

Redaktion

W. Mutschler, München
 V. Braunstein, München
 H. Polzer, München

J. Ninck¹ · S. Heck¹ · S. Gick¹ · J. Koebke¹ · D. Pennig¹ · J. Dargel^{1,2}

¹ Klinik und Poliklinik für Orthopädie und Unfallchirurgie, Klinikum der Universität zu Köln

² Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie, Handchirurgie und Orthopädie, St. Vinzenz Hospital Köln

Versorgung von Humeruskopffrakturen

Lagebeziehung proximaler Verriegelungsplatten zum N. axillaris

Hintergrund und Fragestellung

Die Behandlung proximaler Humeruskopffrakturen wird weiterhin kontrovers diskutiert. Je nach Frakturtyp, Knochenqualität, Vaskularisierung der einzelnen Frakturfragmente sowie Patientenalter reichen aktuelle Behandlungsstrategien von einer konservativen Versorgung [16], über perkutane Pins [26], intramedulläre Drahtosteosynthesen [29], Marknagelungen [20] bis hin zu offener Reposition und interner Plattenosteosynthese [19, 25].

In den vergangenen Jahren galt die offene Reposition und interne Plattenosteosynthese über einen deltoideopektoralen Zugang als favorisierte Therapieoption proximaler 3- oder 4-Part-Frakturen des Humerus. Angesichts erheblicher Weichteilmanipulationen sowie einem konsekutiv steigenden Devaskularisationsrisiko mit der Folge avaskulärer Nekrosen (AVN), wurden alternativ sowohl offene als auch perkutane transdeltoideale Zugangswege vorgeschlagen [10, 15]. Sie bieten zum Einen den Vorteil besserer Sichtverhältnisse über posterolaterale Schulteranteile ohne wesentliche Weichteildurchtrennung oder -retraktion, zum Anderen wird eine Exposition der Fraktursegmente vermieden und somit das Osteonekrosenrisiko reduziert [9, 10, 25]. Zusätzlich vereinfachen sie die Implantatplatzierung und vermeiden bei Orientierung an der von Gardner et al. [10, 11, 12] bzw. Cetik et al. [5] beschriebenen „bare/safe area“ so-

wohl eine erhebliche Ablösung als auch eine Exposition anteriorer Blutgefäße.

Dank der Einführung winkelstabiler Platten wurden zudem die Probleme der periostalen Kompression durch herkömmliche Schienungssysteme reduziert und somit die Vaskularisation und Kallusformation unterstützt [15, 19]. Gegenwärtig verwendete Platten sind anatomisch geformt, bieten eine winkelstabile Schraubenverankerung, führen zu einer stabileren Knochen-Implantat-Verankerung und erlauben eine frühere funktionelle Nachbehandlung [8, 18, 19]. Komplikationsraten von bis zu 50% bei der Versorgung älterer Patienten mit Mehrsegmentfrakturen verdeutlichen jedoch, dass die winkelstabile Plattenosteosynthese weiterhin eine große Herausforderung an den Operateur stellt [3, 7, 28].

Die bei der perkutan eingeschobenen Plattenosteosynthese über einen Deltasplitzzugang gefährdete Struktur ist der N. axillaris, dessen iatrogene Paralyse nach Plattenfixierung über den deltoideopektoralen Zugang in der Literatur mit 0–5% angegeben wird [23, 24]. In zahlreichen anatomischen Studien wurde sein Verlauf mit einer Bereichsgröße von 3,1–7,0 cm distal des Acromions beschrieben [2, 14]. Hieraus resultierte die Empfehlung, Inzisionen >5 cm Länge distal der Acromionspitze zu vermeiden [2].

Cetik et al. [5] beschrieben eine „safe area“ zur Implantation winkelstabiler Platten. Demzufolge bietet der laterale Aspekt

des Oberarms proximal des N. axillaris eine quadratisch geformte Fläche, welche eine sichere Zugangszone darstellt, deren Größe je nach individueller Armlänge festzulegen sei. Problematisch bleibt jedoch die perkutane Plattenfixierung insofern, als dass die zugehörigen Schraubenlöcher je nach Hersteller und Materialdesign in Anzahl und Anordnung zueinander variieren. Im Hinblick auf eine iatrogene Verletzung des N. axillaris resultiert daher ein jeweils unterschiedliches „Risikoprofil“ winkelstabiler Platten bezüglich der zur Verfügung stehenden Bohrlöcher.

Das Ziel dieser anatomischen Studie war die Erstellung eines „Risikoprofils“ für insgesamt 6 winkelstabile Platten unterschiedlicher Hersteller zur perkutanen Versorgung der proximalen Humerusfraktur über einen anterolateralen Deltasplitt. Bei korrekter anatomischer Anlage soll dieses Profil ergänzend zu den entwickelten Zielbügeln der jeweiligen Hersteller dazu beitragen, den Vorhersagewert vermeidbarer Verletzungen des N. axillaris zu erhöhen und eine sicherere perkutane Implantation zu gewährleisten.

Material und Methoden

Die Untersuchungen erfolgten an insgesamt 33 oberen Extremitäten Formalinfixierter menschlicher Präparate. Hierunter befanden sich 25 rechte und 8 linke Arme, die in 17 Fällen männlicher und in

16 weiblicher Herkunft waren. Das durchschnittliche Alter betrug 80,8 ($\pm 10,6$) Jahre.

