

Aus der Chirurgischen Klinik und Poliklinik der Berufsgenossenschaftlichen
Krankenanstalten „Bergmannsheil“ Bochum
(Chefarzt: Professor Dr. J. REHN)

Die Therapie der Ellen- und Speichenschaftbrüche

Von

G. LEITZ

Mit 12 Textabbildungen

(Eingegangen am 21. Mai 1965)

Solange die Behandlung bestimmter Frakturen nicht mit großer Regelmäßigkeit eine vollständige Wiederherstellung der Verletzten erbringt, bleibt es Aufgabe der Chirurgen, sich über die Leistungsfähigkeit der geübten Behandlungsverfahren Klarheit zu verschaffen und konsequent nach Verbesserung der Therapie zu suchen. Nur die Ergebnisse ausreichend großer Nachuntersuchungsserien erlauben eine *sachliche* Stellungnahme zu den älteren und neuen operativen Methoden, die gegenüber konservativem Vorgehen immer durch das Risiko einer Infektion belastet sind. Es genügt jedoch nicht, bei einem anatomisch so komplizierten Organ wie dem Unterarm nur die Zahl der ausgebliebenen Knochenheilungen oder des Funktionsverlustes insgesamt zu bestimmen — nur die differenzierte Untersuchung verschiedener Bruchformen und Bruchlokalisationen läßt dem therapeutischen Bedürfnis entsprechende Aufschlüsse erwarten.

Im Rahmen einer Dissertation erfaßte D. SAWITZKI eine geschlossene Serie von 233 Frakturen der Unterarmschaftknochen durch Studium der Akten bei der Bezirksverwaltung der Bergbau-Berufsgenossenschaft Bochum. In allen Fällen wurden die zugehörigen Röntgenaufnahmen vom Verletzungstage an und die Krankenblattunterlagen angefordert und ausgewertet. Sofern nicht zu Gutachtenzwecken angefertigte Röntgenbilder neueren Datums vorlagen, wurden die Verletzten zur klinischen und röntgenologischen Nachuntersuchung in unsere Klinik einbestellt.*

Bei allen Verletzten handelte es sich um Bergleute, die durch Arbeitsunfall einen Bruch des Ellen- bzw. des Speichenschaftes oder beider Unterarmknochen erlitten hatten. Von 233 Fällen lag 69mal (= 29,6%) eine offene Fraktur vor. Das Durchschnittsalter betrug 31,2 Jahre (s. auch Tab. 9).

Als Unfallursache stand „Stein- oder Kohlefall“ mit einer Zahl von 81 weit an der Spitze. Als nächst häufige Entstehungsart der Verletzung wurde 57mal „Einklemmung zwischen zwei Kohlewagen“ angegeben. In einer Zusammenstellung aus

* Wir sind allen, die durch ihre Mitarbeit diese Erhebungen ermöglicht haben, für ihre selbstlose Hilfe zu Dank verpflichtet.

der Chirurgischen Klinik des Bergmannsheil Bochum von SCHEFFLER aus dem Jahre 1926 stand „Stein- oder Kohlefall“ an dritter Stelle, während „Einklemmung zwischen zwei Wagen“ die erste Stelle einnahm. Diese veränderte Reihenfolge der Unfallursachen dürfte ihren Grund in der zunehmenden Verwendung von Wagen mit automatischer Kuppelung haben. Beide Zusammenstellungen zeigen, wie die Arbeitsbedingungen des Bergmannes Zahl und Art der Verletzungen bestimmen und erklären, weshalb manche Verletzungsarten, die direkten Traumen, soviel häufiger bei Bergleuten zu beobachten sind, als dies für andere Berufsgruppen bekannt ist.

Laut Tab. 1 fand sich in 122 Fällen eine Fraktur beider Unterarmknochen. Die 76 isolierten Speichenschaftbrüche waren mehr als doppelt so häufig wie die alleinigen Brüche der Elle. Zugleich wurde in Tab. 1 die Höhe des Bruches am Unterarm, nach Drittelgrenzen unterschieden, aufgeführt und die Zahl der offenen Frakturen angegeben.

Tabelle 1. *Aufteilung der Frakturen nach Bruchhöhe an Elle und Speiche*

Drittelgrenzen	Ulna		Radius		Radius und Ulna	
	Zahl der Fälle	davon offen	Zahl der Fälle	davon offen	Zahl der Fälle	davon offen
prox.	3	1	6	4	3	1
medial	15	4	24	6	53	11
distal	17	9	46	12	66	21
zusammen	35	14	76	22	122	33

Über die Bruchformen orientiert Tab. 2.

Tabelle 2. *Unterteilung der Frakturen nach verschiedenen Bruchformen*

Lokalisation	Querbruch	Schrägbruch	Trümmerbruch	Biegungsbruch	Stückbruch	zusammen
Ulna	16	14	2	3	—	35
Radius	41	22	7	2	4	76
Radius u. Ulna	71	29 (23)	9 (3)	8 (8)	5 (4)	122
zusammen	128	65	18	13	9	233

Die in Klammern angegebenen Zahlen entsprechen der Anzahl der Verletzten, bei denen nur ein Unterarm die genannte Bruchform aufweist. Mit nur drei Ausnahmen handelte es sich hier um Querfrakturen.

Die Behandlung der 233 Verletzten war 176mal (= 75,5%) konservativ, wobei nur in sechs Fällen eine geschlossene Nachreposition in den Krankengeschichten vermerkt war. Von diesen 176 konservativ behandelten Brüchen waren 46 (= 26,2%) kompliziert; 57 Verletzte wurden operativ behandelt, es wurde also eines der in Tabelle 10 aufgeführten Verfahren zur Versorgung der Fraktur angewandt, wobei hier 23mal (= 40,4%) offene Brüche vorlagen.

Zunächst sollen die Gründe untersucht werden, die am Unterarm einer Knochenheilung in befriedigender Stellung entgegen stehen. Es soll der Versuch unternommen werden, aufgrund der *anatomischen*

Gegebenheiten am Vorderarm und der je nach Bruchform vorliegenden *mechanischen* Regeln das Behandlungsergebnis im Grundsatz vorherzusagen. Bei nachweislicher Übereinstimmung dieser Vorhersage mit dem tatsächlich gefundenen Behandlungserfolg würde die Analyse der

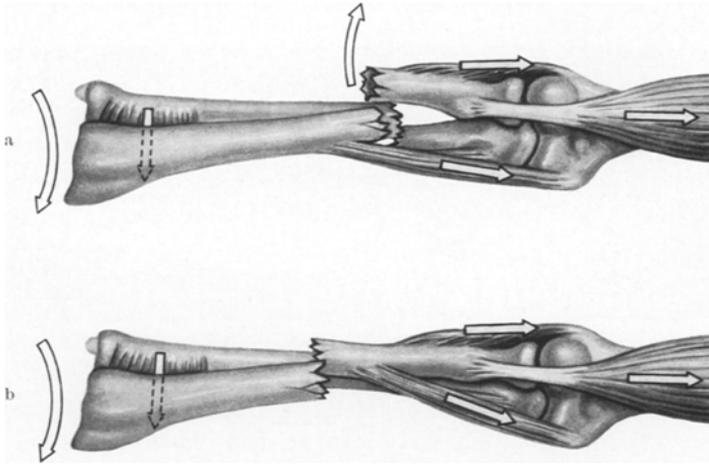


Abb. 1. Schematische Darstellung der Wirkung des Muskelzuges auf Unterarmfrakturen a proximal, b distal des Ansatzes des M. pronator quadratus. (In Anlehnung an Abbildungen von VON LANZ und WACHSMUTH, Praktische Anatomie)

im Einzelfall vorliegenden mechanischen Gesichtspunkte eine entscheidende und beachtenswerte Bedeutung für die Therapie gewinnen.

