

Obere Extremität 2013 · 8:28–34
 DOI 10.1007/s11678-012-0200-2
 Eingegangen: 5. September 2012
 Angenommen: 13. November 2012
 Online publiziert: 16. Januar 2013
 © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2012

K. Wegmann¹ · K. J. Burkhart¹ · S. Lappen¹ · D. B. Pfau² · W. F. Neiss³ · L. P. Müller¹

¹Abteilung für Orthopädie und Unfallchirurgie, Uniklinik Köln, Köln, Deutschland

²Lehrstuhl für Neurophysiologie, Centrum für Biomedizin und Medizintechnik Mannheim (CBTM), Medizinische Fakultät Mannheim, Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, Heidelberg, Deutschland

³Institut I für Anatomie der Universität zu Köln, Köln, Deutschland

Verlauf des N. radialis in Relation zum Drehzentrum des Ellenbogengelenks

Einleitung

Bewegungsfixateure haben sich in der Therapie des instabilen Ellenbogens etabliert. Sie ermöglichen die sichere Führung des ulnohumeralen Gelenks, um rekonstruierte Kollateralbänder oder stabilisierte knöcherne Strukturen zur Ausheilung bringen zu können [1–4]. Darüber hinaus kann mit bestimmten Fixateuren die Gelenkdistraktion zur Therapie von Kontrakturen durchgeführt werden [5–7]. Die dynamischen Fixateure werden i. d. R. von lateral mittels zweier Pins humeral sowie ulnar fixiert. Bei der Implantation der humeralen Pins besteht die Gefahr, den N. radialis in seinem Verlauf an der lateralen Seite des Oberarms zu verletzen. Zwar ermittelten Cheung et al. unter 100 mit Bewegungsfixateuren versorgten Patienten keine Fälle von neurologischen Defiziten [1]. Andere Autoren berichteten aber über transiente und auch persistierende Läsionen des N. radialis, nachdem Pins am distalen Humerus zur Fixierung eines Bewegungsfixateurs eingebracht wurden [2, 4, 8]. Verschiedene Publikationen haben sich bereits mit dem anatomischen Verlauf des N. radialis am Humerus und dessen Gefährdung durch das Einbringen von Pins beschäftigt [9–11].

Bislang existierte aber noch keine anatomische Studie, die sich spezifisch auf die Pins beim Bewegungsfixateur bezieht. Die gängigen auf dem Markt erhältlichen Exemplare unterscheiden sich zwar in ihrer Konstruktionsweise, haben jedoch gemein, dass im Rahmen der Implantation das Drehzentrum des Ellenbogens nach

radiologischer Identifizierung mit einem Kirschner (K)-Draht markiert wird. Somit war das Ziel der vorliegenden Studie, den Verlauf des N. radialis am lateralen Oberarm in Relation zum Drehzentrum des Ellenbogens darzustellen. Hierdurch sollte eine reproduzierbare „safe zone“ für das Einbringen der humeralen Pins bei der Implantation von Bewegungsfixateuren in Relation zum Drehzentrum identifiziert werden. Ein weiteres Ziel der vorliegenden Studie war es, die Vorhersagbarkeit des Verlaufs des N. radialis am mittleren und distalen Humerus statistisch zu validieren.

Material und Methoden

Leichenpräparate und Präparation

Für die vorliegende anatomische Studie standen im Zentrum Anatomie der Universität zu Köln 41 obere Extremitäten von 41 formalinfixierten Körperspendern (25 weibliche, 16 männliche) zur Verfügung. Aufgrund von vorbestehenden traumatischen oder ausgeprägten degenerativen Veränderungen wurden 3 Präparate von den Analysen ausgeschlossen.

Nach Entfernen der Haut, des Unterhautfettgewebes und der Faszien wurde der N. radialis in seinem Verlauf dargestellt. Hierfür wurden die den Nerven überlagernden Muskeln mittels stumpfer Präparation zur Seite gehalten bzw. einzelne Muskelbäuche auseinander gedrängt. Der Nerv wurde im Rahmen der Präparation in seinem natürlichen Verlauf belassen und an folgenden Punkten dargestellt:

- Abzweigung aus dem Fasciculus posterior des Plexus brachialis,
- Verlauf im Sulcus N. radialis an der Hinterfläche des Humerus,
- Durchtritt durch das Septum brachiale laterale sowie
- Eintritt zwischen Mm. brachialis und brachioradialis.

Messmethode und Landmarken

Identifiziert wurde das Drehzentrum, indem der distale Humerus so unter dem Bildwandler (BW) platziert wurde, dass die Kondylen des Humerus exakt übereinander zu liegen kamen und einen Kreis formten. Das Zentrum dieses Kreises – das Drehzentrum des Ellenbogengelenks – wurde unter BW-Kontrolle mittels K-Draht markiert (■ **Abb. 1**). Anschließend wurden ausgehend vom Drehzentrum die Distanzen zu folgenden 3 anatomischen Referenzpunkten, die im Rahmen der Präparation freigelegt worden waren, mittels eines Messschiebers und einer auf das Drehzentrum des Ellenbogens referenzierten Messeinheit vermessen (■ **Abb. 2a**):

- Kreuzungspunkt des N. radialis mit der Facies posterior humeri/Austrittspunkt aus dem Sulcus (■ **Abb. 2a**, Punkt 1 und ■ **Abb. 3**).
- Kreuzungspunkt des N. radialis mit der Schaftmitte in a.p.-Ausdehnung (■ **Abb. 2a**, Punkt 2)
- Kreuzungspunkt des N. radialis mit der Facies anterolateralis (■ **Abb. 2a**, Punkt 3 und ■ **Abb. 4**), dieser Punkt wurde als Übertritt des N. radialis

