

Leitthema

Unfallchirurgie 2024 · 127:776–782
<https://doi.org/10.1007/s00113-024-01465-7>
Angenommen: 26. Juni 2024
Online publiziert: 25. Juli 2024
© The Author(s), under exclusive licence to Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature 2024



Klavikulapseudarthrose

Axel Jubel^{1,2} · Maximilian Knopf² · Jill Marie Jubel³ · Hannah Herbst² · Moritz Antonie²

¹Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie, Eduardus-Krankenhaus Köln, Köln, Deutschland

²Department Medizin, Danube Private University, Krems, Österreich

³Klinik und Poliklinik für Dermatologie und Allergologie, Universitätsklinikum Bonn, Bonn, Deutschland

In diesem Beitrag

- **Definition**
- **Epidemiologie**
Pseudarthrose nach konservativer Behandlung • Pseudarthrose nach operativer Behandlung
- **Risikofaktoren**
Frakturlokalisation • Frakturform • Dislokation • Geschlecht • Risikofaktoren gemäß der „Brinker-Tabelle“ • Unfallereignis • Refraktur • Weitere Risikofaktoren
- **Diagnostik**
Leitsymptom Schmerz • Klinischer Befund • Röntgenbefund
- **Klassifikation**
Deskriptive Klassifikation • Klassifikation der Ursache
- **Therapie**
Nichtoperative Behandlung • Operative Behandlung

Zusammenfassung

Nach einer konservativen Behandlung werden Pseudarthrosen der Klavikula etwa 10fach häufiger (15–24%) beobachtet als nach einer operativen Behandlung (1,4%). Risikofaktoren sind neben der Frakturlokalisation, die Dislokation, die Frakturform, das Geschlecht, die Schwere des Unfallereignisses und Refrakturen. Die Diagnose einer Pseudarthrose der Klavikula kann durch eine sorgfältige Anamnese, klinische Untersuchung und bildgebende Verfahren gestellt werden. Leitsymptom ist der Schmerz, oft begleitet von Fehlstellungen, einer Instabilität, neurologischen Symptomen und einer eingeschränkten Beweglichkeit der betroffenen Schulter. Röntgenbilder und ggf. ein CT sichern die Diagnose. Pseudarthrosen werden nach dem röntgenmorphologischen Erscheinungsbild und ihrer Ursache klassifiziert. Man differenziert die vitalen von den avitalen Pseudarthrosen. Nur symptomatische Pseudarthrosen bedürfen einer Behandlung. Nichtoperative Methoden wie Magnetfeldtherapie oder Ultraschall sind wenig erfolgreich. Operative Eingriffe sind bei Schmerzen, Bewegungseinschränkungen oder neurovaskulären Problemen indiziert. Ziele der operativen Therapie sind die Wiederherstellung der Vitalität, der Knochenlänge und der Stabilität durch eine winkelstabile Osteosynthese. Im Fall einer operativen Vorbehandlung bietet die anteroinferiore Plattenlage eine gute Alternative zur superioren Plattenlage. In Einzelfällen kann eine Doppelplattenosteosynthese indiziert sein. Autogene Knochenmaterialien, allogene Ersatzmaterialien oder gefäßgestielte Transplantate kommen bei knöchernen Defekten zum Einsatz. Die operative Behandlung weist hohe Heilungsraten auf, birgt jedoch auch ein erhöhtes Infektionsrisiko.

Schlüsselwörter

Knochenfrakturen · Risikofaktoren · Schmerz · Osteosynthese · Knochentransplantation

Viele Jahre bestand unter Unfallchirurgen der (Irr-)Glaube, dass die Pseudarthroserate konservativ behandelter Klavikulafrakturen mit einer Häufigkeit von 1–3 % ausgesprochen selten sei [23]. Die Therapie und auch die Beratung der Patienten erfolgten nach dem Motto: „Eine Klavikulafraktur heilt mit, ohne und trotz ärztlicher Behandlung“. Inzwischen haben viele Untersuchungen gezeigt, dass die Pseudarthroserate an der Klavikula bei Erwachsenen unter einer konservativen Behandlung mit ca. 5–15 % wesentlich häufiger ist als angenommen wurde [5]. Die Behandlung einer Pseudarthrose an der Klavikula ist

technisch anspruchsvoll und ein sozioökonomisch belastender Faktor.

Definition

Unter welchen Bedingungen eine noch nicht verheilte Klavikulafraktur als Pseudarthrose bezeichnet wird, ist in der Literatur nicht einheitlich definiert. Traditionell werden Zeiträume definiert, die von 16 Wochen bis 6 Monaten reichen. Robinson et al. [22] definierten in ihrer epidemiologischen Untersuchung den radiologischen Nachweis von Brückenkallus im Röntgenbild, Schmerzfreiheit und Stabi-



QR-Code scannen & Beitrag online lesen

Tab. 1 Risikofaktoren für eine Pseudarthrose am Schlüsselbein	
Frakturlokalisation	
Frakturform	
Dislokation	
Alter	
Geschlecht	
Hochrasanztrauma	
Refraktur	
Rauchen	

lität am Frakturspalt unter Belastung als sichere Zeichen der knöchernen Konsolidierung. Wenn diese definierten klinischen und radiologischen Zeichen nach einem Zeitraum von 24 Wochen noch nicht vorlagen, wurde dies als Zeichen einer Pseudarthrose gewertet [22].