Der N. axillaris wurde im Bereich der lateralen Achsellücke nach Entfernung der *Haut und des subkutanen Gewebes* dargestellt. Nach ventral wurde der Nerv stumpf samt der A. circumflexa posterior humeri verfolgt und die kranialen und distal liegenden Anteile des M. deltoideus abgetragen. Sämtliche am proximalen Humerus inserierenden Band- und Muskelstrukturen wurden nach Darstellung des N. axillaris reseziert und der proximale Humerus aus der Gelenkpfanne gelöst. Der N. axillaris wurde jeweils bis zur Raphe zwischen den akromialen und klavikulären Anteilen des M. deltoideus dargestellt. An jedem Arm wurden jeweils 6 verschiedene winkelstabile Platten der Firmen Arthrex® Med. Inst. GmbH (Karlsfeld, Deutschland), DePuy® Orthopädie GmbH (Kirkel, Deutschland), Königsee® GmbH (Aschau, Deutschland), Smith & Nephew® GmbH (Marl, Deutschland), Stryker® Trauma AG (Selzach, Schweiz) und Synthes® GmbH (Oberdorf, Schweiz) entsprechend den Herstellerangaben anatomisch korrekt angelegt und anschließend standardisiert und skaliert fotografiert (■ **Tab. 1**). Entsprechend der vorgegebenen Plattenkontur ergab sich die jeweilige proximal-distale Platzierung in Bezug auf das Tuberculum majus sowie die a.-p.-Platzierung in Relation zum Sulcus bicipitalis.

Die Schraubenlöcher der einzelnen Platten wurden sowohl in superior-inferiorer Richtung als auch in a.-p.-Richtung für rechte und linke Armpräparate alphanumerisch zugeordnet (■ **Abb. 1**). Drei der Implantate (Arthrex®, Königsee®, Synthes®) wiesen ein Universaldesign auf, wohingegen die übrigen 3 seitenspezifisch konzipiert waren. Die digitale Vermessung der Platten in Relation zum N. axillaris wurde mittels Morphomet© (eigene Software) durchgeführt. Hierbei wurden die Entfernung jedes Bohrlochzentrums zum Nerv sowie die kürzeste Distanz vom höchsten Punkt des Humeruskopfes und des jeweiligen Plattenoberrandes zum Nerv, gemessen über der Plattenmitte, ermittelt. Jede Messung wurde von einem erfahrenen Chirurgen dreifach vorgenommen und die erhobenen Daten wurden als Mittelwert und Standardabweichung dargestellt.

Unfallchirurg 2013 · 116:1000–1005 DOI 10.1007/s00113-012-2242-8
© Springer-Verlag 2012

J. Ninck · S. Heck · S. Gick · J. Koebke · D. Pennig · J. Dargel

Versorgung von Humeruskopffrakturen. Lagebeziehung proximaler Verriegelungsplatten zum N. axillaris

Zusammenfassung

Hintergrund. Der perkutane transdeltoideale Zugang zur Versorgung proximaler Frakturen des Humerus birgt das Risiko einer Läsion des N. axillaris. Ziel dieser Studie war die Erstellung eines „Risikoprofils“ einer Interferenz der Schraubenlöcher mit dem N. axillaris für insgesamt 6 winkelstabile Platten verschiedener Hersteller.

Material und Methoden. An 33 fixierten Armpräparaten wurden nach Präparation des N. axillaris winkelstabile Implantate der Firmen Arthrex®, DePuy®, Königsee®, Smith & Nephew®, Stryker® und Synthes® am proximalen Humerus angelegt und die Lagebeziehung der Schraubenlöcher zum N. axillaris analysiert.

Ergebnisse. Alle Implantate wiesen einen spezifischen Risikobereich auf, welcher

bei den jeweiligen Platten von Arthrex® 3 von 7, DePuy® 4 von 10, Königsee® 2 von 9, Smith & Nephew® 3 von 11, Stryker® 3 von 11 und Synthes® 6 von 12 Schraubenlöchern betraf.

Schlussfolgerung. Die Lagebeziehung des N. axillaris zu den Schraubenlöchern des jeweiligen Implantats ist bei der eingeschoenen Plattenosteosynthese über einen anterolateralen perkutanen Zugang relevant und sollte zur Vermeidung iatrogenen Schädigungen des Nervs klinisch berücksichtigt werden.

Schlüsselwörter

N. axillaris · Humeruskopffraktur, proximale · Plattenosteosynthese, winkelstabile · Deltaspalt, anterolateraler

Treatment of proximal humerus fractures. Relative position of different locking plates to the axillary nerve

Abstract

Objectives. Placement of a proximal humerus locking plate through a percutaneous transdeltoid approach bears the advantages of a minimally invasive approach but may compromise the anterior branches of the axillary nerve. This anatomic study aimed to develop a risk profile for 6 types of modern proximal humerus locking plates as to their interference with the axillary nerve.

Materials and methods. In this study six different implants (Arthrex®, DePuy®, Königsee®, Smith & Nephew®, Stryker® and Synthes®) were placed on the intact proximal humerus of 33 embalmed cadaveric upper extremities and the relative positioning between the axillary nerve and the screw holes was determined.