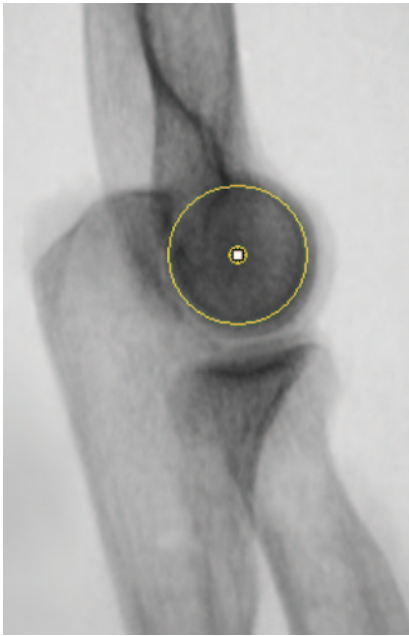


Abb. 1 ▲ Bestimmung des Drehzentrums unter dem Bildwandler. Projektion der Kondylen übereinander und Markierung der Kreismitte

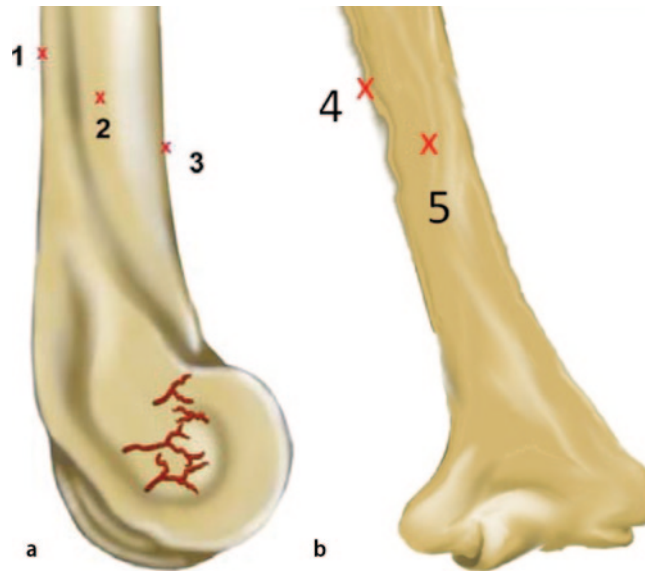


Abb. 2 ▲ Illustration der 5 anatomischen Fixpunkte, die in Abhängigkeit vom Drehzentrum bzw. der Olekranonspitze vermessen wurden. **a:** Punkt 1: Kreuzungspunkt des N. radialis mit der Facies posterior humeri. Punkt 2: Kreuzungspunkt des N. radialis mit der Schaftmitte in a.p.-Ausdehnung. Punkt 3: Kreuzungspunkt des N. radialis mit der Facies anterolateralis (Ansicht von lateral). **b:** Punkt 4: Eintritt des N. radialis in seinen Sulcus, Punkt 5: Kreuzungspunkt mit der Schaftmitte des Humerus in mediolateraler Ausdehnung (Ansicht von dorsal)

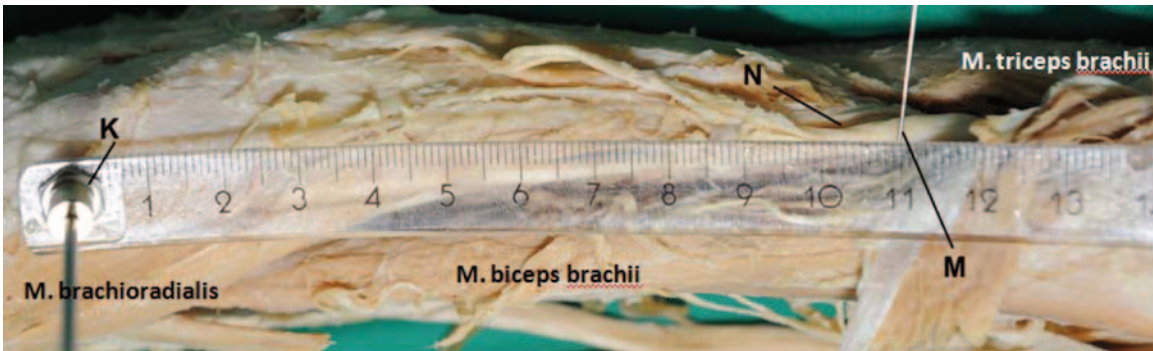


Abb. 3 ▲ Vermessung des Punkts 1 (Kreuzung des N. radialis mit der Facies posterior humeri, Übertritt von posterior nach lateral). Der Nullpunkt der Abstandsmessung liegt im Drehzentrum, in den radiologisch gestützt ein K-Draht platziert wurde. K Kirschner-Draht im Drehzentrum, über den eine Messlehre referenziert ist; N N. radialis; M Markierung des Kreuzungspunkts des Nervs mit der Facies posterior des Humerus)

in das anteriore Kompartiment definiert.

Durch die Wahl von 3 Punkten kann der Verlauf des N. radialis am distalen Humerus umschrieben und nicht nur ein einzelner Punkt definiert werden.

Um die Variabilität des Nervenverlaufs statistisch zu untersuchen, wurden die gemessenen Distanzen mit der Humerusgesamtlänge korreliert. Hierfür war es notwendig, auch den proximalen Verlauf des Nervs gegen einen festen Bezugspunkt zu erfassen. Hierfür wurde der Verlauf in der Frontalebene posterior des Humerus

in Relation zur Olekranonspitze vermessen (■ **Abb. 2b**) und folgende 2 anatomische Referenzpunkte gewählt:

- Eintrittspunkt des N. radialis in seinen Sulcus (■ **Abb. 2b**, Punkt 4) und
- Kreuzungspunkt des N. radialis mit der Schaftmitte in mediolateraler Ausdehnung (■ **Abb. 2b**, Punkt 5 und ■ **Abb. 5**).