» Bei fehlender Heilungsmöglichkeit einer Fraktur ohne weitere Eingriffe liegt eine Pseudarthrose vor

In letzter Zeit hat sich eine sehr viel pragmatischere Definition etabliert, nach der eine Pseudarthrose vorliegt, wenn der Behandler feststellt, dass die Fraktur ohne weitere Eingriffe keine Heilungsmöglichkeit hat [7]. Diese Definition trägt der individuellen und teilweise therapieabhängigen Zeitspanne Rechnung, ab der eine knöcherne Heilung erwartet werden kann.

Unter der konservativen Behandlung einer Klavikulafraktur kann klinisch und radiologisch bereits nach wenigen Wochen eine ausbleibende Heilung sicher vorhergesagt werden, während nach einer stabilen Osteosynthese ohne radiologische Zeichen einer Implantatlockerung der knöcherne Durchbau 12 bis 18 Monate in Anspruch nehmen kann.

Epidemiologie

Pseudarthrose nach konservativer Behandlung

Rowe [23] berichtete 1968 von weniger als 1% Pseudarthrosen unter konservativer Therapie. Der überwiegende Anteil der Patienten in diesem Krankenkollektiv waren Kinder, bei denen eine Klavikulapseudarthrose eine absolute Ausnahme ist [29]. Hill et al. [14] fanden bei 15% ihrer Pa-

Patienten- tenalter (Jahre)	Pseudarthroserate in % in Abhängigkeit von der Frakturform und der Dislokation							
	Einfach, nichtdislo- ziert		Einfach, dislo- ziert		Mehrfragmentär, nichtdisloziert		Mehrfragmentär disloziert	
	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂
25	3	<1	19	8	7	3	33	20
35	4	<1	20	11	8	4	35	21
45	5	1	25	14	10	5	37	25
55	6	2	28	18	12	6	42	29
65	7	3	33	20	18	7	47	33

tienten eine Pseudarthrose und beschrieben eine deutliche Korrelation zu einer initialen Verkürzung über 2 cm. In einer detaillierten prospektiven Untersuchung von Januar 1997 bis März 2001 an 868 erwachsenen Patienten fand sich eine kumulative Pseudarthroserate von 6,2% nach einem Zeitraum von 24 Monaten [22]. In 2 aktuellen systematischen Reviews [1, 18] wurden für die zentrale Klavikula nach einer konservativen Behandlung eine Pseudarthroserate von 15–24% festgestellt.

Pseudarthrose nach operativer Behandlung

Pseudarthrosen nach einer operativen Behandlung treten deutlich seltener auf als unter der konservativen Therapie. In einer aktuelle Metaanalyse konnten 497 operativ behandelte und 457 konservativ behandelte Frakturen aus 11 prospektiven randomisierten Untersuchungen eingeschlossen werden. Die operierten Fälle wiesen eine Pseudarthroserate von 1,4% auf, während in der Gruppe der nicht operativ behandelten Fälle eine Pseudarthroserate von 14% festgestellt wurde [1].

Merke. Die Pseudarthroserate unter einer konservativen Therapie ist 10fach höher als nach einer operativen Behandlung.

Risikofaktoren

Eine Auflistung der wesentlichen Risikofaktoren findet sich in Tab. 1.

Frakturlokalisation

Die Raten der Klavikulapseudarthrose unter einer konservativen Behandlung variieren je nach Lokalisation der Fraktur. Während in prospektiven Untersuchungen [22]

relativ häufiger Pseudarthrosen bei lateralen und sternalen Frakturen beschrieben werden, sind die Pseudarthrosen in Sammelstudien [2] so verteilt wie auch die primären Frakturen. Absolut sind die Pseudarthrosen der zentralen Klavikula häufiger als lateral und sternal [2].

Frakturform

In mehreren Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, dass mehrfragmentäre Frakturen der Klavikula mit einem deutlich höheren Pseudarthroserisiko belastet sind als einfache Frakturen [2, 6, 15, 22]. An der lateralen Klavikula sind es v.a. die instabilen Frakturformen mit einer Zerreißung des korakoklavikulären Bandapparats, die mit einem erhöhten Pseudarthroserisiko einhergehen.

Dislokation

Untersuchungen verschiedener Arbeitsgruppen haben gezeigt, dass das Ausmaß der primären Dislokation einen Einfluss auf die Entwicklung einer Pseudarthrose hat. Im Patientenkollektiv von Jupiter und Leffert [17] war das Ausmaß der Dislokation der einzige signifikante prognostische Faktor. Wick et al. [25] konnten zeigen, dass über 90% der Patienten mit einer verzögerten Heilung oder Pseudarthrose eine initiale Verkürzung von mehr als 2 cm aufwiesen.

Geschlecht

Frauen haben, relativ gesehen, ein höheres Risiko, nach einer Klavikulafraktur eine Pseudarthrose zu entwickeln als Männer [2, 6, 22]. In absoluten Zahlen werden Pseudarthrosen häufiger bei Männern be-

Tab. 3 Klassifikation von Pseudarthrosen am Schlüsselbein

	Vital		Avital	
Röntgen	Hypertroph	Oligotroph	Oligotroph	Atroph
Problem	Mechanisch		Biologisch	
Ursachen	Instabilität am Frakturspalt		Vaskularisation ↓	
	Zu schwaches Implantat		Infektion	
	Implantatlockerung		Angeboren	

obachtet, da diese auch häufiger Frakturen erleiden.