T. von LANZ und W. WACHSMUTH haben die Wirkung der Muskulatur auf die beiden Unterarmknochen bzw. ihre Fragmente beschrieben (Abb. 1).

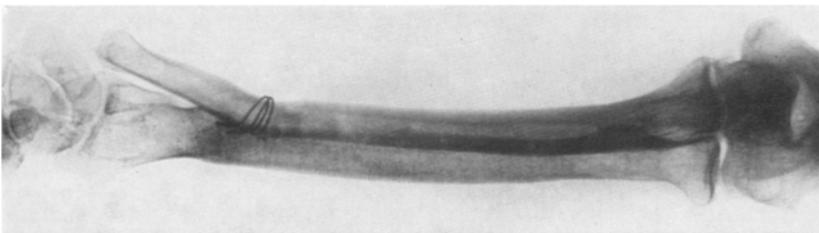


Abb. 2. Typische Dislokation — trotz Drahtumschlingung — einer am Übergang vom mittleren zum körperfernen Drittel gelegenen Ellenfraktur

Es ergeben sich also aufgrund der bekannten Muskelansätze ganz bestimmte Dislokationsmechanismen. So wird beispielsweise bei Fraktur von Elle oder Speiche am Übergang vom mittleren zum körperfernen Drittel das periphere Bruchstück durch den Pronator quadratus rotiert und dem nicht frakturierten oder gut verzahnten Knochen genähert (Abb. 2).

Außer den in Abb. 1 schematisch dargestellten Kräften von Bizeps, Pronator quadratus und teres, Brachioradialis und M. supinator ist unter Umständen auch der Trizeps in der Lage, eine Abknickung einer proximal gelegenen Ellenfraktur wie in Abb. 3 mit nach beugewärts geöffnetem Winkel hervorgerufen. Diese Abknickung wird durch die

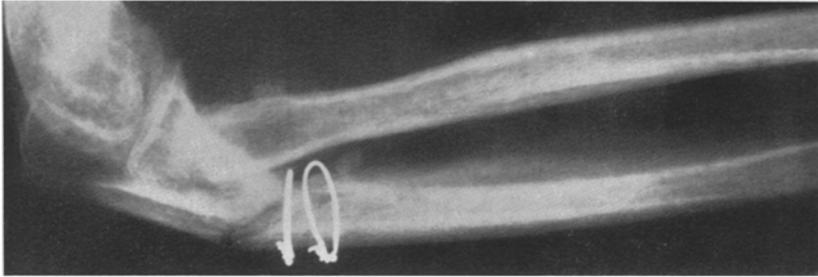


Abb. 3. Typische Dislokation einer ellenbogengelenknahen Ellenchaftfraktur durch Trizepszug bei gleichzeitiger Bruchschädigung (Einstauchung und Knickung) distal des Radiusköpfchens

gleichzeitig vorliegende Fraktur distal des Speichenköpfchens erleichtert.

Pronatoren, Supinatoren, Extensoren und Flexoren versuchen außerdem alle vier Fragmente bei einem Unterarmschaftbruch einander zu nähern — wegen des Überwiegens der Beuger entsteht gleichzeitig ein beugewärts offener Winkel (Abb. 4). Da im Beispiel der Abb. 4 die

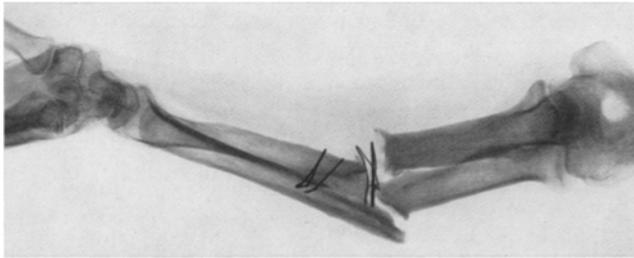


Abb. 4. Unterarmschaftpseudarthrose proximal des Ansatzes des Pronator teres mit typischer Fehlstellung (s. Text)

Unterarmschaftpseudarthrose proximal vom Ansatz des Pronator teres verlief, ist die typische Supination des proximalen Speichenfragmentes (Abb. 1 a) ebenfalls deutlich zu erkennen.

Nahezu alle Muskeln am Unterarm haben zumindest als Nebenfunktion eine Rotationswirkung, die nach Ansicht zahlreicher Autoren zu der häufigen Verschiebung der Bruchstücke im Gipsverband führt. Diese Fragmentverschiebungen können jedoch nicht allein durch die Muskelfunktion erklärt werden, da sie ja nicht in allen Fällen zur Beobachtung kommen. Hier erscheint nun der *Verlauf der Bruchebene*, also die Bruch-

form, Bedeutung zu erlangen, da der Effekt der bekannten Dislokationstendenz der Muskelatur sich je nach Verlauf der Bruchebene auswirken oder aber aufgehoben werden kann.

Grundsätzlich ist die anatomische Anordnung der Muskulatur bei allen Verletzten dieselbe. Lediglich Tonus und Querschnitt bestimmter Funktionsgruppen sind von verschiedener Größe, also die Kraft der Muskulatur ist unterschiedlich. *Individuell* und zugleich von mannigfacher Vielfalt sind jedoch die Verletzungen, also die röntgenologisch exakt erkennbare Lokalisation und Verlaufsrichtung der Bruchebene. Weit schwieriger ist das Ausmaß der Weichteilmitbeschädigung zu

Tabelle 3. Häufigkeit der sogenannten stabilen oder instabilen Unterarmschaftknochenbrüche

	Querbrüche	„instabile“ Frakturen	und „gemischte Fälle“
Ulna oder Radius	57	54	
Beide Vorderarmschäfte	71	13	38
zusammen	128		105

Tabelle 4. Pseudarthrosenhäufigkeit der Frakturen am Unterarm im Bereich der körperfernen Drittelgrenze

Fälle	Ulna		Fälle	Radius		Fälle	Ulna und Radius	
		Pseud.			Pseud.			Pseud.
17		4 = 23,5%	46		6 = 13,0%	66		12 = 19,1%

beurteilen; bei unseren Erhebungen wurden deshalb schwere Muskelverletzungen und alle Durchtrennungen von Sehnen und Nerven ausgeschlossen.