Abschließend wurde die für die Korrelationen benötigte Gesamtlänge des Humerus bestimmt, definiert als die Distanz des Oberrandes des Caput humeri zum Unterrand des Epicondylus lateralis.

Statistische Auswertung

Von den gesammelten Daten wurden mithilfe der Statistiksoftware SPSS 19 (SPSS Inc., Chicago, IL/USA) Mittelwert (Mw.), Minimum (Min.), Maximum (Max.) und Standardabweichung (Std.) ermittelt und der Datensatz auf Normalverteilung überprüft. Des Weiteren erfolgte eine Korrelationsanalyse der Humerusgesamtlängen und der Abstände der Punkte 1–5 zu den entsprechenden Bezugspunkten im einzelnen Präparat. Hierfür wurden die Präparate gemäß ihrer Gesamtlängen in 2 Gruppen eingeteilt (Gruppe I < 31,0 cm,

K. Wegmann · K. J. Burkhart · S. Lappen · D. B. Pfau · W. F. Neiss · L. P. Müller

Verlauf des N. radialis in Relation zum Drehzentrum des Ellenbogengelenks

Zusammenfassung

Hintergrund. Die dynamischen Fixateure haben sich in der Therapie der Ellenbogeninstabilitäten etabliert. Bei der Fixierung der Systeme am Oberarm mittels Pins ist der N. radialis gefährdet. Durch die direkte und indirekte Läsion des Nervs kann es zu temporären aber auch dauerhaften Lähmungserscheinungen mit schwerwiegenden Konsequenzen für den Patienten kommen. Ziel der vorliegenden Studie war es, den Verlauf des N. radialis in Relation zum Drehzentrum des Ellenbogengelenks darzustellen und die Variabilität des Verlaufs zu analysieren.

Material und Methoden. Hierfür wurden 38 obere Extremitäten von 38 formalinfixierten humanen Körperspendern präpariert. Der N. radialis wurde etappenweise in seinem Verlauf vom Plexus brachialis bis zu seinem Übertritt in den Unterarm dargestellt. Dann wurde der Verlauf des Nervs lateral in der Sagittalebene in Relation zum Drehzentrum des Ellenbogengelenks mittels 3 anatomischer Fixpunkte referenziert (Punkt 1: Kreuzungspunkt des N. radialis mit der Facies posterior humeri, Punkt 2: Kreuzungspunkt des N. radialis mit der Schaftmitte in a.p.-Ausdehnung, Punkt 3: Kreuzungspunkt des N. radialis mit der Facies anterolateralis). Im Anschluss erfolgte die statistische

Analyse mit Korrelation des gesamten Verlaufs des Nervs mit der Gesamtlänge der jeweiligen Humeri, um eine individuelle „safe zone“ vorherzusagen zu können. Um den Gesamtverlauf des Nervs am Oberarm zu beschreiben, wurden zusätzlich in der Frontalebene posterior des Humerus anatomische Fixpunkte in Relation zur Olekranonspitze vermessen (Punkt 4: Eintrittspunkt des N. radialis in seinen Sulcus, Punkt 5: Kreuzungspunkt mit der Schaftmitte in mediolateraler Ausdehnung).

Ergebnisse. In der vorliegenden Studie wurde der N. radialis an den 38 Präparaten ausgehend vom Drehzentrum in einem Bereich von mindestens 3,2 bis maximal 15,6 cm am lateralen Humerus registriert (Punkt 1: $13,4 \pm 1,3$ cm, Minimum 10,1, Maximum 15,6; Punkt 2: $9,8 \pm 1,7$ cm, Minimum 6,2, Maximum 13,9; Punkt 3: $6,2 \pm 1,7$ cm, Minimum 3,2, Maximum 10,2; Punkt 4: $18,5 \pm 1,5$ cm, Minimum 15,3, Maximum 21,4; Punkt 5: $16,0 \pm 1,3$ cm, Minimum 12,3, Maximum 19,0). Die Gesamtlänge korrelierte gut mit den proximalen Punkten (Punkt 4 $r=0,58$, Punkt 5 $r=0,67$ und Punkt 1 $r=0,64$). Bei den distalen Punkten zeigte sich keine Korrelation (Punkt 2: $r=0,23$, Punkt 3: $r=0,12$).

Schlussfolgerung. Anhand der gewonnenen Daten lässt sich der Verlauf des N. radialis nach radiologischer Identifizierung der verwendeten Bezugspunkte am Oberarm vorherzusagen. Insbesondere lässt sich ausgehend vom Drehzentrum der Verlauf des N. radialis an der lateralen Seite des Oberarms bestimmen. Die bislang existierenden Studien zum N. radialis gehen nach Auffassung der Autoren nicht weit genug, um eine verlässliche „safe zone“ zu beschreiben, bzw. wurden diese mit den vorliegenden Ergebnissen zum Teil widerlegt. Allerdings verdeutlicht die vorliegende Studie auch die Variabilität des Verlaufs des N. radialis am distalen Humerus. Eine absolut sichere Vorhersage des Verlaufs des Nervs ist nicht möglich. Es empfiehlt sich die „Mini-open“-Präparation des Implantationsgebiets unter Sicht, um die potenziellen schwerwiegenden klinischen Konsequenzen zu vermeiden.

