweils in einer T2-Wichtung. Die MRT bestätigt den Befund – es handelt sich um eine sog. Volleyballer-Zyste. (Abb. 7-22c und d wurden freundlicherweise von Dres. von Gumpfenberg und Barth, Heidelberg, zur Verfügung gestellt.)