Results. All locking plates displayed an area of risk which concerned 3 out of 7 (Arthrex®), 4 out of 10 (DePuy®), 2 out of 9 (Königsee®), 3 out of 11 (Smith & Nephew®), 3 out of 11 (Stryker®) and 6 out of 12 (Synthes®) screw holes of the plate.

Conclusions. Using the anterolateral percutaneous deltoid splitting approach the relative position of the axillary nerve to the holes of a specific implant is of relevance for avoidance of iatrogenic lesions to the nerve.

Keywords

Axillary nerve · Humerus fracture, proximal · Angle implant, fixed · Deltoid splitting, anterolateral

Ergebnisse

Allen Implantaten gemeinsam ist ein Risikoprofildesign, das sich insbesondere auf den zentralen Bereich der Platte bezieht. Wenngleich das Design je nach Hersteller in seiner anatomischen Form und seiner hieraus resultierenden Platzierung am Humerus variierte, zeigten sowohl stark proximal (A und B) als auch distal (H–J) gelegene Bohrlocher

grundsätzlich keine Interferenz mit dem N. axillaris und können somit als „Sicherheitszone“ der vorliegenden Studie betrachtet werden. Gleichermaßen ergibt sich jedoch aufgrund dieser Variabilität der Implantatmodelle eine unterschiedliche Verlaufshöhe des N. axillaris in Bezug auf die jeweilige Platte (■ **Tab. 2**, ■ **Abb. 2**).

Tab. 1 Implantatmodelle: Auflistung der verwendeten Platten nach Hersteller und Implantatbezeichnung

Hersteller	Implantatversion
Athrex med. Inst. GmbH	„Humeral Suture Plate AR 14.000“
DePuy	„S3“
Königsee	„Proximale Humerusplatte“
Smith & Nephew	„4,5 mm proximal humerus locking plate“
Stryker Trauma AG	„AxSOSTM“
Synthes	„Philos, Proximale Humerusplatte 3,5“

Arthrex®. Im Hinblick auf diese Studie haben insgesamt 3 (C₁, C₂ und D) der 7 zur Verfügung stehenden Schraubenlöcher der Arthrex®-Platte Kontakt zum N. axillaris. Dieser verläuft mit einer durchschnittlichen Entfernung von 39,0±4,3) mm vom Plattenoberrand über die Platte. Demnach interferiert der Nerv zu 87,9% mit Loch D, zu 21,2% mit C₁ und zu 12,1% mit C₂. Eine resultierende Summe >100% entsteht aufgrund einer Überlagerung des N. axillaris mit mehreren parallel angelegten Schraubenlöchern zugleich.

DePuy®. Vier der insgesamt 10 vorhandenen Löcher des DePuy®-Implantats (C₁, C₂, D und E) interferieren mit dem N. axillaris, dessen Verlaufshöhe bei 26,3 (±8,8) mm in Relation zum Plattenoberrand liegt. Im untersuchten Kollektiv liegt Loch D zu 60,6%, E zu 42,4%, C₂ zu 36,4% und C₁ zu 27,3% im Verlauf des Nervs.

Königsee®. Die Platte der Firma Königsee® weist 2 (D und E) von 9 Schraubenlöchern auf, die unterschiedlich häufig vom N. axillaris tangiert werden. Hierbei handelt es sich in 75,8% um Loch D sowie in 18,2% um Loch E mit einer durchschnittlichen Entfernung des Nervs zum oberen Plattenrand von 32,4 (±5,5) mm.

Smith & Nephew®. In Relation zum Oberrand des Implantats von Smith & Nephew® quert der N. axillaris die Platte im Untersuchungskollektiv mit einem Abstand von 36,5 (±6,6) mm. Er trifft auf 3 (C₂, D und E) der insgesamt 11 verschiedenen Schraubenverankerungen. Mit Blick auf die prozentuale Verteilung sind dies zu 90,9% Loch D, zu 30,3% C₂ und zu 15,2% Loch E.

Stryker®. Insgesamt 3 (D, E und F) der 11 zur Verfügung stehenden Schraubenlöcher der Stryker®-Platte zeigen im Rahmen der vorliegenden Auswertungen eine Interferenz zum N. axillaris. Dieser verläuft mit einer durchschnittlichen Entfernung von 33,9 (±6,4) mm vom oberen Implantatrand. Es ergibt sich eine Interferenz des Nervs mit Loch E zu 72,7%, Loch F zu 54,5% und D zu 15,2%.

Synthes®. Die Platte der Firma Synthes® weist in dieser Studie 6 (D₁, D₂, E, F₁, F₂, G) von 12 Schraubenlöchern auf, die unterschiedlich häufig vom N. axillaris passiert werden. Am häufigsten betroffen sind mit 84,8% F₁ und mit 75,8% F₂. Bei den übrigen 4 betroffenen Löchern handelt es sich in 33,3% um E, in 12,1% um G sowie in 15,2% um D₂ und in 6,1% um D₁. Die durchschnittliche Entfernung des Nervs zum oberen Plattenrand betrug 36,1 (±5,8) mm.