Schlüsselwörter

Nervus radialis · „Safe zone“ · Drehzentrum · Ellenbogeninstabilität · Dynamischer Fixateur

Course of the radial nerve in relation to the center of rotation of the elbow joint

Abstract

Background. The dynamic fixators have been established in the treatment of elbow instabilities. By the application of the fixators at the humerus with pins, the radial nerve is endangered. By direct and indirect lesion of the nerve, temporary and chronic paralysis may develop. The aim of the present study was, to display the course of the radial nerve at the humerus in relation to the center of rotation of the elbow joint and to analyze its variability.

Materials and Methods. A total of 38 cm formalin fixated upper extremities of 38 human cadavers were dissected. By stages, the radial nerve was exhibited from the brachial plexus to the forearm. Then the course of the radial nerve was referenced at the lateral aspect of the humerus in relation to the center of rotation of the elbow joint by 3 anatomic fixed points (point 1: cross point of the radial nerve with the posterior aspect of the humerus, point 2: cross point of the radial nerve with the center of the shaft of the humerus, point 3: cross point of the radial nerve with the an-

tero-lateral aspect of the humerus). Additionally, the proximal course of the radial nerve at the posterior aspect of the humerus was referenced to the tip of the olecranon (point 4: entry of the radial nerve in the spiral groove of the humerus, point 5: cross point of the radial nerve with the center of the humeral shaft). The data was statistically analyzed and the overall length of the humeri was correlated with the distances of the anatomic points from the center of rotation and the olecranon respectively.

Results. We found the radial nerve at the lateral aspect of the humerus in relation to the center of rotation at a minimum distance of 3.2 cm and a maximum distance of 15.6 cm (point 1: 13.4 ± 1.3 cm, minimum 10.1, maximum 15.6; point 2: 9.8 ± 1.7 cm, minimum 6.2, maximum 13.9; point 3: 6.2 ± 1.7 cm, minimum 3.2, maximum 10.2; point 4: 18.5 ± 1.5 cm, minimum 15.3, maximum 21.4; point 5: 16.0 ± 1.28 cm, minimum 12.3, maximum 19.0). The statistics showed good

correlation of the proximal points with the overall length of the humeri (point 4 $r=0.58$, point 5 $r=0.67$ and point 1 $r=0.64$), but none of the distal points (point 2: $r=0.23$, point 3: $r=0.12$).

Conclusion. With the present data, the course of the radial nerve at the humerus can be predicted, to define a safe zone for pin implantation after radiological identification of the center of rotation. The results of previous existing anatomic studies have partly been refuted by the present data. However, due to the variability of the course of the radial nerve, the presented safe zone cannot completely prevent iatrogenic injury to the radial nerve. The safest way to apply the pins at the distal humerus remains the “mini-open” dissection and visualized implantation.

Keywords

Radial nerve · Safe zone · Center of rotation · Elbow instability · Dynamic fixator

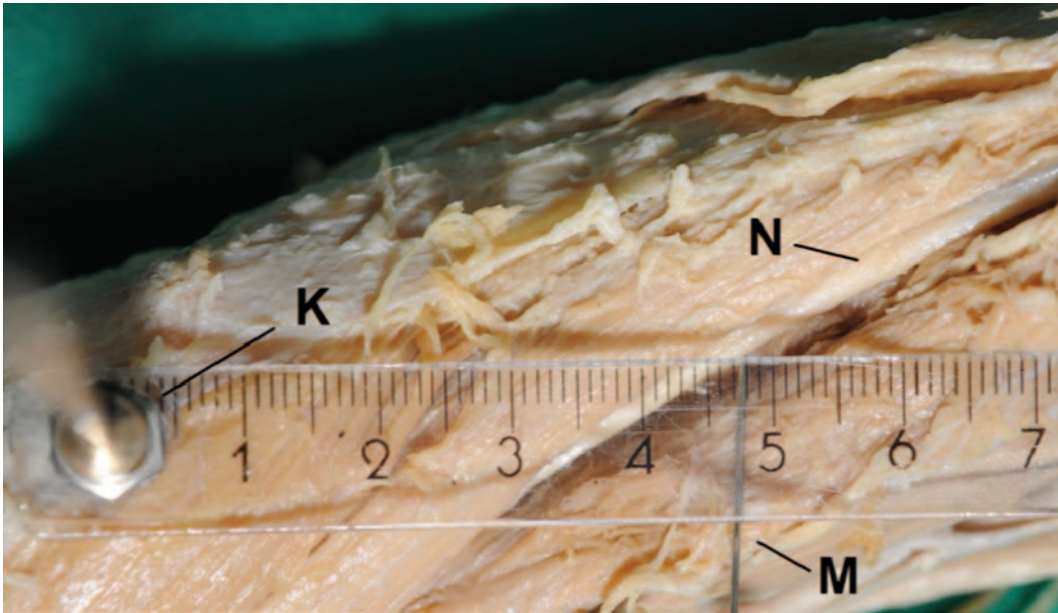


Abb. 4 ▲ Vermessung von Punkt 3, hier 4,8 cm vom Drehzentrum entfernt (Kreuzung des N. radialis mit der Facies anterolateralis humeri, Übertritt nach ventral). Der Nullpunkt der Abstandsmessung liegt im Drehzentrum (vgl. Abb. 3). Ab dem markierten Punkt verläuft der N. radialis ventral des Humerus, eine direkte Läsion ist bei Penetration des lateralen Humerus nicht möglich. *K* Kirschner-Draht; *N* N. radialis; *M* Kreuzungspunkt des Nervs mit der Facies anterolateralis des Humerus)