L. BÖHLER unterscheidet aufgrund therapeutischer Erfahrung zwischen stabilen Brüchen, zu denen er die Querbrüche rechnet und instabilen Frakturen, also Schräg-, Splitter-, Trümmer-, Stück- und Biegungsbrüchen. In Tab. 3 haben wir einen Häufigkeitsvergleich der sogenannten stabilen bzw. instabilen Bruchformen vorgenommen, wobei die Brüche beider Unterarmknochen dann dem instabilen Typ zugerechnet wurden, sofern an einem Knochenschaft keine Querfraktur vorlag.

Die für das Schicksal der Fraktur von L. BÖHLER postulierte Bedeutung der stabilen oder instabilen Bruchform soll durch Gegenüberstellung der Pseudarthrosenhäufigkeit ohne (Tab. 4) oder mit Unterteilung (Tab. 5) in stabile bzw. instabile Brüche untersucht werden. Um wenigstens annähernd vergleichbare Verhältnisse der einwirkenden Muskel-

kräfte zu erhalten, haben wir lediglich die Frakturen im Bereich der körperfernen Drittelgrenze zu dieser Gegenüberstellung herangezogen.

Das relative Verhältnis von stabilen zu instabilen Frakturen ist in Tab. 3 und 5 etwa gleich, so daß eine Übertragung der Ergebnisse von den am Übergang vom mittleren zum distalen Unterarmdrittel gelegenen Frakturen auf andere Unterarmschaftbrüche erlaubt erscheint. Auch unter der Einschränkung einer verhältnismäßig kleinen Fallzahl ist jedoch den Tab. 4 und 5 zu entnehmen, daß die Pseudarthrosenrate bei den sogenannten instabilen Brüchen von Elle oder Speiche keineswegs eindeutig höher ist — bei den Ellenschaftbrüchen ergab sich sogar umgekehrt eine größere Zahl von Pseudarthrosen bei „stabilen“ Frakturen. Lediglich für die Brüche beider Unterarmknochen im Bereich der körperfernen Drittelgrenze scheint der Anstieg der Pseudarthrosenhäufigkeit von 12,2% bei stabilen Bruchtypen auf 28% bei den instabilen klar für die von L. BÖHLER festgestellte Abhängigkeit der Knochenheilung von der Bruchform zu sprechen. Bei Addition sämtlicher Frakturen an Elle

Tabelle 5. Pseudarthrosenhäufigkeit bei Unterscheidung zwischen stabilen und instabilen Bruchformen von Frakturen der Unterarmknochen im Bereich der körperfernen Drittelgrenze

	„Stabile“ Frakturen	Pseudarthrosen	„Instabile“ Frakturen	Pseudarthrosen
Elle	10	3 = 30%	7	1 = 14,2%
Speiche	27	3 = 11,1%	19	3 = 15,7%
Elle und Speiche zusammen	41	5 = 12,2%	25	7 = 28%
	78	11 = 14,1%	51	11 = 21,5%

oder Speiche und beider Unterarmknochen in Tab. 5 liegt die Zahl der Pseudarthrosen ebenfalls eindeutig höher bei den sogenannten instabilen Brüchen. Um aber die dem *Einzelfall* am besten entsprechende Therapieform zu ermitteln, können Ergebnisse statistischer Erhebungen nicht benutzt werden, sofern sie durch Addition gewonnene Sammelergebnisse ganz verschiedener Verletzungsformen darstellen.

Aus diesem Grunde halten wir es für notwendig, eine differenziertere Unterscheidung der Bruchformen vorzunehmen. An der körperfernen Drittelgrenze des Unterarmes ist der Pronator quadratus überwiegend für die Dislokation der Fragmente verantwortlich. Die folgenden Schemata (Abb. 5a und b) lassen die Zugrichtung des Pronator quadratus und die Verschiebung des körperfernen Bruchstückes bei isolierten Ellen- oder Speichenschaftbrüchen erkennen und sollen demonstrieren, daß der verschiedene Verlauf der Bruchebene bei „instabilen“ Schrägbrüchen einen völlig entgegengesetzten Einfluß auf die Bruchheilung haben *muß*, weshalb solche Schrägbrüche doch wohl nicht als vergleichbare Frakturtypen bezeichnet werden können.

In Abb. 5a treten durch die seitverschiebende Wirkung des Pronator quadratus im Bruchspalt *Zugkräfte* auf, die als pseudarthrosefördernd bekannt sind. Eine Bruchebene wie in Abb. 5a muß die Prognose im Hinblick auf die Knochenheilung ungünstig beeinflussen. Umgekehrt treten in einem Bruchspalt, der wie in Abb. 5b verläuft, *Druckkräfte* auf,

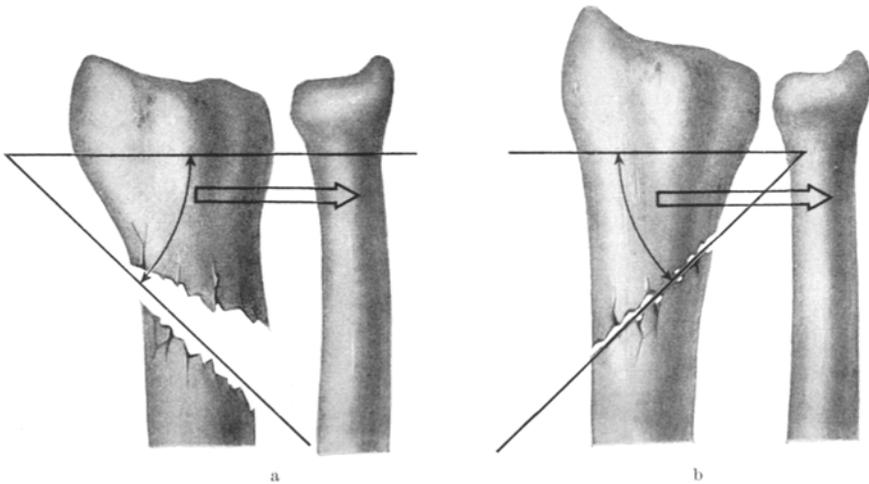


Abb. 5a u. b. Die durch den Pfeil gekennzeichnete Wirkungsrichtung des Pronator quadratus führt bei Verlauf der Bruchebene zum Kraftarm der Muskulatur mit einem zum unverletzten Knochen geöffneten Winkel a zu einem Klaffen des Bruchspaltes, bei einem zur Seite des schräggebrochenen Knochens geöffneten Winkel jedoch zum Schluß des Bruchspaltes b

die als adaequater formativer Reiz für die Knochenheilung gelten. Obwohl in dieser Betrachtung die gleichzeitige Rotationswirkung des Pronator quadratus zur Vereinfachung nicht berücksichtigt wurde, konnten wir in Tab. 6 durch das Mittel der Statistik unsere Vorstellung über die

Tabelle 6. *Verschiedene Verlaufsrichtung der Bruchebene bei isolierten Ellen- oder Speichenschaftbrüchen im Bereich der körperfernen Drittelgrenze zur Wirkung des Pronator quadratus und die Pseudarthrosehäufigkeit*