Risikofaktoren gemäß der „Brinker-Tabelle“

In einer prospektiven Untersuchung von Robinson et al. [22] wurden die Frakturen weiterdifferenziert, um Risikofaktoren für die Entwicklung einer Pseudarthrose zu identifizieren. Diese Daten wurden von Brinker et al. [5] näher analysiert. Es entstand die „Brinker-Tabelle“ (► Tab. 2), in der das Pseudarthrosrisiko unter einer konservativen Behandlung in Abhängigkeit von der Dislokation, der Frakturform (einfach/mehrfragmentär), dem Alter und dem Geschlecht der Patienten differenziert aufgeführt wird. Als disloziert wird eine Klavikulafraktur angesehen, wenn die beiden Hauptfragmente in beiden Röntgennebenen keinen kortikalen Kontakt mehr aufweisen.

Unfallereignis

In vielen Untersuchungen wurde festgestellt, dass die Pseudarthroserate bei Unfällen mit hoher Energie größer ist als bei einfachen Stürzen [4]. Diese Beobachtung ist dadurch zu erklären, dass Unfälle mit hoher Energie in vermehrtem Maß dislozierte und mehrfragmentäre Frakturen, die ein erhöhtes Pseudarthrosrisiko haben, herbeiführen.

Refraktur

In einigen Patientenkollektiven konnte die Refraktur nach einer zuvor ausgeheilten Klavikulafraktur als Risikofaktor identifiziert werden. Wilkins [26] fand unter 31 Patienten mit Pseudarthrosen der Klavikula 7 Patienten, die in einem Zeitraum von 3 Monaten bis zu 11 Jahren vor der aktuellen Fraktur bereits schon einmal eine Klavikulafraktur erlitten hatten. Refraktu-

ren an der Klavikula werden v. a. nach der Entfernung einer Platte beobachtet. Die Häufigkeit wird in der Literatur mit 5–6 % angegeben.

Weitere Risikofaktoren

Zu den weiteren allgemeinen Risikofaktoren für die Entwicklung einer Pseudarthrose gehören neben dem Nikotinabusus und Übergewicht typische altersbedingte Begleiterkrankungen, wie etwa ein Diabetes mellitus oder die Einnahme von nichtsteroidalen Antirheumatika (NSAR, [15, 30]). Eine zu frühe mechanische Belastung, ein mehr als 3 cm großes laterales Klavikulafragment und eine Zeitverzögerung vor der Operation können das Risiko für das Ausbleiben der Frakturheilung ebenfalls erhöhen [30].

Diagnostik

Die Diagnose einer Pseudarthrose der Klavikula ergibt sich aus der Anamnese, der klinischen Untersuchung und der bildgebenden Diagnostik.

Leitsymptom Schmerz

Das Leitsymptom ist der Schmerz, der etwa von 75 % der Patienten mit Klavikulapseudarthrosen angegeben wird. Typischerweise beklagen diese Schmerzen bei der Bewegung des Arms im Schultergelenk mit Ausstrahlung in den Arm, die Hand oder/und in den Nacken. Einige Patienten beschreiben hör- und tastbare „Knack“- und „Reibephänomene“ oder eine persistierende Instabilität über der Fraktur.

Klinischer Befund

Fehlstellung und Instabilität

In der klinischen Untersuchung kann bei den atrophen Pseudarthrosen des Klavikulaschafts häufig eine typische Fehlstel-

lung beobachtet werden: Die Konturen des Schultergürtels erscheinen asymmetrisch. Die betroffene Schulter steht tiefer und ist nach ventral medial rotiert. Das mediale Hauptfragment steht prominent unter der Haut und ist dort gut zu tasten. Palpatorisch ist die Instabilität der Hauptfragmente bei Bewegungen der Schulter gut zu tasten.

Bei den hypertrophen Pseudarthrosen erscheint die Fehlstellung in der Regel etwas diskreter. Hier stehen die Schmerzen im Vordergrund; die Instabilität und die Fehlstellung sind nicht so ausgeprägt. In Höhe der Pseudarthrose findet sich ein unter der Haut sichtbarer und häufig klopfschmerzhafter Kalluswulst.

Neurologische Symptomatik und Gefäßschäden

Neurologische Symptome finden sich bei etwa 6–52 % der Patienten mit Klavikulapseudarthrosen. Verantwortlich scheinen überschießende bindegewebige Kallusmassen am Unterrand der Klavikula zu sein; diese engen den Raum unter der Klavikula und der ersten Rippe ein können und ein „Thoracic-outlet“-Syndrom provozieren. Auch sekundäre Gefäßprobleme, die v. a. in Form von Thrombosen der V. subclavia auftreten, können durch hypertrophe Bindegewebsmassen hervorgerufen werden.

Eingeschränkte Beweglichkeit

Bei einigen Patienten mit Klavikulapseudarthrosen lässt sich eine schmerzhafte Einschränkung der Beweglichkeit des betroffenen Schultergürtels feststellen. Hierzu sind die Abduktion, die Anteversion und die Außenrotation des Arms betroffen.

Röntgenbefund

Zur Sicherung der Diagnose erfolgt zunächst eine Darstellung der Klavikula in den Standardebenen. Im klassischen Fall einer atrophen Pseudarthrose zeigen sich die dislozierten Hauptfragmente ohne jegliche Kallusformation. Die hypertrophen Pseudarthrose ist durch einen überschießenden Kalluswulst gekennzeichnet. Im Einzelfall kann es schwierig sein, eine Pseudarthrose als solche im konventionellen Röntgenbild zu erkennen.