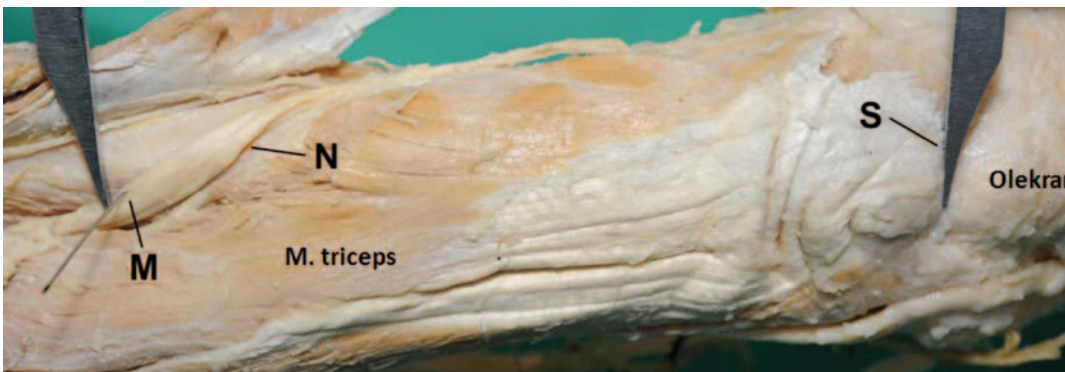


Abb. 5 ▲ Vermessung von Punkt 5. *M* Kreuzungspunkt des N. radialis mit der Schaftmitte des Humerus; *N* N. radialis; *S* Schieblehre, distal auf der Spitze des Olekranons aufliegend

Gruppe II > 31,0 cm) und ein „median split“ zur Korrelationsanalyse durchgeführt. Zusätzlich wurde durch den Yates Test for Gender Differences der Einfluss des Geschlechts auf die Korrelation der Gesamtlängen mit dem Verlauf des Nervs untersucht.

Ergebnisse

Die Messergebnisse sind in **Tab. 1** wiedergegeben. Die durchschnittliche Humeruslänge betrug 31,0 cm (Std. $\pm 2,1$, Min. 25,6, Max., 34,9).

Der Abstand des Drehzentrums zum Kreuzungspunkt des N. radialis mit der Facies posterior humeri (Punkt 1) betrug

im Durchschnitt 13,4 cm (Std. $\pm 1,3$, Min. 10,1, Max. 15,6, 43,3 % der Humerusgesamtlänge).

Der Abstand des Drehzentrums vom Kreuzungspunkt des N. radialis mit der Schaftmitte in a.p.-Ausdehnung (Punkt 2) betrug im Mittel 9,8 cm (Std. $\pm 1,7$, Min. 6,2, Max. 13,9, 31,7 % der Humerusgesamtlänge).

Der mittlere Abstand des Drehzentrums vom Kreuzungspunkt des N. radialis mit der Facies anterolateralis humeri (Punkt 3) betrug 6,2 cm (Std. 1,7, Min. 3,2, Max. 10,2, 20,5 % der Humerusgesamtlänge; **Abb. 6**).

Der durchschnittliche Abstand der Olekranonspitze zum Eintrittspunkt des

N. radialis in den Sulcus (Punkt 4) lag bei 18,5 cm (Std. $\pm 1,5$, Min. 15,3, Max. 21,4, 59,8 % der Humerusgesamtlänge).

Der Kreuzungspunkt des N. radialis mit der Schaftmitte in mediolateraler Ausdehnung (Punkt 5) lag im Durchschnitt 16,0 cm (Std. $\pm 1,3$, Min. 12,3, Max. 19,0, 51,6 % der Humerusgesamtlänge) von der Olekranonspitze entfernt.

Anhand der gewonnenen Daten lässt sich der Verlauf des N. radialis nach radiologischer Identifizierung der verwendeten Bezugspunkte am Oberarm vorhersagen. Insbesondere kann man ausgehend vom Drehzentrum der Verlauf des N. radialis an der lateralen Seite des Oberarms bestimmen (**Abb. 7**). In einem Be-

Tab. 1 Ergebnisse der Vermessung der anatomischen Fixpunkte gegen die jeweiligen Landmarken