Diskussion

Die Vulnerabilität des N. axillaris stellt nach wie vor eine große Herausforderung an die operative Versorgung proximaler Frakturen des Humerus. Eine iatrogene Läsion des Nervs kann einen erheblichen Funktionsverlust des M. deltoideus mit sich ziehen, der sich insbesondere auf den exponierten anterioren Zweig des N. axillaris auswirkt [4]. Dieser innerviert die klavikulären und akromialen Anteile des M. deltoideus, die durch eine Elevation und Flexion im Schultergelenk elementare Bewegungen für den Alltag ermöglichen. Zwar besteht durch den M. pectoralis und einen kräftigen M. supraspinatus der Rotatorenmanschette eine Kompensationsmöglichkeit zur Abduktion des Arms, jedoch ist die Fähigkeit, den Arm in der Horizontalen zu halten oder Lasten zu tragen, deutlich eingeschränkt [4].

Ein weiteres Risiko der Schulterchirurgie bringt das potentielle Verletzungsrisiko der A. circumflexa humeri mit sich. Traditionelle Methoden der Plattenosteosynthese mittels deltoideopectoraler Schnittführung erfordern eine erhebliche Weichteildurchtrennung und Muskelverlagerung bei Exposition der Frakturfragmente, welche einhergehend mit dem initialen Trauma zusätzlich zu einer Beeinträchtigung der Blutversorgung des Humeruskopfes und konsekutiv zu avaskulären Nekrosen führen können [9, 25].

Mit Einführung des anterolateralen Zugangsweges zur Stabilisierung proximaler Frakturen des Humerus konnte eine Devaskularisierung der Frakturfragmente größtenteils vermieden und die Gefahr einer Blutgefäßschädigung minimiert werden [27]. Dies wird bestätigt durch eine Studie von Bathis et al. [1] zur Behandlung von 3- bis 4-Part-Frakturen, in der sich mit 9% eine deutlich geringere AVN-Rate bei minimal-invasiven Eingriffen gegenüber einer Häufigkeit von 16% bei offenen Repositionen zeigte. Ebenso berichten Sturzenegger et al. [27] von einem mindestens 3fachen Anstieg der Komplikationen durch AVN infolge offener Repositionen verglichen mit minimal-invasiven Plattenosteosynthesen. Die Abnahme an Weichteilmanipulationen verringere zudem die operative Morbidität und fördere hierdurch eine frühfunktionelle Nachbehandlung mit verbessertem funktionellen Outcome [16]. Im Zuge dessen definierten mehrere Autoren eine „Sicherheitszone“ für anterolaterale Deltasplintzisionen, die jedoch je nach Studie hinsichtlich ihrer Größe und Lage differierte – eine anatomische Variabilität des Nervenverlaufs, welche sich auch in der vorliegenden Studie widerspiegelt [4, 5, 6, 13].

Gardner et al. [9] konnten jedoch zeigen, dass kein weiterer Ast des N. axillaris auf Höhe der Raphe zwischen akromialem und klavikulärem Deltaanteil kreuzt, um die anterioren Muskelanteile zu innervieren. Die stumpfe Präparation des M. deltoideus unter Aufsuchen und Spaltung dieser Raphe sei demnach nahezu unbedenklich. So sehen auch Riemer et al. [22, 23] bei der lateromedialen Zugangsrichtung ein weit geringeres Verletzungsrisiko des N. axillaris als beim a.-p.-Weg. Ausgenommen einer Beteili-