Abb. 1 ▲ Fallbeispiel 1: kongenitale Pseudarthrose bei einem 8-jährigen Jungen. Langstreckiger Defekt im zentralen Abschnitt des Schlüsselbeins

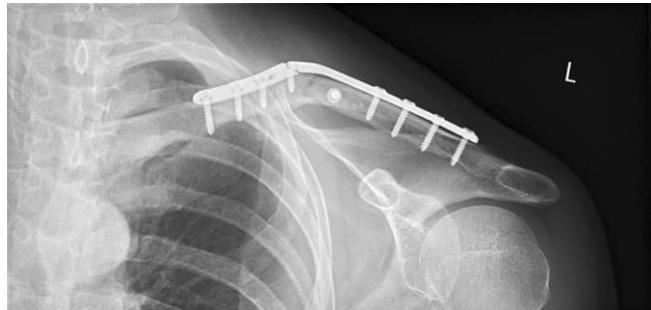


Abb. 2 ▲ Fallbeispiel 2: 44-jähriger Patient. Pseudarthrose und Implantatbruch 7 Monate nach der primären Behandlung einer zentralen Klavikulafraktur mit einer anatomisch vorgeformten winkelstabilen Platte, superiore Plattenlage

nen. Insbesondere bei den hypertrophen Pseudarthrosen kann der Pseudarthrosenspalt unregelmäßig verlaufen, sodass er von den Kallusmassen überlagert wird. In diesen Fällen sollte zur Diagnosesicherung eine Computertomographie der Klavikula veranlasst werden [4].

Klassifikation

Die Klassifikation der Klavikulapseudarthrosen erfolgt anhand der in **Tab. 3** aufgeführten Kriterien.

Deskriptive Klassifikation

An der Klavikula werden, wie an jedem anderen Knochen auch, hinsichtlich des röntgenmorphologischen Erscheinungsbildes die hypo- bzw. atrophe, die oligotrophe und die hypertrophe Pseudarthrose unterschieden [4]. Die hypotrophe Pseudarthrose ist immer ein Hinweis auf ein biologisches Problem. Der Knochen ist nicht in der Lage, Kallus zu bilden. [4].

Die hypertrophe und auch die oligotrophe Pseudarthrose sind innerhalb des ersten Jahres nach dem Unfallereignis Ausdruck eines rein mechanischen Problems: Instabilität am Frakturspalt. Innerhalb dieses Zeitraums ist es vollkommen ausreichend, das mechanische Problem in Form einer stabilen Osteosynthese zu lösen. Nach diesem Zeitraum liegt eine Kombinationsform vor: weiterhin Instabilität bei ausbleibender Knochenneubildung.

Klassifikation der Ursache

Eine Klassifikation hinsichtlich der Ursache einer ausbleibenden knöchernen Heilung

an der Klavikula ist sinnvoll, um die geeigneten therapeutischen Maßnahmen zu ergreifen. Die Ursachen einer Pseudarthrose können in mechanischen, biologischen oder einer Kombination aus mechanischen und biologischen Problemen liegen [7].

Die Ausbildung einer Pseudarthrose unter einer konservativen Therapie lässt sich häufig auf ein mechanisches Problem zurückführen (Instabilität am Frakturspalt) während die Klavikulapseudarthrose nach einer Osteosynthese bei intaktem Implantat Ausdruck eines biologischen Problems (Durchblutungsstörung der Fragmente) ist. Sonderformen eines biologischen Problems sind die Infektpseudarthrose [12] und die kongenitale Pseudarthrose ([10]; Fallbeispiel 1 in **Abb. 1**).

Therapie

Hinsichtlich der Therapie einer Klavikulapseudarthrose gilt der allgemeine Grundsatz: Nur symptomatische Pseudarthrosen bedürfen einer (operativen) Behandlung. Asymptomatische Pseudarthrosen, die z.B. radiologisch zufällig entdeckt werden, bedürfen keiner weiteren spezifischen Maßnahme.

Nichtoperative Behandlung

In der Literatur werden einige nichtoperative Maßnahmen zur Behandlung von Pseudarthrosen der Klavikula beschrieben. Hierzu gehören die lokale Applikation gepulster elektromagnetischer Wellen (Magnetfeldtherapie), die lokale Ultraschallbehandlung oder die fokussierte Stoßwellentherapie [4]. Berichte darüber, dass die Frakturen unter einer derartigen Behandlung tatsächlich ausgeheilt sind, gibt es nur wenige. Viele Patienten wählen jedoch trotz der geringen Erfolgsaussichten zunächst eine dieser nichtoperativen Maßnahmen in der Hoffnung, dass eine Operation vermieden werden kann [4].

Indikationen und Operationszeitpunkt

Indikationen zur operativen Therapie einer Klavikulapseudarthrose bestehen bei Schmerzen, schmerhaften Bewegungseinschränkungen, groben Fehlstellungen oder neurovaskulären Problemen, die sich auf die Pseudarthrose zurückführen lassen.