Präparat	Alter	♀/♂	Humeruslänge	Punkt 1	Punkt 2	Punkt 3	Punkt 4	Punkt 5
1,0	93,0	f	32,9	14,9	11,1	6,3	18,2	16,2
2,0	88,0	f	29,1	11,5	10,8	8,4	18,1	15,3
3,0	91,0	f	31,3	13,4	11,8	8,6	19,1	16,4
4,0	88,0	f	28,6	13,8	11,9	9,0	16,3	15,0
5,0	94,0	f	30,0	12,7	11,1	7,8	17,8	15,2
6,0	91,0	f	29,9	12,0	11,7	9,0	17,2	15,2
7,0	99,0	f	30,1	12,4	11,2	8,6	17,8	15,3
8,0	91,0	f	27,1	12,2	9,6	6,5	16,3	14,5
9,0	87,0	m	29,4	11,8	8,9	4,7	19,2	15,5
10,0	70,0	m	33,5	14,1	12,3	9,3	20,1	16,6
11,0	88,0	f	31,9	13,9	10,3	7,7	17,3	15,2
12,0	74,0	f	28,9	10,1	10,4	6,8	17,6	13,9
13,0	82,0	m	34,2	14,9	13,9	10,2	19,9	17,2
14,0	91,0	f	32,8	13,4	11,3	8,4	18,1	15,2
15,0	88,0	m	33,9	13,4	9,8	5,9	19,4	17,9
16,0	79,0	f	33,2	12,9	8,4	5,0	18,2	15,3
17,0	82,0	f	25,6	10,1	7,9	3,2	15,3	12,3
18,0	85,0	f	31,4	13,7	11,7	8,8	17,9	16,0
19,0	75,0	m	33,1	15,2	8,9	6,2	17,7	16,5
20,0	96,0	f	28,4	12,5	7,0	3,5	18,2	15,1
21,0	99,0	f	28,3	13,2	8,3	4,8	17,8	15,5
22,0	81,0	m	33,7	14,6	9,1	6,6	18,8	16,6
23,0	72,0	f	30,4	12,6	6,2	3,3	15,9	14,4
24,0	67,0	m	31,5	14,2	8,4	4,1	17,4	15,1
25,0	90,0	f	30,8	12,5	8,1	4,0	18,7	16,6
26,0	76,0	m	32,7	14,0	7,9	3,4	19,3	17,2
27,0	75,0	f	32,7	13,7	8,3	4,0	21,3	17,9
28,0	83,0	m	34,9	14,1	10,1	4,7	19,6	16,7
29,0	76,0	m	31,7	15,1	10,1	3,7	19,9	17,2
30,0	75,0	f	30,7	14,6	8,5	3,6	19,0	16,1
31,0	92,0	m	30,8	14,7	12,4	9,2	20,5	17,1
32,0	94,0	f	28,1	13,5	9,6	6,2	16,3	14,9
33,0	75,0	f	32,0	14,6	8,6	4,3	21,4	18,1
34,0	82,0	f	31,0	13,4	8,1	6,3	20,6	16,8
35,0	86,0	m	31,6	15,6	11,3	8,6	21,4	19,0
36,0	89,0	f	29,8	13,1	8,4	5,5	18,4	15,7
37,0	82,0	m	31,3	13,2	9,5	7,9	18,1	15,5
38,0	86,0	m	29,4	14,3	8,9	6,9	19,0	16,4

reich von mindestens 3,2 cm bis maximal 15,6 cm entfernt vom Drehzentrum wurde in der vorliegenden Studie an den 38 Präparaten der Nerv am lateralen Humerus aufgefunden.

Die statistische Analyse der normalverteilten Daten zeigte eine gute Korrelation der Humerusgesamtlänge mit den gemessenen Distanzen (■ **Abb. 8**) der proximalen Punkte 4 ($r = 0,58$), 5 ($r = 0,67$) und 1 ($r = 0,64$). Bei den distalen Punkten war keine Korrelation zu beobachten (2: $r = 0,23$, 3: $r = 0,12$).

Diskussion

Der N. radialis ist in seinem fixierten Verlauf durch das Septum intermusculare laterale am Übergang von der Rückseite des Humerus nach ventral durch chirurgische Implantate besonders gefährdet. Der Nerv kann an dieser Stelle nicht zur Seite gedrängt werden, wodurch das Risiko struktureller Schäden erhöht ist [12]. Verschiedene Studien hatten bereits den Ansatz, eine „safe zone“ für die Implantation von Fixateur-Pins zu definieren. So empfehlen

Kamineni et al. [11], 70 % des Durchmessers der transepikondylären Linie am lateralen Epikondylus nach proximal anzulegen, um innerhalb dieser Strecke ohne das Risiko einer Radialisläsion Fixateur-Pins verankern zu können. Nimmt man den geringsten von Kamineni angegebenen Wert eines transepikondylären Durchmessers (5,2 cm), ergeben die empfohlenen 70 % eine Strecke von 3,6 cm proximal des lateralen Epikondylus, innerhalb der eine sichere Pin-Implantation möglich sein soll. Diese Angabe kollidiert

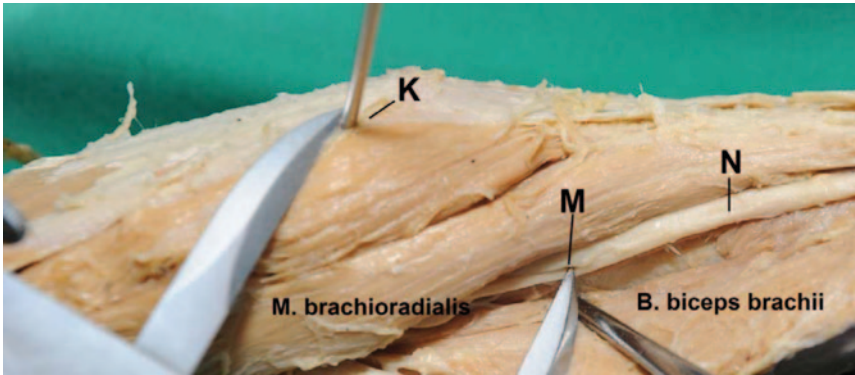


Abb. 6 ▲ Beispiel eines späten Umschwenkens des N. radialis nach anterior, hier 3,4 cm vom Drehzentrum entfernt. (K Kirschner-Draht im Drehzentrum; M Spitze der Schieblehre markiert den Kreuzungspunkt des N. radialis nach ventral; N N. radialis)



Abb. 7 ▲ Illustration des Verlaufs des N. radialis (rot) am Oberarm in Abhängigkeit vom Drehzentrum. Jeweils grün schraffiert ist die „safe zone“, in der ein Antreffen des Nervs unwahrscheinlich ist. Orange markiert sind die Bereiche, die den minimalen und maximalen Werten entsprechen

aber mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie. Wir identifizierten in den 38 Präparaten 6 Kreuzungspunkte des N. radialis nach ventral zwischen 3–4 cm proximal des Drehzentrums. Dies bedeutet, dass der Nerv auch auf dieser Höhe am distalen Humerus noch an dessen lateraler Seite angetroffen und beim Einbringen eines Pins verletzt werden kann.