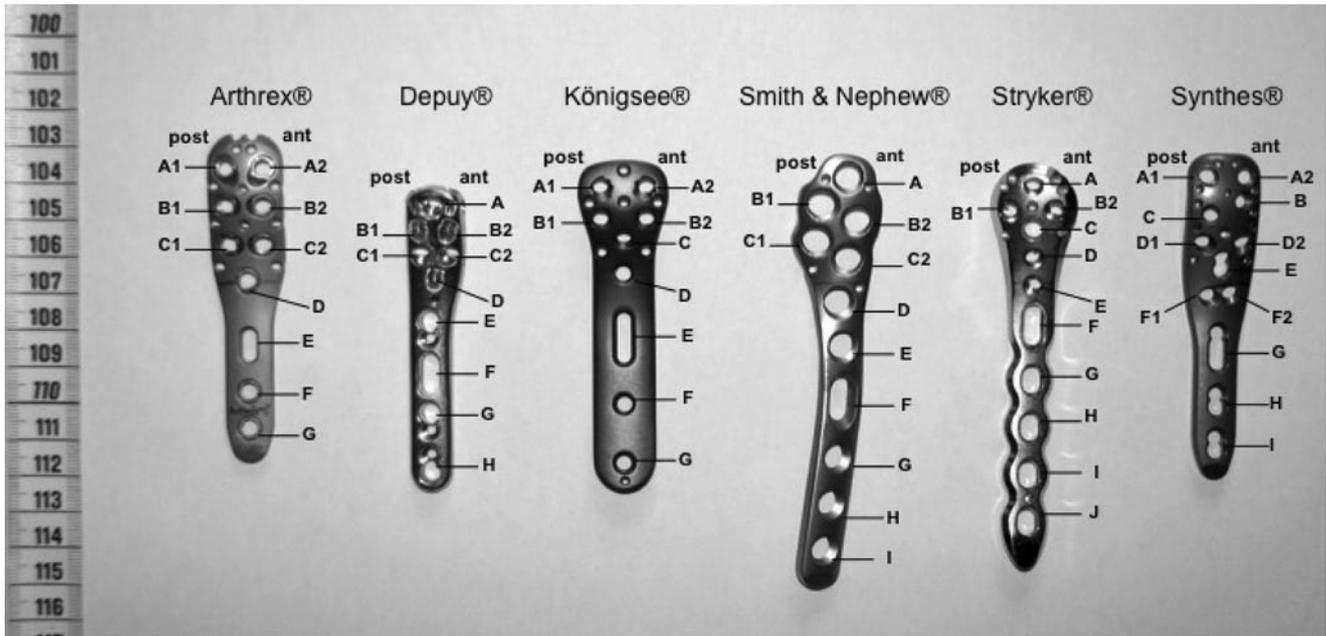


Abb. 1 ▲ Darstellung der verwendeten Implantate für die jeweils rechte Seite: Die Löcher der einzelnen Platten wurden sowohl in superior-inferiorer Richtung als auch in a.-p.-Richtung für rechte und linke Armpräparate alphanumerisch zugeordnet. Hierbei bezeichnet die Ziffer 1 jeweils das auf dem Bild links, die Ziffer 2 das rechts dargestellte Loch, wobei sich der Zusatz anterior bzw. posterior auf die jeweils vorliegende Extremitätenseite bezieht. Im Falle eines rechtsseitigen Präparats gilt somit: 1=posterior und 2=anterior, während es sich für die linke Seite umgekehrt verhält (nicht dargestellt)

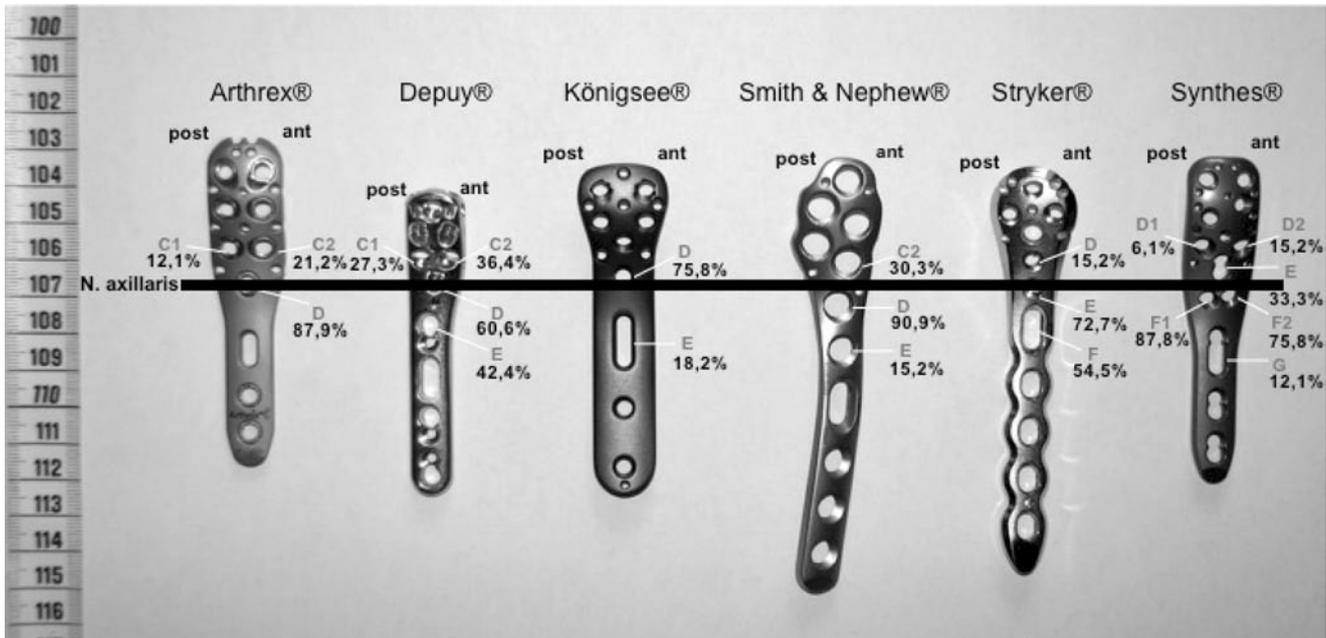


Abb. 2 ▲ Schematische Darstellung eines „Risikoprofils“ der verwendeten Implantate für die jeweils rechte Seite. Der mit N. axillaris bezeichnete Balken repräsentiert die durchschnittliche Entfernung des Nerven vom Plattenoberrand. Durch das individuelle Plattendesign und die daraus resultierende Variabilität in der anatomischen Platzierung ergibt sich für jedes Implantat eine unterschiedliche Verlaufshöhe. Die Häufigkeit, mit welcher der N. axillaris mit den Bohrlöchern interferierte, ist prozentual angegeben. Fehlende Angaben entsprechen 0%

gung des Tuberculum majus an dislozierten Frakturen, empfehlen Gardner et al. es als anatomische Landmarke und Prädiktor für den Verlauf des Nerven zu ver-

wenden, da es weniger Lagevariabilitäten aufweist als das Acromion und somit zuverlässiger erscheint [10]. Sie beschreiben den Nerv als gut palpabel und ein Unter-

schieben der Platte unmittelbar entlang des Humerus als unbedenklich.