Frakturverlauf	Zahl der Fälle	Pseudarthrosen
Winkel größer als 90 Grad	11	0
Winkel kleiner als 90 Grad	6	3 = 50%

Bedeutung des Bruchverlaufes in Beziehung zur Muskelanatomie erhärten:

Die verständlicherweise relativ kleine Fallzahl derartiger isolierter Speichen- oder Ellenschragbrüche im Bereich der körperfernen Drittelgrenze verlangt zwar eine gewisse Zurückhaltung in der Beurteilung, immerhin heilten alle Frakturen mit einem zum verletzten Knochen

geöffneten Winkel wie in Abb. 5b ab, während in der Hälfte der Fälle sich nach Frakturen mit einem zum nicht verletzten Knochen geöffneten Winkel eine Pseudarthrose entwickelte. Dies entspricht voll unseren „theoretischen“ Erwartungen. Unter Berücksichtigung der gleichzeitigen Rotationskräfte des Pronator quadratus erklärt sich aber auch die häufige Pseudarthroseentstehung in Tab. 5 bei sogenannten stabilen Querbrüchen insbesondere an der Elle aus der Tatsache intermittierender Drehbewegungen des distalen Fragmentes. Gerade an der Elle hat die feste Gelenkverbindung des proximalen Ellenbruchstückes mit dem

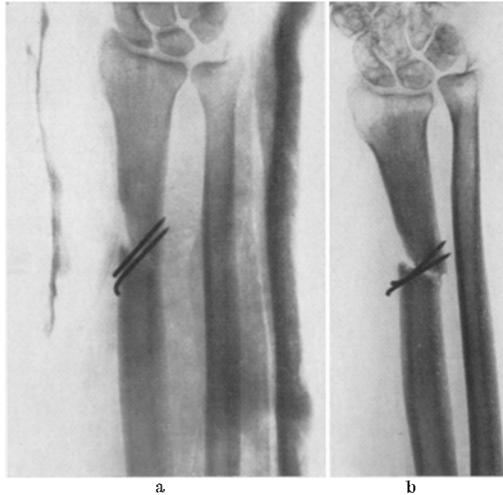


Abb. 6a u. b. F. G. ♂ 34 J. Aus biomechanischen Gründen konnte bei der hier vorliegenden Verlaufsrichtung eines isolierten Speicherschrägbruches im Bereich der körperfernen Drittelgrenze die Entstehung einer Pseudarthrose durch die angewandten Spickdrähte nicht verhindert werden. Nach Anlage einer Druckplatte Ausheilung der Pseudarthrose — bei Wiederaufnahme der Arbeit als Kohlenhauer 3 Monate später unbedeutende Behinderung der Supination

Oberarm einen ungünstigen Einfluß auf die Knochenheilung von solchen Querbrüchen, weil ein Mitbewegen des proximalen Fragmentes im Rotationsinne nicht möglich ist.

Die in Abb. 5 illustrierten und statistisch in Tab. 6 bestätigten Überlegungen unterstreichen die Notwendigkeit einer weit differenzierteren Analyse der jeweils vorliegenden biomechanischen Regeln in der täglichen Praxis der Frakturenbehandlung. Im Rahmen dieser Mitteilung soll jedoch keine vollständige systematische Einteilung der allzu zahlreichen möglichen Bruchformen versucht werden; die hier beispielhaft gezeigte Bedeutung der Frakturmechanik entscheidet jedoch in einem nicht zu unterschätzenden Ausmaß über Erfolg oder Mißerfolg der Behandlungsmaßnahmen, so daß ihre Kenntnis als eine notwendige Voraussetzung für alle therapeutischen Erwägungen und Entscheidungen

angesehen werden muß. So zeigt der Behandlungsmißerfolg bei einem Speichenschaftschrägbruch an der körperfernen Drittelgrenze in Abb. 6 die offensichtliche Unkenntnis des Operateurs über die vorliegenden biomechanischen Gegebenheiten, als er eine Fixierung der Bruchstücke durch Spickdrähte vornahm: Die nahezu in Richtung der dislozierenden Muskelkraft des Pronator quadratus eingebohrten und nicht auf Zug beanspruchbaren Spickdrähte konnten das Entstehen einer Pseudarthrose nicht verhindern, da die Bruchebene mit einem zum nicht verletzten Knochen geöffneten Winkel wie in Abb. 5a verlief und die beschriebene typische Fehlstellung ein Klaffen des Bruchspaltes zur Folge hatte.

Bei 176 Verletzten der 233 nachuntersuchten Frakturen von Unterarmschaftknochen wurde eine *konservative Behandlung* vorgenommen. Das Ergebnis bezüglich der Knochenheilung durch geschlossene Reposition und Ruhigstellung im Gipsverband ist in Tab. 7 aufgeführt:

Tabelle 7. Zahl und Lokalisation der Pseudarthrosen von 176 konservativ behandelten Frakturen der Unterarmschaftknochen

Drittelgrenzen	Ulna		Radius		Ulna und Radius				
	Fälle	Pseud.	Fälle	Pseud.	Fälle	Pseud.	U.	R.	U. + R.
prox.	2	1	3	1	2	0	—	—	—
medial	12	4	17	1	36	8	3	1	4
distal	16	3	35	4	53	8	3	2	3
zusammen	30	8	55	6	91	16	6	3	7

Gesamtzahl der Fälle: 176

Gesamtzahl der Pseudarthrosen: 30

Nach unseren Erhebungen war somit die konservative Therapie dieser 176 Unterarmschaftknochenfrakturen mit einer Pseudarthroserate von 17% belastet. Funktionsbeeinträchtigende Fehlstellungen fanden wir bei den abgeheilten Frakturen 18mal (= 12,4%), während in 103 Fällen (= 70,5%) die Bruchstellung gut war und 25mal (= 17,1%) nur leichte Knickbildungen mit einem Winkel bis maximal 20 Grad vorlagen, die jedoch noch keine Bewegungseinschränkungen zur Folge haben konnten. Nur in einem Fall hatte sich ein Brückenkallus gebildet. Ähnliche Zahlen wurden auch von anderen Autoren mitgeteilt.

Die Leistungsfähigkeit einer Behandlungsart muß außer an ihren Erfolgen bezüglich der Frakturheilung aber auch an der mehr oder weniger erhaltenen *Funktion* des verletzten Gliedes gemessen werden. Bleibende Bewegungseinschränkungen waren nach Tab. 8 jedoch auffallend häufig, so daß den Verletzten in 24% der Fälle eine Dauerrente entsprechend einer Minderung der Erwerbsfähigkeit von wenigstens 20% gewährt werden mußte.

In der nachfolgenden Tab. 8 wurden nicht mitaufgeführt die bei konservativer Behandlung entstandenen 30 Pseudarthrosen. Zur Beurteilung der Häufigkeit einer Funktionseinbuße wurden lediglich die 146 Fälle erfaßt, deren Frakturen in mehr oder weniger guter Bruchstellung knöchern fest verheilt waren. Darüber hinaus mußte jedoch allen 30 Bergleuten, bei denen sich eine Pseudarthrose entwickelt hatte, ebenfalls eine Dauerrente ausbezahlt werden.