Im Jahr 2010 präsentierten Baumann et al. [8] 3 Fälle einer kompletten N.-radialis-Läsion nach Implantation eines Bewegungsfixateurs. Die retrospektive Analyse der von Baumann et al. [8] berichteten Positionen der Fixierungs-Pins erbrachte Distanzen von 3,2, 3,8 und 4,7 cm proximal des lateralen Epikondylus. Somit lagen auch diese Pins innerhalb der von Kamineni et al. [11] formulierten Sicherheitsabstände für die Pin-Platzierung. In einer anatomischen Studie, die sich speziell mit dem Implantationsrisiko von Fixateur-Pins beschäftigte, wurden von Clement et al. [9] 40 Pins an 20 Leichenpräparaten am distalen Humerus von lateral eingebracht und zwar perkutan je 3 und 5 cm proximal der Gelenklinie. Die anschließende Sektion der Leichenpräparate ergab eine strukturelle Schädigung des N. radialis in 3 Fällen, wobei der Nerv je einmal vom proximalen, einmal vom distalen und einmal von beiden Pins transfixiert wurde. Des Weiteren berichteten die Autoren den unmittelbaren Kontakt des Nervs mit dem proximalen Pin in weiteren 5 Fällen und mit dem distalen Pin in 4 Fällen. Somit verlief auch hier der verletzte Nerv in der von Kamineni et al. [11] formulierten „safe zone“.

Gausepohl et al. [13] empfehlen nach radiologischer Identifizierung des Sulcus N. radialis, mittels Palpation und stumpfer Präparation den Nerv zu schonen. Diese Technik setzt in unseren Augen ein deutliches Maß an Erfahrung voraus, unter anderem, da zumindest in der akuten und subakuten Traumasituation die Palpation und stumpfe Präparation durch vorhandene Weichteilschwellung erschwert wird.

Cox et al. [10] analysierten verschiedene Referenzpunkte des Verlaufs des N. radialis an der oberen Extremität und setzten diese in Relation zur Gesamtlänge des Humerus. Eine statistische Korrelationsanalyse wurde nicht durchgeführt. Auch sie beschrieben eine ausgeprägte Variabilität des Nervs. Sie führten als Bezugspunkt den Durchtritt des N. radialis durch das Septum intermusculare laterale auf. Diesen fanden sie durchschnittlich bei 40 % der Humerusgesamtlänge ausgehend vom lateralen Epikondylus. Auch diese Angabe scheint uns nicht aussagekräftig genug, um eine „safe zone“ konklusiv zu formulieren, da die Lokalisation des Nervs am distalen Humerus an nur einer Stelle keine ausreichenden Rückschlüsse auf dessen Lage zulässt. Des Weiteren kann der Nerv nicht nur durch die direkte Transfixierung verletzt werden. Durch Verfangen von Weichteilen am rotierenden Pin/Bohrer ist durch Zug neben der Neurapraxie auch eine Zerreißen des Nervs vorstellbar. Somit wurde in der vorliegenden Studie der Ansatz gewählt, den Verlauf des Nervs auch am distalen Teil des Oberarms umfassend darzustellen und nicht auf nur einen Punkt zu beschränken.

Die komplexen anatomischen Verhältnisse am distalen Humerus lassen ein substanzielles Risiko der iatrogenen Radialisläsion bei der Implantation von Fixateur-Pins in diesem Bereich vermuten. In der Literatur finden sich jedoch nur wenige Berichte über derartige Komplikationen des Bewegungsfixateurs. Lediglich Stavlas et al. [4] fanden bei 8 Patienten mit komplexen Ellenbogenverletzungen, die mittels Bewegungsfixateur behandelt worden waren, einen Fall einer transienten Radialisparese. Ebenso berichten McKee et al. [2] über einen Fall einer passageren Paralyse des N. radialis nach Implantation von 16 Bewegungsfixateuren.

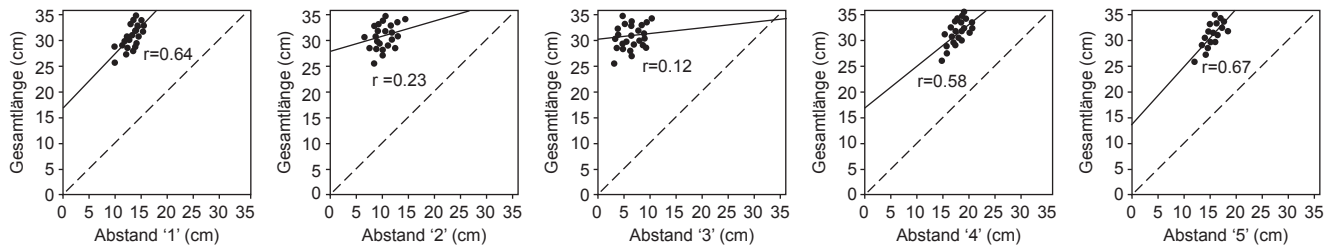


Abb. 8 ▲ Ergebnisse der Korrelation des Abstands der anatomischen Fixpunkte zu den Bezugspunkten mit der Gesamtlänge des Humerus. Gute Korrelation der proximalen Punkte mit der Humerusgesamtlänge (Punkt 4: $r=0,58$, Punkt 5: $r=0,67$ und Punkt 1: $r=0,64$), keine Korrelation bei den distalen Punkten (Punkt 2: $r=0,23$, Punkt 3: $r=0,12$)

Auf die Fallpräsentation von Baumann et al. [8] mit 3 kompletten Paresen wurde bereits eingegangen. Ein Grund für die geringe Inzidenz dieser Komplikation könnte sein, dass die Implantationen der Bewegungsfixateure vornehmlich durch erfahrene Operateure durchgeführt werden. Um bei den vielfältigen Einsatzmöglichkeiten des Bewegungsfixateurs heutzutage auch unerfahrenen Anwendern einen sicheren Umgang mit den Systemen zu ermöglichen, müssen klare Angaben zum Verlauf des N. radialis vorliegen.