Grundlage der vorliegenden Untersuchungen waren ausschließlich winkelsta-

Tab. 2 Entfernung relevanter Bohrlöcher zum N. axillaris: Darstellung von Mittelwert, Standardabweichung, Minimum und Maximum in Millimetern sowie des Anteils von Löchern bezogen auf die Gesamtzahl, mit denen der N. axillaris interferierte^a

Implantat	Loch links	MW±SD	nx	Min.	Max.	Loch rechts	MW±SD	nx	Min.	Max.
		(mm)		(mm)	(mm)		(mm)			
Arthrex®	B1-ant	19,4±3,6	8/8	13,7	24,1	B1-post	21,1±4,3	25/25	13,1	28,2
	B2-post	21,5±3,3	8/8	18,3	27,2	B2-ant	17,1±3,9	25/25	10,4	23,9
	C1-ant	9,0±2,6	7/8	4,9	12,0	C1-post	10,7±3,1	22/25	4,0	15,0
	C2-post	10,3±3,4	8/8	7,0	16,3	C2-ant	7,8±2,7	18/25	2,7	12,4
	D	4,5±	1/8	4,5	4,5	D	3,9±1,1	3/25	3,1	5,2
	E	16,0±1,9	8/8	12,7	17,8	E	15,9±4,0	24/25	8,1	22,9
DePuy®	F	28,9±2,3	8/8	25,1	31,6	F	29,0±4,4	25/25	19,8	38,1
	B1-ant	20,6±6,0	8/8	11,4	27,6	B1-post	16,9±7,4	25/25	6,5	33,0
	B2-post	22,5±6,6	8/8	12,5	31,2	B2-ant	13,6±7,7	25/25	5,3	29,5
	C1-ant	12,3±5,8	8/8	3,8	19,9	C1-post	11,9±5,7	16/25	5,0	23,5
	C2-post	14,6±6,7	8/8	4,9	24,3	C2-ant	11,4±5,1	12/25	2,8	20,3
	D	11,6±2,9	8/8	8,1	16,0	D	11,0±3,6	16/25	5,4	15,8
Königsee®	E	7,9±0,6	8/8	7,3	8,5	E	9,5±3,5	8/25	5,6	16,0
	F	17,3±3,9	8/8	11,2	22,9	F	22,7±5,6	25/25	9,2	31,2
	C	12,8±4,7	8/8	5,3	19,8	C	10,7±3,3	25/25	4,5	16,6
	D	6,4±3,5	3/8	2,8	9,7	D	3,9±1,5	6/25	1,5	5,8
Smith & Nephew®	E	14,6±2,7	6/8	10,2	17,7	E	13,3±2,8	21/25	7,7	16,8
	F	32,2±4,0	8/8	24,5	36,5	F	30,6±3,8	25/25	20,4	35,6
	C1-ant	11,1±4,2	8/8	4,8	17,0	C1-post	13,8±4,9	25/25	5,7	22,9
	C2-post	9,0±2,6	8/8	6,1	14,0	C2-ant	9,0±4,2	16/25	3,3	16,1
Stryker®	D	±	0/8			D	4,7±2,4	3/25	3,2	7,5
	E	11,7±3,5	8/8	7,9	18,2	E	13,4±3,3	20/25	6,4	20,1
	F	27,1±4,1	8/8	23,2	33,7	F	27,8±4,5	25/25	19,3	34,8
	C	18,1±4,3	8/8	12,4	22,8	C	16,2±4,9	25/25	5,9	24,7
	D	10,1±3,9	8/8	4,5	14,4	D	9,8±3,3	20/25	5,0	17,1
Synthes®	E	5,4±1,0	3/8	4,5	6,5	E	4,9±2,5	7/25	2,4	8,8
	F	9,7±2,3	3/8	8,3	12,4	F	9,4±2,7	11/25	5,5	14,0
	G	21,7±4,1	8/8	14,9	28,3	G	21,6±4,7	25/25	10,0	29,2
	C	21,1±4,0	8/8	15,8	27,1	C	20,7±4,7	25/25	8,9	28,3
	D1-ant	13,9±4,2	7/8	7,0	18,7	D1-post	13,8±3,9	24/25	5,9	21,3
	D2-post	13,1±4,4	8/8	7,0	20,7	D2-ant	10,7±3,7	20/25	4,3	18,7
	E	9,2±2,4	5/8	6,1	12,7	E	7,3±3,0	16/25	3,4	13,9
	F1-ant	7,1±0,9	2/8	6,5	7,8	F1-post	6,9±0,7	3/25	6,2	7,6
F2-post	4,9±1,0	3/8	3,9	5,8	F2-ant	4,8±2,5	5/25	2,3	8,3	
Synthes®	G	15,7±5,2	8/8	10,1	23,7	G	15,2±4,4	21/25	3,8	23,3
	H	30,0±6,0	8/8	23,2	38,6	H	28,6±5,2	25/25	15,6	36,8

^aDie Mittelwerte der Entfernung (Bohrloch – Nerv) werden nur für jene Löcher angegeben, die keinen Kontakt zum Nerv zeigten. Ihre Anzahl wird durch die links aufgeführte Zahl definiert. MW Mittelwert, SD Standardabweichung, Min. Minimum, Max. Maximum, nx N. axillaris, ant anterior, post posterior.