Die Indikationsstellung setzt eine eingehende klinische Untersuchung voraus, die eine differenzialdiagnostische Abklärung der vorgetragenen Beschwerden ermöglicht. Neben der qualitativen Erfassung der Symptomatik sollte auch versucht werden, die Beschwerden zu quantifizieren sowie den Leidensdruck und den Anspruch des Patienten zu eruieren. Im Einzelfall ist es möglich, dass ein Patient zwar objektiv nur geringe Funktionsdefizite aufweist, allerdings die Fehlstellung oder einen großen Kalluswulst als unerträglich empfindet und einen erheblichen Leidensdruck aufweist. Auf der anderen Seite gibt es Patienten, bei denen objektiv ein erhebliches Funktionsdefizit vorliegt, mit dem sie aber im täglichen Leben und in ihrem Beruf gut zureckkommen. Unter einer stabilen Osteosynthese und vitalen Verhältnissen kann mit einer Heilungsrate über 90 % gerechnet werden [27]. Hinsichtlich der Indikationsstellung muss jedoch

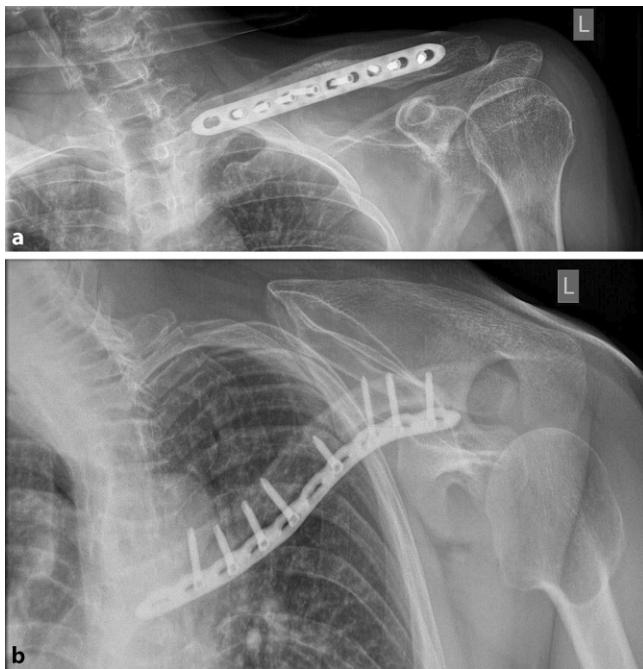


Abb. 3 ▲ Fallbeispiel 2: operative Revision mit Pseudarthrosenresektion (gleicher Patient wie □ Abb. 2), Dekortikation, offener Reposition und stabiler Osteosynthese mit einer 3,5 mm winkelstabilen Platte, die mit der Biegepresse vorgebogen wurde (a, b). Beachte: b deutlich längere Schrauben, insbesondere lateral. Zusätzlich wurden autogene Spongiosa und ein resorbierbares, keramisches Knochenersatzmaterial (a) um die Hauptfragmente herum angelagert

auch bedacht werden, dass die operative Behandlung einer Klavikulapseudarthrose im Vergleich zur Osteosynthese einer frischen Klavikulafraktur mit einem doppelt so hohen Infektionsrisiko verbunden ist [20].

» Die operative Therapie ist bei Absehbarkeit einer Pseudarthrosenentwicklung zeitnah indiziert

Hinsichtlich des Operationszeitpunkts wurde festgestellt, dass ein operativer Eingriff bei einer erkennbar verzögerten Heilung unter konservativer Primärtherapie bis zum 3. Monat nach dem Unfallereignis etwa das gleiche Risikoprofil aufweist wie die Osteosynthese einer frischen Fraktur [9].

Diese Daten sprechen für eine frühe Indikationsstellung zur operativen Therapie, wenn unter einer konservativ begonnenen Behandlung klinisch, bei persistierender Beschwerdesymptomatik und radiologisch fehlender Kallusbildung die Entwicklung einer Pseudarthrose absehbar ist.

Therapieziele

Das Ziel der Operation besteht in einer Schaffung vitaler Verhältnisse, der Wiederherstellung der Klavikulalänge und in einer übungsstabilen Osteosynthese. Die Grundprinzipien der operativen Behandlung einer Klavikulapseudarthrose bestehen unabhängig von der Lokalisation und der Art der Pseudarthrose.

Vitalität. Um vitale Verhältnisse sicherzustellen, müssen, ungeachtet der Größe des entstehenden knöchernen Defekts, der bindegewebige Pannus der Pseudarthrose und avitale Knochenfragmente reseziert werden. Es schließt sich eine sparsame Dekortikation der Hauptfragmente an. Es gilt der Grundsatz: Je älter die Pseudarthrose und je avitaler die Fragmente, umso größer wird der knöcherne Defekt, den es zu überbrücken gilt.

Stabilität durch die Wahl des geeigneten Implantats. In der aktuellen Literatur werden die unterschiedlichsten Implantate beschrieben, die eingesetzt werden können, um im Fall eines Primäreingriffs bei einer Klavikulapseudarthrose eine adäquate Stabilität zu erreichen. Neben ver-

schiedenen intramedullären Implantaten [16] oder dem Fixateur externe [3] werden v.a. unterschiedliche Plattendesigns genutzt [18, 19].

» Stabile Osteosynthesen erzielen bei vitalen Verhältnissen Heilungsraten über 90 %

Unter biomechanischen Gesichtspunkten scheint die Plattenosteosynthese gegenüber den intramedullären Verfahren Vorteile zu haben [11], sodass dieses Verfahren von vielen Autoren bevorzugt empfohlen wird [18, 19]. Die anatomisch vorgeformten winkelstabilen Implantate bieten im Fall einer Pseudarthrose gegenüber den nichtwinkelstabilen Platten mehr Stabilität. Rekonstruktionsplatten, die den anatomischen Verhältnissen der Klavikula angepasst werden können, sind zu schwach und mit dem Problem einer Implantatermüdung belastet [19]. Insofern bieten die anatomisch vorgeformten winkelstabilen Platten deutliche Vorteile und ausreichende Stabilität [8]. Unter einer stabilen Osteosynthese und vitalen Verhältnissen kann mit einer Heilungsrate über 90 % gerechnet werden [13].