Tabelle 8. Häufigkeit und Höhe der dauernden MdE nach abgeheilten, konservativ behandelten Frakturen von Unterarmschaftknochen wegen bleibenden Funktionsverlustes

Renten in %	Ulna		Radius		Unterarm		insgesamt	
	Anzahl der Fälle	in %						
0—10	18	81,8	34	69,4	59	78,7	111	76,0
20	3	13,6	14	28,5	11	14,7	28	19,2
30	—	—	1	2,1	4	5,3	5	3,4
40	—	—	—	—	1	1,3	1	0,7
50	1	4,6	—	—	—	—	1	0,7
zus.	22	100	49	100	75	100	146	100

Keine Renten erhielten nach 2 Jahren 81,8% der Ellenbrüche, 69,4% der Speichenschaftbrüche und 78,7% der Frakturen beider Unterarmschaftknochen. Insgesamt rentenfrei waren 76,0%. Ähnliche Zahlen fand ZOLLINGER, der 86,1% und SCHEFFLER, der 81,4% rentenfreie Ausheilungen angab.

Eine Vorstellung über den Aufwand, den Unfallrenten für die Versicherungsträger bedeuten, ist an Tab. 9 zu gewinnen.

Tabelle 9. Rentenzahlung in DM für je 10 Jahre bei verschiedenen Durchschnittsschichtlöhnen des Jahres 1964

Tätigkeit	Durchschnittsschichtlohn	MdE von 20%	MdE von 30%	MdE von 40%	MdE von 50%
Hauer	33,00	11 440,00	17 160,00	22 880,00	28 600,00
Lehrhauer Ged.	31,00	10 750,00	16 120,00	21 490,00	26 860,00
Schlepper	29,50	10 230,00	15 340,00	20 460,00	25 570,00
Schlepper	20,00	6 930,00	10 400,00	13 870,00	17 330,00

Erleidet beispielsweise ein 25jähriger Hauer einen Unfall, dessen Folgen einen Dauerschaden entsprechend einer MdE von 20% verursachen, so erhält er bei einer Lebenserwartung von 65 Jahren als Rentenzahlung für 4 Jahrzehnte insgesamt 45 760,00 DM. Bei einer Rente entsprechend einer MdE von 30% beläuft sich die Gesamtsumme unter denselben Bedingungen auf 68 640,00 DM.

Unter Zugrundelegung einer durchschnittlichen MdE von 30% für die Unterarmspseudarthrosen ist die aufzuwendende Summe der Rentenzahlung für Verletzungsfolgen erstaunlich groß: Bei einem Durchschnittslohn etwa eines Gedingeschleppers pro Schicht von 29,50 DM, bei einer durchschnittlichen Lebenserwartung von 61 Jahren (Durchschnittsalter rund 31 Jahre) müßten 3 Jahrzehnte \times 15 340,00

DM \times 30 Pers. = 1380600,00 DM ausbezahlt werden. Wird die Gesamtsumme der wegen Funktionseinschränkung nach Tab. 8 bei verheilten Frakturen auszahlenden Dauerrenten ebenfalls unter Zugrundelegung des Durchschnittslohn eines Gedinge-Schleppers und einer Durchschnittslebenserwartung von 3 Jahrzehnten nach dem Unfall errechnet, so ergibt sich hierfür ebenfalls ein erstaunlich hoher Betrag von 1227410,00 DM.

Bei den nachuntersuchten 176 konservativ behandelten Frakturen der Unterarmknochen müßten somit insgesamt 2608010,00 DM für Dauerrenten wegen Pseudarthrosebildung oder Funktionsminderung nach unseren überschlägigen Ermittlungen aufgewandt werden. Solche Zahlen sollten unseres Ermessens dem Chirurgen bekannt sein und seine Einstellung zu einem bestimmten Behandlungsverfahren beeinflussen. Die Absetzung eines rechten Armes im Ellenbogengelenk wird nach LNINGER-MOLINEUS mit einer MdE von $\sim 70\%$ bewertet — es müßten in 3 Jahrzehnten nach Tab. 9 somit 107400,00 DM gezahlt werden. Um die Gesamtsumme von rund 2,6 Millionen zu erreichen, hätte bei 176 Verletzten ein beliebiges operatives Verfahren angenähert 25 Exartikulationen im Ellenbogengelenk rechts zur Folge haben können (= 14,2%), sofern in allen übrigen Fällen keine Unfallfolgen zurückgeblieben wären, die einer MdE von mehr als 20% entsprechen.

Als Ursache für den auffallend häufigen Funktionsverlust nach ausgeheilten Unterarmknochenbrüchen sind verantwortlich:

1. Ungenügende, insbesondere rotationsbehindernde Stellung der konsolidierten Frakturen,
2. Folgen gleichzeitiger Weichteilverletzungen,
3. überlange Ruhigstellung im Gipsverband,
4. mangelnde Mitarbeit der Verletzten bei der Nachbehandlung.

Die Häufigkeit bewegungsbehindernder Fehlstellungen bei abgeheilten Frakturen der Unterarmknochen haben wir oben mit 12,4% angegeben, hinzu kommt der einzige Fall einer Brückenkallusbildung mit vollständigem Verlust der Vorderarmdrehung. Schwere Weichteilverletzungen haben das Ergebnis unserer Erhebungen deshalb nicht entscheidend beeinflußt, da alle Fälle mit Sehnen- oder Nervenverletzungen ausgeschieden wurden.

Was die Mitarbeit der Verletzten betrifft, können auch wir uns des Eindrucks nicht erwehren, daß Patienten in einer selbständigen Tätigkeit in einem deutlich kürzeren Zeitraum ihre Gelenkbeweglichkeit zurückgewinnen, als dies bei unselbständigen Arbeitsunfallverletzten die Regel ist. Da die hier mitgeteilten Erhebungen ausschließlich an Bergleuten erfolgten, können wir zu dieser Frage allerdings keine Zahlenangaben beisteuern wegen der fehlenden Vergleichszahlen.

Zur Klärung der Frage, ob und in welchem Ausmaß eine Ruhigstellung im Gipsverband zu einem dauernden Funktionsverlust führen kann, haben wir die Ruhigstellungszeit mit der späteren Funktionseinschränkung bei 152 in guter Stellung verheilten Unterarmbrüchen miteinander verglichen. Im Einzelnen handelt es sich hierbei um 128 (103 + 25) konservativ und um 24 operativ behandelte Verletzte, die ebenfalls einer zusätzlichen Ruhigstellung im Gipsverband unterzogen

wurden. Da nach unseren Untersuchungen der negative Einfluß der Ruhigstellung auf die Vorderarmrotation am deutlichsten war, soll in Abb. 7 nur der Zusammenhang zwischen Ruhigstellung und Unterarmdrehbeweglichkeit veranschaulicht werden. Es zeigte sich, daß eine Ruhigstellung im Gipsverband von mehr als 12 Wochen nahezu regelmäßig eine mittelschwere bis sehr schwere Rotationsbehinderung der Hand zur Folge hat. Hinzu kommt, daß der Verlust der Supinationsfähigkeit schwerer wiegt als eine Einschränkung der Pronation, da diese durch Abstreizen des Armes teilweise ausgeglichen werden kann.