Zusammengefasst kann das Risiko einer iatrogenen Schädigung des N. radialis bei der Implantation von unilateralen Fixateur-Pins in den mittleren und distalen Abschnitt des Humerus durch die Verwendung der oben beschriebenen „safe zone“ verringert werden. Proximal und distal des angegebenen Bereichs ist ein Antreffen des N. radialis unwahrscheinlich. Um die Sicherheit der Implantation weiter zu erhöhen, empfiehlt es sich, die Pins proximal der „safe zone“ tendenziell von anterior einzubringen, da der Nerv auf dieser Höhe posterior des Humerus verläuft. Entsprechend kann der Nerv distal der „safe zone“ effektiver geschont werden, wenn die Pins eher von dorsal eingebracht werden. Dies umso mehr, da distal die Gefahr besteht, von der Crista supracondylaris bzw. der Facies anterolateralis nach ventral abzurutschen und den Nerv hierdurch zu verletzen. Aufgrund der Variabilität des Nervenverlaufs ist eine absolute Sicherheit bei der Implantation aber nicht möglich. Dies deutet die durchgeführte statistische Analyse an, die eine höhere Standardabweichung bei den distalen Punkten fand als bei den proximalen. Des Weiteren zeigte die Korrelationsanalyse der Humerusgesamtlänge mit den Distanzen der einzelnen Punkte einen kon-

stanten Zusammenhang des proximalen Verlaufs des N. radialis mit der Humerusgesamtlänge. Distal aber korrelierte der Verlauf nicht mit der Gesamtlänge des Humerus. Somit empfiehlt sich, die jeweiligen minimalen und maximalen Werte, die in der vorliegenden Studie erhoben wurden, unabhängig von der Gesamtlänge anzuwenden. Auch in der bereits diskutierten aktuellen Literatur spiegelt sich die Variabilität wider [4, 8, 9]. Die größtmögliche Sicherheit ist mit der Präparation des Implantationsgebiets und dem Einbringen des Materials unter Sicht zu erreichen.

Fazit für die Praxis

- Der N. radialis zeigt am distalen Humerus einen variablen Verlauf.
- Die Ergebnisse bisheriger anatomischer Studien wurden im Rahmen der vorliegenden Studie zum Teil widerlegt.
- Auch mithilfe der hier angegebenen „safe zone“ ist eine Vermeidung iatrogenen Nervenschäden nicht mit letzter Sicherheit möglich.
- Es empfehlen sich die „Mini-open“-Präparation und Implantation der Pins unter Sicht für größtmögliche Sicherheit.

Korrespondenzadresse



Dr. K. Wegmann
Abteilung für Orthopädie und Unfallchirurgie
Uniklinik Köln
Kerpenerstrasse 62,
50937 Köln
Kilian.Wegmann@uk-koeln.de

Interessenkonflikt. Die Autoren geben an, dass keine Interessenskonflikte bestehen.

Literatur

1. Cheung EV, O'Driscoll SW, Morrey BF (2008) Complications of hinged external fixators of the elbow. *J Shoulder Elbow Surg* 17:447–453
2. McKee MD, Bowden SH, King GJ et al (1998) Management of recurrent, complex instability of the elbow with a hinged external fixator. *J Bone Joint Surg Br* 80:1031–1036
3. Schep NW, De Haan J, Iordens GI et al (2011) A hinged external fixator for complex elbow dislocations: a multicenter prospective cohort study. *BMC Musculoskelet Disord* 12:130
4. Stavlas P, Gliatis J, Polyzois V, Polyzois D (2004) Unilateral hinged external fixator of the elbow in complex elbow injuries. *Injury* 35:1158–1166
5. Tan V, Daluiski A, Capo J, Hotchkiss R (2005) Hinged elbow external fixators: indications and uses. *J Am Acad Orthop Surg* 13:503–514
6. Pennig D, Gausepohl T, Mader K, Wolfgarten B (2001) Distraction arthrolysis with humero-ulnar motion fixator. *Orthopäde* 30:635–644
7. Schofer MD, Fuchs-Winkelmann S, Kortmann HR, Peterlein CD (2008) Posttraumatische Bewegungseinschränkungen des Ellenbogengelenkes. *Obere Extremität* 3:25–33
8. Baumann G, Nagy L, Jost B (2011) Radial nerve disruption following application of a hinged elbow external fixator: a report of three cases. *J Bone Joint Surg Am* 93:e51
9. Clement H, Pichler W, Tesch NP et al (2010) Anatomical basis of the risk of radial nerve injury related to the technique of external fixation applied to the distal humerus. *Surg Radiol Anat* 32:221–224
10. Cox CL, Rihard D, Tubbs RS et al (2010) Predicting radial nerve location using palpable landmarks. *Clin Anat* 23:420–426
11. Kaminen S, Ankem H, Patten DK (2009) Anatomic relationship of the radial nerve to the elbow joint: clinical implications of safe pin placement. *Clin Anat* 22:684–688
12. Artico M, Telera S, Tiengo C et al (2009) Surgical anatomy of the radial nerve at the elbow. *Surg Radiol Anat* 31:101–106
13. Gausepohl T (2011) Use of upper limb external fixation with motion capacity. *Anatomical considerations*. *Unfallchirurgie* 114:123–129