Plattenposition

Hinsichtlich der Frage der Plattenposition existieren in der aktuellen Literatur keine eindeutigen Empfehlungen. Grundsätzlich bietet sich die klassische superiore Plattenlage für Primäreingriffe bei Klavikulapseudarthrosen an. Für Revisioneingriffe nach vorheriger operativer Behandlung kann die anteroinferiore Plattenlage Vorteile haben, da deutlich längere Schraubenlängen genutzt werden können ([21]; Fallbeispiel 2 in □ Abb. 2 und 3) Der Aufwand zur Platzierung einer Platte in der anteroinferioren Position ist jedoch deutlich größer, da die ventralen Muskelansätze abgelöst werden müssen und die Platte lateral erheblich vorgebogen werden muss, wenn kein anatomisch vorgeformtes Implantat genutzt wird.

Doppelplatte

Unter einer Doppelplattenosteosynthese an der Klavikula wird die Platzierung sowohl einer anteroinferioren als auch einer superioren Platte verstanden [28]. Hierbei handelt es sich um ein Salvage-

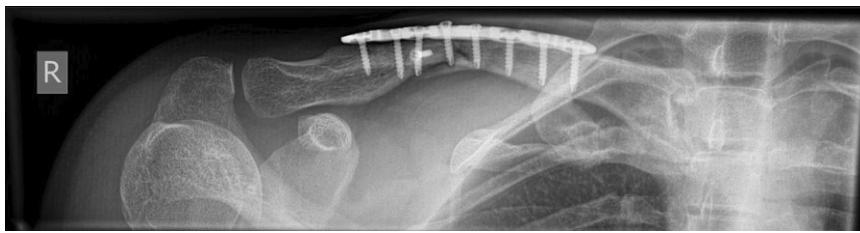


Abb. 4 ▲ Fallbeispiel 3: Pseudarthrose und Implantatbruch, 32-jähriger Patient. Pseudarthrose 24 Monate nach dem primären Eingriff

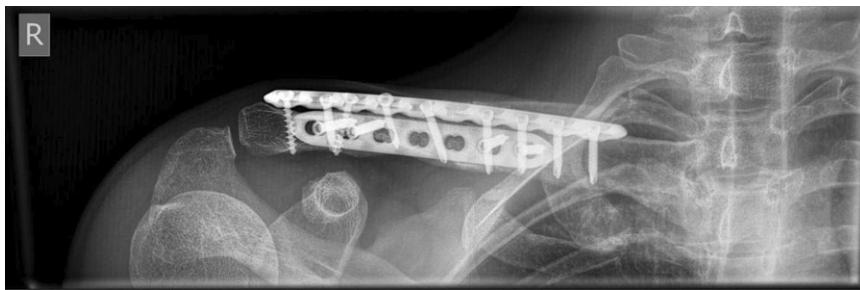


Abb. 5 ▲ Postoperative Röntgenaufnahmen. Implantatentfernung, Dekortikation, Reposition, Doppelplatte plus Spongiosa

Manöver, das bei Revisionseingriffen nach Klavikulapseudarthrosen mit bereits erheblich reduzierter Knochenqualität oder im Fall langstreckiger Knochendefekte genutzt werden kann, um eine ausreichende Stabilität zu gewährleisten ([28], Fallbeispiel 3 in □ Abb. 4 und 5).

Knochenersatz und Defektfüllung

Autogenes Knochenmaterial aus dem Beckenkamm. Autogene Knochentransplantate aus dem Beckenkamm gelten als Goldstandard in der Behandlung von avitalem Pseudarthrosen oder knöchernen Defekten, die ergänzend zu einer stabilen Osteosynthese zur Behandlung einer Klavikulapseudarthrose eingesetzt werden. Die autogenen Beckenknochen weisen neben einer guten Osteokonduktivität auch hervorragende osteoinduktive Eigenschaften auf. Mit trikortikalen Beckenspänen konnten selbst größere Defekte von 3–6 cm Länge an der Klavikula erfolgreich überbrückt werden [24]. Nachteile, die mit der Gewinnung eines autogenen Knochentransplantats verbunden sind, bestehen in den häufigen postoperativen Beschwerden und Problemen an der Hebestelle, der längeren Operationszeit, einem erhöhten Risiko für Nachblutungen und der begrenzten Menge an Knochenmaterial, das gewonnen werden kann.

Allogen Knochenersatzmaterial. Für kleinere Defekte und Lücken zwischen den Hauptfragmenten, die nach der Dekortikation entstanden sind, können i.d.R. allogene Knochenersatzmaterialien, wie etwa demineralisierte Knochenmatrix oder Keramiken, eingesetzt werden. Die osteokonduktiven Eigenschaften dieser Materialien reichen aus, um eine Überbrückung der Pseudarthrose nach einer stabilen Osteosynthese sicherzustellen.

Gefäßgestielte Transplantate. Bei größeren Defekten oder bei Rezidineingriffen sollte über die Verwendung eines gefäßgestielten, mikrovaskulären Spans nachgedacht werden. Hierzu zählt der Fibulaspán, mit dem Defekte bis 10 cm Länge überbrückt werden können. Eine Alternative ist ein gefäßgestielter Span aus der medialen Femurkondyle oder ein gefäßgestielter Rippenspan. Typischerweise erfolgt der Anschluss der Gefäße an den Truncus thyreocervicalis und an die V. jugularis externa.