Abb. 7 kann weiterhin entnommen werden, daß in rund 40% der Fälle die Ruhigstellung länger als 12 Wochen vorgenommen werden

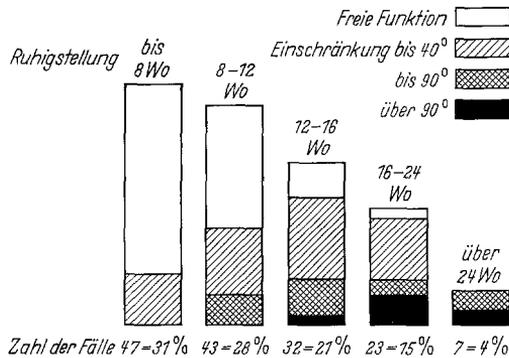


Abb. 7. Abhängigkeit der Unterarmdrehung von der Ruhigstellungsdauer bei in guter Stellung abgeheilten Unterarmschaftknochenbrüchen

mußte, ehe die Knochenheilung eintrat. Die Notwendigkeit langer Ruhigstellung der Unterarmschaftknochenbrüche ist ein offensichtlicher und hier erneut bewiesener Nachteil des konservativen und aller operativen Verfahren, die einer zusätzlichen Ruhigstellung bis zum Abschluß der Knochenheilung bedürfen. Hier sei besonders auf die Mitteilung über „Knochenschäden durch Gliedmaßenruhigstellung“ von CHAPCHAL verwiesen, auf die im Rahmen dieser Arbeit nicht näher eingegangen werden soll.

Die Bedeutung posttraumatischer Bewegungseinschränkungen wird offenbar sehr verschieden beurteilt, da von den Gegnern übungstabiler Operationsverfahren immer wieder Röntgenbilder auch schwerer Frakturen gezeigt werden, die unter konservativen Maßnahmen in befriedigender Stellung ausheilen — jedoch einer weit längeren Ruhigstellung bedürften, als sie im Hinblick auf die spätere Funktion vertretbar erscheint. Der Erfolg einer solchen Behandlung ist weit weniger befriedigend, wenn die unvermeidliche Gebrauchsminderung durch überlange Ruhigstellung anlässlich von Begutachtungen bewertet werden muß.

Nach LININGER-MOLINEUS entspricht der vollständige Verlust der Vorderarmdrehung einer Minderung der Erwerbsfähigkeit von 30%. MAGNUS bezeichnet die Pro- und Supinationsfähigkeit der Hand zu Recht als ihre halbe Funktion.

Da laut Tab. 8 in 24% der Fälle bei abgeheilten Vorderarmschaftbrüchen wegen Funktionsminderung eine Dauerrente zugebilligt werden mußte, erscheint das funktionelle Ergebnis der konservativen Behandlung in seiner Gesamtheit nicht befriedigend. Hinzu kommt die Belastung dieser Behandlungsform mit 17% Pseudarthrosen, so daß insgesamt 36,9% der Verletzten nach unseren Erhebungen nicht voll wiederhergestellt werden konnten (35 \times Funktionsminderung von 146 Fällen und 30 Pseudarthrosen von 176 Verletzten). Vor diesem Hintergrund betrachtet, verdient die operative Behandlungsform der Vorderarmschaftbrüche verstärkte Aufmerksamkeit. Die Vorstellungen über die jeweils beste Form der Osteosynthese sind allerdings sehr uneinheitlich — insbesondere die Forderung nach Übungsstabilität wird bisher nicht allgemein anerkannt. Fürsprecher und Gegner der operativen Frakturbehandlung sind sich lediglich einig über das mit jeder Operation am Knochen verbundene Infektionsrisiko, über dessen tatsächliche Höhe die Ansichten jedoch erheblich auseinander gehen.

Eine operative Knochenbruchbehandlung ist nur dann berechtigt, wenn die Infektionsrate 2% nicht übersteigt. Die angewandte Technik muß darüber hinaus mit großer Regelmäßigkeit zu einem Erfolg führen, sie darf also die Nachteile der konservativen Behandlung überhaupt nicht oder zumindest nur in geringerem Grade aufweisen. Als solche Nachteile fanden wir bei unseren auszugsweise mitgeteilten Erhebungen:

1. Hohe Pseudarthrosenrate (= 17%).
2. Häufige Stellungsverschlechterung im Gipsverband mit nachfolgender Bewegungseinschränkung (= 12,4%).
3. Bleibende wesentliche Funktionseinschränkung (z. B. Rotationsbehinderung in 24% der Fälle) infolge der Notwendigkeit überlanger Ruhigstellung bei mehr als 40% der Unterarmschaftknochenbrüche.

Konsequenterweise muß von einem *berechtigten* operativen Verfahren verlangt werden:

1. Sichere Fixation der Bruchstücke ohne nachträgliche Verschiebung oder Achsenknickung.
2. Wesentlich niedrigere Pseudarthrosenrate und
3. bessere funktionelle Ergebnisse infolge regelmäßig erreichbarer Verkürzung der Ruhigstellungszeit oder infolge der Möglichkeit, auf eine Ruhigstellung überhaupt verzichten zu können.

Werden die bislang meist geübten operativen Verfahren, die offene Brucheinstellung, Drahtumschlingung, Marknagelung, Markdrahtung oder Spananlagerung auf diese Anforderungen hin untersucht, so erlaubt

zunächst keine dieser Methoden, auf die zusätzliche Anlage eines Gipsverbandes zu verzichten, da keine ausreichende Rotationsstabilität und oftmals auch keine befriedigende Biegestabilität erreicht werden kann. Die Marknagelung nach KÜNTSCHER mag in bestimmten Fällen eine große Stabilität erreichen lassen, wenn eine Aufbohrung vorgenommen wurde. Wie an den Beispielen der Abb. 2 und 4 zu ersehen ist, genügen Drahtumschlingungen am Unterarm nicht, um einen regelmäßigen guten Erfolg zu erzielen. Nicht ohne Absicht wurden zur Demonstration der Dislokationstendenz der Fragmente durch die Muskulatur operativ behandelte Brüche ausgewählt — wenn wir auf die Veröffentlichung von Fehlergebnissen aller hier aufgeführten Methoden verzichten, sollen doch einige grundsätzliche Mängel der genannten Verfahren kurz besprochen werden.