bile Implantate. Sie erfüllen die Rolle anatomisch geformter interner Fixateure, deren primäre Vorteile gegenüber herkömmlichen Platten in einer stabileren Verankerung im Knochen und einer verminderten Kompression des Periosts liegen [8, 15, 18, 19]. Das Resultat ist der Erhalt der Vaskularisation sowie die Verbesserung der Kallusformation [9]. Der Zugewinn an Primärstabilität sogar in osteoporotisch verändertem Knochenmaterial ist für die Behandlung der proximalen Humerusfrak-

tur epidemiologisch bedeutsam. Daraus ergibt sich die Möglichkeit einer früheren funktionellen Nachbehandlung, die das allgemeine Morbiditätsrisiko (v. a. älterer Patienten) zu senken vermag [8, 18, 19]. Dennoch konnten die winkelstabilen Implantate die hohen Erwartungen an die Primärstabilität insbesondere bei osteoporotischen Frakturen nicht vollständig erfüllen, da sie zu Komplikationsraten von bis zu 50% führen [7, 17]. Südkamp et al. [28] ordnen allerdings 40% dieser Kom-

plikationen chirurgisch-technischen Fehlern zu. So ließe sich z. B. die intraoperative Schraubenperforation als größte Komplikationsquelle durch eine Reduktion der Schraubenlänge minimieren [3, 21].

Auch wenn diese winkelstabilen Implantate grundsätzlich ähnliche Prinzipien verfolgen und vergleichbare Eigenschaften besitzen, so weisen die hier untersuchten Modelle je nach Hersteller ein spezifisches Plattenprofil auf. Sie unterscheiden sich sowohl in der Anzahl und Anord-

nung ihrer Bohrlöcher als auch der Länge, Breite und Torquierung des Schafts.

Unabhängig vom Design ergeben sich, bei korrekter anatomischer Positionierung, sichere proximale und distale Anteile für das Einsetzen von Schraubenmaterial. Im untersuchten Kollektiv interferierte der Nerv nie mit den Löchern A–B sowie H–J sämtlicher Platten. Wird hingegen eine Schraubenbesetzung zentral gelegener Löcher angestrebt, ist die direkte Visualisierung entsprechender Löcher zur Minimierung des Risikos einer Nervenläsion zu empfehlen. So zeigten alle analysierten Implantate auf Höhe des Loches D mit einer Häufigkeit von 33–90% Kontakt zum N. axillaris. Neben den zentralen Abschnitten sollte eine perkutane Fixierung der Schrauben ebenfalls nur bei gelungener anatomischer Reposition der Frakturelemente erfolgen, da sonst die korrekte Positionierung der Platte nicht möglich und eine Schlussfolgerung auf das hier beschriebene spezifische Risikoprofil nicht zulässig ist. Hierbei bietet sich an, das Implantat zunächst über die als sicher beschriebenen Löcher zu stabilisieren, um anschließend durch eine Abduktion des Arms die zentralen Plattenbereiche ins operative Sichtfeld zu bewegen und unter optischer Kontrolle zu befestigen [4].

Limitierender Faktor dieser Studie ist der fehlende Bezug der erhobenen Daten zur Humeruslänge. Cetik et al. [5] konnten zeigen, dass der Verlauf des N. axillaris in Relation zur Länge des Oberarms vorhergesagt werden kann. Die vorliegende Untersuchung hat jedoch zum Ziel, Istwerte in einem gemittelten Kollektiv unterschiedlicher individueller Armlängen darzustellen und somit die operative Praxis mit den heute zur Verfügung stehenden Implantaten widerzuspiegeln. Da in einer Klinik zumeist nur ein einziger Implantattyp zur Versorgung einer proximalen Humerusfraktur vorliegt, hätte die Berücksichtigung der Armlänge keine weitere Konsequenz.

Fazit für die Praxis

Die Lagebeziehung des N. axillaris zu den Schraubenlöchern moderner winkelstabiler Implantate ist bei der eingescho-benen Plattenosteosynthese über einen

anterolateralen perkutanen Zugang relevant und sollte zur Vermeidung iatrogenen Schädigungen des Nervs klinisch berücksichtigt werden. Während die Schraubenbesetzung der proximalen und distalen Plattenlöcher kein Risiko darstellt, ist implantatspezifisch die Schraubenbesetzung im zentralen Plattenbereich hinsichtlich einer Schädigung des N. axillaris in einer perkutanen Technik kritisch zu bewerten.

Korrespondenzadresse

PD Dr. J. Dargel

Klinik und Poliklinik für Orthopädie und Unfallchirurgie,
Klinikum der Universität zu Köln
Joseph-Stelzmann-Straße 9, 50924 Köln
jens.dargel@uk-koeln.de

Interessenkonflikt. Der korrespondierende Autor gibt für sich und seine Koautoren an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