Induzierte Membranen (Masquelet-Technik). Die innovative Masquelet-Technik hat sich in den letzten Jahren zur Behandlung von Pseudarthrosen langer Röhrenknochen [4] bewährt und konnte auch an der Klavikula erfolgreich eingesetzt werden. Es handelt sich um ein

zweizeitiges Vorgehen, bei dem sich eine durch einen PMMA-Spacer induzierte Fremdkörperreaktion zunutze gemacht wird; dieser wird nach dem initialen Débridement anmodelliert und in den Defekt eingesetzt [4]. Nach einem Zeitraum von 4 bis 8 Wochen wird der Zement-Spacer entfernt. Er hinterlässt eine Kammer und eine gut vaskularisierte Membran, die das osteokonduktive Knochenmaterial aufnehmen kann [4].

Ergebnisse: Was kann der Patient erwarten?

Aus der aktuellen Literatur geht hervor, dass eine knöcherne Ausheilung einer Klavikulapseudarthrose nach einer operativen Behandlung unter Berücksichtigung der oben genannten Prinzipien sicher erreicht werden kann. Sowohl mit der superiorens als auch der anteroinferioren Plattenlage sowie der Doppelplattenosteosynthese können zufriedenstellende funktionelle Ergebnisse und eine gute Ausheilungsrate erzielt werden. Nichtdestotrotz konnte gezeigt werden, dass sich die Schulterfunktion in einigen Fällen nur sehr langsam und auch nicht vollständig erholt [20]. Bei adäquater Indikation können mit einem elastischen Titanagel ebenfalls ein gutes funktionelles Ergebnis und eine sichere knöcherner Heilung erreicht werden [16].

Fazit für die Praxis

- Voraussetzungen für die erfolgreiche Behandlung einer symptomatischen Pseudarthrose der Klavikula sind die präzise Diagnostik und eine präoperative Differenzierung hinsichtlich der Vitalität des Gewebes.
- Instabile, vitale, hypertrophe Pseudarthrosen lassen sich durch eine stabile Osteosynthese und Anlagerung von allogenem Knochenersatzmaterial erfolgreich behandeln.
- Liegt ein Vitalitätsproblem in Form einer hypo- bzw. atrophen Pseudarthrose vor, ist neben einer Dekortikation und stabilen Osteosynthese auch die Anlagerung von autogenem Knochenmaterial erforderlich.
- Knöcherne Defekte können durch Beckenspäne oder gefäßgestielte Knochentransplantate überbrückt werden. Eine Alternative ist die Masquelet-Technik.
- Nach Voroperationen sollte an die Möglichkeit einer Infektion gedacht werden. Die anteroinferiore Plattenlage bietet nach vorausgegangenen Eingriffen eine

Abstract

gute Alternative zur superioren Plattenlage. In Einzelfällen kann nach mehrfachen Eingriffen eine Doppelplattenosteosynthese sinnvoll sein, um eine ausreichende Stabilität zu gewährleisten.

Korrespondenzadresse

Univ. Prof. PD Dr. med. Axel Jubel

Klinik für Unfall- und Wiederherstellungs chirurgie, Eduardus-Krankenhaus
Köln
Custodisstr. 3–17, 50679 Köln, Deutschland
axeljubel@t-online.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. A. Jubel, M. Knopf, J.M. Jubel, H. Herbst und M. Antonie geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden von den Autor/-innen keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Literatur