Die Mehrzahl der Unterarmschaftbrüche sind Querfrakturen. Hier scheiden Drahtschlingen ohnehin aus. Die Schrägbrüche zeigen jedoch nur selten so lange Frakturflächen, daß mehrere Drahtschlingen um beide Bruchenden angebracht werden können. Eine oder einige nahe zusammenliegende Drahtschlingen vermögen zwar eine starke Seitverschiebung, nicht jedoch eine Knickung oder Drehbewegungen zu verhindern. Gerade diese Bewegungsarten sind jedoch typisch für den Unterarm (Abb. 1—4) und führen entsprechend zu dem Ein- oder Durchschneiden der Drähte (Abb. 4), da der *intermittierende* Druck des Drahtes zu einer vermehrten Osteoclastentätigkeit anregt. Dadurch kommt es zu einer zunehmenden Lockerung der Drahtschlingen und zu immer größerer Instabilität. Daß die Fragmentbewegungen die Schuld an der Resorption um Drahtschlingen bzw. an deren Durchschneiden tragen, also nicht die verschiedenen große Spannung des Drahtes, fanden wir in vielen Fällen nach operativer Versorgung der sogenannten hohen Wadenbeinbrüche bei Knöchelgabelsprengungen durch Drahtschlingen bestätigt, wo wir niemals Resorptionszeichen und Drahtlockerungen fanden.

Markdrähte können zwar große Verschiebungen ad latus oder ein völliges Abrutschen der Bruchenden insbesondere bei Querbrüchen verhindern, wir sahen jedoch immer wieder erhebliche Abknickungen bei Drähten oder dünnen Marknägeln und Pseudarthrosen (Tab. 10) infolge der mangelhaften Ausschaltung von Drehbewegungen der Fragmente gegeneinander, woran auch die zusätzliche Anlage eines Gipsverbandes nichts ändern kann. Lediglich bei Kindern, vor allem bei kindlichen Refrakturen, machen wir gelegentlich noch von dieser Methode Gebrauch.

Eine wesentlich bessere Stabilität wird durch KÜNTSCHER-Nägel, insbesondere nach Aufbohrung des Markraumes erreicht, jedoch nur bei Frakturen im Bereich der engsten Markhöhlenabschnitte, solange beide Fragmente dem Nagel fest anliegen. Ohne Aufbohrung können nur wenige Brüche der Unterarmschaftknochen wirklich Stabilität für sich

in Anspruch nehmen — im distalen Speichen- und proximalen Ellen- drittel ist sie auch mit Aufbohrung nicht zu erzielen. Die nachfolgende Abb. 8 vermittelt am Beispiel eines wiederholten Nagelbruches im Markraum der Elle bei einer Hausfrau eine Vorstellung von den an einer Ellenfraktur wirksamen Rotationskräften, die infolge fester Fixierung des proximalen Fragmentes im Ellenbogengelenk gegen Drehbewegungen im Laufe der Zeit einen Ermüdungsbruch des Nagels verursachen können.

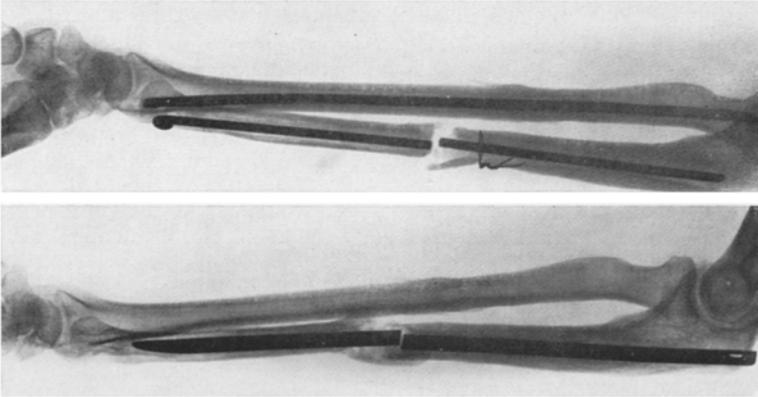


Abb. 8. M. T. ♀ 34 J. Wiederholter Nagelbruch bei Ellenfalschgelenk. Nach Anlage einer Druckplatte und Spongiosaeinfropfung Ausheilung des Falschgelenkes, mäßige Behinderung der Unterarmdrehung

Die obenstehende Aufnahme zeigt zugleich auch das Einschnüren der Drahtschlinge, die zur Befestigung eines angelagerten Knochenspanes benutzt wurde. Zu dem Bruch des Rush-pin kam es jedoch erst zu einem Zeitpunkt, bis zu dem die Knochenheilung normalerweise längst eingetreten ist. Inwieweit die *gleichzeitige* Anwendung von Drahtschlingen oder auch Platten mit einer Markraumschienung an der Entstehung des Falschgelenkes mitschuldig war, dürfte schwer zu entscheiden sein, da die Versorgung mit dem Rush-pin niemals als übungsstabil bezeichnet werden kann. Wir sahen jedoch mehrfach Pseudarthrosen nach Marknagelung, wenn außer der Beeinträchtigung der Endostdurchblutung auch periostal die Durchblutung durch Metalleinlage gestört wurde.

Die Dreipunktfikation eines Rush-pin kann ihren Effekt verlieren bei einer Markhöhle, die nicht gerade, sondern ähnlich dem Nagel ebenfalls geschwungen verläuft wie bei der Speiche. Übungsstabilität kann durch Rush-pins niemals erzielt werden und die Anlage eines Gipsverbandes muß in jedem Falle vorgenommen werden. Die Infektgefahr ist bei Rush-Nagelungen nicht geringer als bei Nagelungen nach KÜNTSCHER, insbesondere unter Berücksichtigung der Tatsache, daß die operative Versorgung der Unterarmbrüche ja vorwiegend bei nicht reponier-

baren Frakturen primär Anwendung findet, so daß eine offene Einstellung der Fraktur, ebenso wie bei Nichtvorhandensein eines Bildverstärkers, notwendig ist und das Infektionsrisiko erhöht.

Als Beweis für unsere kritische Einstellung zu den genannten Methoden soll hier von den Ergebnissen unserer Erhebungen an 57 operativ behandelten mehr oder weniger frischen Frakturen der Unterarmschaftknochen lediglich Häufigkeit und Verteilung der Pseudarthrosen auf die verschiedenen Behandlungsverfahren in Tab. 10 mitgeteilt werden.

Aufgrund der oben ausführlich besprochenen Ursachen, die der Heilung von Unterarmschaftknochenbrüchen entgegenstehen und aufgrund der hieraus abgeleiteten therapeutischen Folgerung entspricht es durchaus unseren Erwartungen, daß die Zahl der Pseudarthrosen keineswegs niedriger liegt, als bei rein konservativer Behandlung. Die

Tabelle 10. *Pseudarthrosehäufigkeit bei verschiedenen operativen Verfahren von offenen und geschlossenen Unterarmschaftknochenbrüchen*

Art des operativen Eingriffes	Zahl der Fälle	davon offen	Pseudarthrosen		verheilte Fraktur	
			Zahl der Fälle	davon offen	Zahl der Fälle	davon offen
op. Reposition u. Drahtcerclage	15	3	5 (33,5%)	—	10	3
op. Reposition	7	4	3 (42,8%)	1	4	3
Marknagelung	14	6	7 (50%)	3	7	3
Markdrahtung	13	6	9 (69,2%)	5	4	1
Span und Draht	8	4	1 (12,5%)	1	7	3

im Gegenteil höhere Pseudarthroserate hat jedoch zweifellos auch ihren Grund darin, daß nur die schweren Verletzungen operativ angegangen wurden, bei denen von vornherein eine konservative Behandlung nicht ausreichend erschien. Das schlechteste Ergebnis erbrachte die Markdrahtung, ihr folgt die Marknagelung, die in allen Fällen ohne Aufbohrung vorgenommen worden war. In elf Fällen kam es außerdem zu einer postoperativen Infektion, wobei allerdings der hohe Prozentsatz primär offener Verletzungen (= 40,4%) berücksichtigt werden muß.