1. Bathis H, Tingart M, Bouillon B, Tiling T (2001) Surgical treatment of proximal humeral fractures. Is the T-plate still an adequate osteosynthesis procedure? *Zentralbl Chir* 126:211–216
2. Bono CM, Grossman MG, Hochwald N, Torretta P (2000) Radial and axillary nerves. Anatomic considerations for humeral fixation. *Clin Orthop Rel Res* 373:259–264
3. Brunner F, Sommer C, Bahrs C et al (2009) Open reduction and internal fixation of proximal humerus fractures using a proximal humeral locked plate. A prospective multicenter analysis. *J Orthop Trauma* 23:163–172
4. Burkhead WZ, Scheinberg RR, Box G (1992) Surgical anatomy of the axillary nerve. *J Shoulder Elbow Surg* 1:31–36
5. Cetik O, Uslu M, Acar HI et al (2006) Is there a safe area for the axillary nerve in the deltoid muscle? A cadaveric study. *J Bone Joint Surg Am* 88:2395–2399
6. Duparc F, Boquet G, Simonet J, Freger P (1997) Anatomical basis of the variable aspects of injuries of the axillary nerve. Excluding the terminal branches in the deltoid muscle. *Surg Radiol Anat* 19:127–132
7. Eden L, Frey S, Holzapfel B et al (2011) Die winkelstabile Platte zur Behandlung der 3- und 4-Fragmentfraktur am proximalen Humerus. Eine Komplikationsanalyse. *Obere Extremität* 6:118–124
8. Fankhauser F, Boldin C, Schnippinger G et al (2005) A new locking plate for unstable fractures of the proximal humerus. *Clin Orthop Rel Res* 430:176–181
9. Gardner MJ, Griffith MH, Dines JS, Lorch DG (2004) A minimally invasive approach for plate fixation of the proximal humerus. *Bull Hosp Joint Dis* 62:18–23
10. Gardner MJ, Griffith MH, Dines JS et al (2005) The extended anterolateral acromial approach allows minimally invasive access to the proximal humerus. *Clin Orthop Rel Res* 434:123–129

11. Gardner MJ, Voos JE, Wanich T et al (2006) Vascular implications of minimally invasive plating of proximal humerus fractures. *J Orthop Trauma* 20:602–607
12. Gardner MJ, Boraiah S, Helfet DL, Lorch DG (2008) The anterolateral acromial approach for fractures of the proximal humerus. *J Orthop Trauma* 22:132–137
13. Hoppenfeld S, deBoer P (1994) Surgical exposures in orthopaedics. The anatomic approach, 2. edn. Lippincott, Philadelphia
14. Kamineni S, Ankem H, Sanghavi S (2004) Anatomical considerations for percutaneous proximal humeral fracture fixation. *Injury* 35:1133–1136
15. Khan LAK, Robinson CM, Will E, Whittaker R (2009) Assessment of axillary nerve function and functional outcome after fixation of complex proximal humeral fractures using the extended deltoid-splitting approach. *Injury* 40:181–185
16. Koval KJ, Gallaher MA, Marsicano JG et al (1997) Functional outcome after minimally displaced fractures of the proximal part of the humerus. *J Bone Joint Surg Am* 79:203–207
17. Krettek C, Wiebking U (2011) Proximale Humerusfraktur. Ist die winkelstabile Plattenosteosynthese der konservativen Behandlung überlegen? *Unfallchirurg* 114:1059–1067
18. Lill H, Hepp P, Rose T et al (2004) Die winkelstabile Plattenosteosynthes (LPHP) proximaler Humerusfrakturen über den kleinen anterolateralen Delto-Splitting-Zugang. Technik und erste Ergebnisse. *Zentralbl Chir* 129:43–48
19. Plecko M, Kraus A (2005) Die winkelstabile Plattenosteosynthese bei Frakturen am proximalen Humerus mit der LPHP (Locking Proximal Humerus Plate). *Operat Orthop Traumatol* 17:25–50
20. Prince EJ, Breien KM, Fehringer EV, Mormino MA (2004) The relationship of proximal locking screws to the axillary nerve during antegrade humeral nail insertion of four commercially available implants. *J Orthop Trauma* 18:585–588
21. Ricchetti ET, Warrander WJ, Abboud JA (2010) Use of locking plates in the treatment of proximal humerus fractures. *J Shoulder Elbow Surg* 19:66–75
22. Riemer BL, Butterfield SL, D'Ambrosia R, Kellam J (1991) Seidel intramedullary nailing of humeral diaphyseal fractures. A preliminary report. *Orthopedics* 14:239–246
23. Riemer BL, D'Ambrosia R (1992) The risk of injury to the axillary nerve, artery and vein from proximal locking screws of humeral intramedullary nails. *Orthopedics* 15:679–699
24. Rodriguez-Merchan EC (1995) Compression plate versus Hackethal nailing in closed humeral shaft fractures failing nonoperative reduction. *J Orthop Trauma* 9:194–197
25. Röderer G, AbouElsoud M, Gebhard F et al (2007) Minimally Invasive Application of the Non-Contact Bridging (NCB) plate to the proximal humerus. An anatomical study. *J Orthop Trauma* 21:621–627
26. Rowels DJ, McGrory JE (2001) Percutaneous pinning of the proximal part of the humerus. An anatomic study. *J Bone Joint Surg Am* 83:1695–1699
27. Sturzenegger M, Fornaro E, Jakob RP (1982) Results of surgical treatment of multifragmented fractures of the humeral head. *Arch Orthop Trauma Surg* 100:249–259
28. Südkamp N, Bayer J, Hepp P et al (2009) Open reduction and internal fixation of proximal humeral fractures with use of the locking proximal humerus plate. Results of a prospective, multicenter, observational study. *J Bone Joint Surg Am* 91:1320–1328
29. Werner A, Böhm D, Iig A, Gohlke F (2002) Die intramedulläre Drahtosteosynthese nach Kapandji bei der proximalen Humerusfraktur. *Unfallchirurg* 105:332–337