1. Amer K, Smith B, Thomson JE et al (2020) Operative Versus Nonoperative Outcomes of Middle-Third Clavicle Fractures: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Orthop Trauma* 34:e6–e13
2. Ban I, Troelsen A (2016) Risk profile of patients developing nonunion of the clavicle and outcome of treatment—analysis of fifty five nonunions in seven hundred and twenty nine consecutive fractures. *Int Orthop* 40:587–593
3. Barlow T, Upadhyay P, Barlow D (2014) External fixators in the treatment of midshaft clavicle non-unions: a systematic review. *Eur J Orthop Surg Traumatol* 24:143–148
4. Brewer J, O’Connor DP, Brinker MR (2023) Nonunions. In: Ricci WM, Mehta S (Hrsg) Orthopaedic knowledge update, 6. Aufl. Wolters Kluwer; American Academy of Orthopaedic Surgeons, Philadelphia, Rosemont, Illinois, S91–102
5. Brinker MR, Edwards TB, O’Connor DP (2005) Estimating the risk of nonunion following nonoperative treatment of a clavicular fracture. *J Bone Joint Surg Am* 87:676–677
6. Brinker MR, O’Connor DP (2004) The incidence of fractures and dislocations referred for orthopaedic services in a capitated population. *J Bone Joint Surg Am* 86-A:290–297
7. Brinker MR, O’Connor DP (2019) Nonunions: Evaluation & Treatment. In: Browner BD, Jupiter JB, Ch KAA (Hrsg) Skeletal Trauma. Elsevier, Philadelphia, S743–834
8. Chen W, Tang K, Tao X et al (2018) Clavicular non-union treated with fixation using locking compression plate without bone graft. *J Orthop Surg Res* 13:317
9. Das A, Rollins KE, Elliott K et al (2014) Early versus delayed operative intervention in displaced clavicle fractures. *J Orthop Trauma* 28:119–123
10. Depaoli A, Zarantonello P, Gallone G et al (2022) Congenital Pseudarthrosis of the Clavicle in Children: A Systematic Review. *Children* 9:
11. Drosdowech DS, Manwell SE, Ferreira LM et al (2011) Biomechanical analysis of fixation of middle third fractures of the clavicle. *J Orthop Trauma* 25:39–43
12. Duncan SF, Sperling JW, Steinmann S (2005) Infection after clavicle fractures. *Clin Orthop Relat Res* 439:74–78
13. Fox B, Clement ND, Macdonald DJ et al (2022) Plate fixation of midshaft clavicle fractures for delayed union and non-union is a cost-effective intervention but functional deficits persist at long-term follow-up. *Shoulder Elbow* 14:360–367
14. Hill JM, McGuire MH, Crosby LA (1997) Closed treatment of displaced middle-third fractures of the clavicle gives poor results. *J Bone Joint Surg Br* 79:537–539
15. Jorgensen A, Troelsen A, Ban I (2014) Predictors associated with nonunion and symptomatic malunion following non-operative treatment of displaced midshaft clavicle fractures—a systematic review of the literature. *Int Orthop* 38:2543–2549
16. Jubel A, Andermahr J, Weissaar G et al (2005) Intramedullary nailing (ESIN) in clavicular pseudarthroses. Results of a prospective clinical trial. *Unfallchirurg* 108:544–550
17. Jupiter JB, Leffert RD (1987) Non-union of the clavicle. Associated complications and surgical management. *J Bone Joint Surg Am* 69:753–760
18. Lenza M, Buchbinder R, Johnston RV et al (2019) Surgical versus conservative interventions for treating fractures of the middle third of the clavicle. *Cochrane Database Syst Rev* 1:CD9363
19. Martetschläger F, Gaskill TR, Millett PJ (2013) Management of clavicle nonunion and malunion. *J Shoulder Elbow Surg* 22:862–868
20. McKnight B, Heckmann N, Hill JR et al (2016) Surgical management of midshaft clavicle nonunions is associated with a higher rate of short-term complications compared with acute fractures. *J Shoulder Elbow Surg* 25:1412–1417
21. Nourian A, Dhaliwal S, Vangala S et al (2017) Midshaft Fractures of the Clavicle: A Meta-analysis Comparing Surgical Fixation Using Anteroinferior Plating Versus Superior Plating. *J Orthop Trauma* 31:461–467
22. Robinson CM, Court-Brown CM, McQueen MM et al (2004) Estimating the risk of nonunion following nonoperative treatment of a clavicular fracture. *J Bone Joint Surg Am* 86-A:1359–1365
23. Rowe CR (1968) An atlas of anatomy and treatment of midclavicular fractures. *Clin Orthop* 58:29–42
24. Van Der Burg FA, Baltes TP, Kloen P (2023) Large segmental defects in midshaft clavicle nonunion treated with autologous tricortical iliac crest bone graft. *Shoulder Elbow* 15:45–53
25. Wick M, Muller EJ, Kollig E et al (2001) Midshaft fractures of the clavicle with a shortening of more than 2 cm predispose to nonunion. *Arch Orthop Trauma Surg* 121:207–211
26. Wilkins RMJ et al (1983) Ununited fractures of the clavicle. *J Bone Joint Surg Am* 65A:774–778
27. Wiss DA, Garlich JM (2021) Clavicle nonunion: plate and graft type do not affect healing rates—a single surgeon experience with 71 cases. *J Shoulder Elbow Surg* 30:679–684
28. Woo SH, Bae JY, Jung SW et al (2024) Usefulness of double plate fixation after failed ORIF for clavicle shaft fracture. *Eur J Orthop Surg Traumatol*
29. Yahya A, Mehlman CT, Kim J et al (2022) Nonunion of the Clavicle Among Children: A Review of the Literature and a Report of Three New Cases. *Orthopedics* 45:e190–e195
30. Zura R, Mehta S, Della Rocca GJ et al (2016) Biological Risk Factors for Nonunion of Bone Fracture. *JBJS Rev* 4:

Clavicle nonunion

After conservative treatment nonunion (pseudarthrosis) of the clavicle can be observed approximately 10 times more frequently (15–24%) than after surgical treatment (1.4%). Risk factors include the fracture location, displacement, fracture type, sex, the severity of the accident and refractures. The diagnosis of pseudarthrosis of the clavicle can be made by a thorough medical history, clinical examination and imaging procedures. The main symptom is pain, often accompanied by malalignment, instability, neurological symptoms and restricted mobility of the affected shoulder. The diagnosis is confirmed by X-ray images and, if necessary, a computed tomography (CT) scan. Pseudarthrosis is classified according to the morphological appearance in X-ray images and the cause. A differentiation is made between vital and nonvital pseudarthroses. Only symptomatic pseudarthrosis requires treatment. Nonoperative methods, such as magnetic field therapy or ultrasound are minimally effective. Surgical interventions are indicated for pain, movement restrictions or neurovascular problems. The goals of surgical treatment are to restore the vitality, bone length and stability through angular stable osteosynthesis. In cases of surgical pretreatment the anteroinferior plate position offers a good alternative to the superior plate position. In some cases double plating osteosynthesis can be indicated. Autogenous bone material, allogeneic substitute material and vascularized grafts are used for bony defects. Surgical treatment shows high rates of healing but also carries an increased risk of infection.

Keywords

Bone fractures · Risk factors · Pain · Osteosynthesis, fracture · Bone transplantation

Hinweis des Verlags. Der Verlag bleibt in Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutsadressen neutral.