Da die laut Tab. 10 angewandten operativen Verfahren alle einer Ruhigstellung im Gipsverband bedurften, haben wir bei den abgeheilten Frakturen die Ruhigstellungsdauer wegen ihrer Bedeutung für die spätere Funktion zusammengestellt. Trotz der wenigen verbliebenen Fälle übertraf nach Tab. 11 die Dauer der Ruhigstellung im Durchschnitt die Zeiten der konservativ behandelten Fälle, die in Abb. 7 angegeben wurde. Dies scheint uns ein deutlicher Hinweis auf die negative Auswirkung der durch operatives Vorgehen beeinträchtigten Durchblutung bei gleichzeitig notwendiger längerer Ruhigstellung auf die Knochenbruchheilung. In diesem Zusammenhang sei auf die Untersuchungen LEXERS hinge-

wiesen, der durch Injektionsversuche nachgewiesen hat, daß die Ausbildung der sogenannten Bruchhyperämie eine Voraussetzung für die periostale Knochenheilung darstelle. E. REHN fand bei elektromyographischen Messungen, daß die Muskeltätigkeit bei Ruhigstellung im Gipsverband wesentlich geringer ist, als beispielsweise bei Extensionsbehandlung und daß die Knochenheilung durch eine rege Muskeltätigkeit beschleunigt wird. TRUETA konnte durch Druckmessungen im Markraum die Beobachtungen LEXERS und REHNS ergänzen durch seine Feststellung, daß die Blutzufuhr zum Knochen durch aktive Muskelanspannung meßbar gesteigert wird. Die in Tab. 10 aufgeführten operativen Verfahren ergaben jedoch keine absolute Stabilität der Fragmente gegeneinander, so daß die Knochenheilung wie bei konservativem Vorgehen

Tabelle 11. *Dauer der Ruhigstellung bei verschiedenen operativen Behandlungsmethoden, abgeheilte Fälle*

Methode	Ruhigstellung in Wochen						Durchschnitt
	4—8	8—12	12—16	16—24	24—36	52	
op. Reposition u. Drahtcerclage	1	2	3	3	—	1	18,2
operative Reposition	—	1	2	1	—	—	14,5
Marknagelung	—	1	2	2	1	1	22,8
Markdrahtung	—	—	1	2	1	—	21,0
Span u. Draht	—	—	3	2	2	—	20,3
zusammen	1	4	11	10	4	2	19,5

vorwiegend vom Periost eingeleitet werden muß. Nur bei absolut stabiler Osteosynthese und gutem Kontakt der Bruchflächen kommt es zu der sogenannten primären Knochenbruchheilung durch direktes Einwachsen von Osteoblasten von den Haversschen Kanälchen der Corticalis ohne Mitbeteiligung des Periostes. Auch bei dieser Form der Knochenheilung hat die Störung der Blutzufuhr — zur Corticalis — durch unzweckmäßige chirurgische Maßnahmen, ebenso wie durch Ausschalten der Muskelfunktion einen negativen Einfluß auf die Bruchheilung.

Die Notwendigkeit zusätzlicher Ruhigstellung nicht ausreichend stabilisierender operativer Maßnahmen bestimmt nicht nur die Indikationsstellung, sondern auch den *Zeitpunkt* des Eingriffes. Es muß möglichst frühzeitig operiert werden, was beim Vorliegen von Weichteilverletzungen mitunter nicht sinnvoll ist. Die unumgänglich notwendige Ruhigstellung nach einer Osteosynthese, die Übungsstabilität nicht erbringt, würde bei einer Operation erst mehrere Wochen nach dem Unfall oder bei Ausbleiben der Bruchheilung nach bereits vorausgegangener Ruhigstellung in jedem Falle zu einer bleibenden Bewegungseinschränkung führen, deren Ausmaß abhängt von der Gesamtdauer der Gips-

verbandbehandlung. Durch die Ruhigstellung, insbesondere über sehr lange Zeit, wird jedoch auch die Knochenheilung nur langsam fortschreiten, da die Blutzufuhr durch die behinderte Muskelfunktion ungünstig beeinflusst wird. Je später also der operative Eingriff nach dem Unfall vorgenommen wird, desto mehr muß mit einer verzögerten Knochenbruchheilung gerechnet werden und desto häufiger und ausgeprägter kommt es zu den sogenannten posttraumatischen Veränderungen im Bereich der ruhiggestellten Extremität. Die posttraumatischen Strukturveränderungen des Knochens treten wesentlich früher in Erscheinung, als bei Ruhigstellung aus anderer Ursache oder infolge Inaktivität. CHAPCHAL spricht von einem Zusammenhang zwischen den experimentell durch Stauung erzeugten Erscheinungen am Knochen und der sogenannten posttraumatischen Knochenatrophie. Die Knochenresorption sei sowohl subperiostal als endostal umso stärker, je erheblicher die venöse Stauung war. Daß ein ruhigstellender Gipsverband auch den Blutrückfluß behindern kann und in der Regel bei nicht hospitalisierten Verletzten das Herunterhängen der verletzten Extremität bei eingeschränkter Muskelfunktion einer Stauung gleich kommt, steht außer Zweifel. Der gelegentliche Übergang in eine sogenannte Sudecksche Dystrophie ist bekannt und gefürchtet.

Allein das Verfahren der Druckplattenosteosynthesen, wie es von den Gründern der „Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen“ (AO) entwickelt wurde, vereinigt in sich die Forderung nach ausreichender Stabilität und die Möglichkeit frühzeitiger Mobilisierung, wie sie oben aufgestellt wurde. Die sichere Fixation der Bruchstücke ist so zuverlässig, daß Gipsverbände ganz überflüssig sind. Die erreichte Übungsstabilität erhält die Gelenke frei beweglich, die Muskelfunktion sorgt für die notwendige gute Durchblutung, die notwendige Freilegung der Fraktur erlaubt eine absolut exakte Reposition, die gleichzeitige Kompression bringt die Bruchflächen in guten Kontakt ohne Störung der endostalen Blutzufuhr. Allerdings führt eine ungenaue Reposition der Fragmente oder ein Anbringen der Platten bei mangelhaftem Kontakt der Bruchflächen leicht zur Pseudarthroseentstehung, da das Periost nicht nur bei idealen Bedingungen keine Callusbildung zeigt, sondern diese Callusbildung auch bei Diastasen der Fragmente ausbleibt. Ursache hierfür ist die absolute Stabilität, die als eine Voraussetzung für die primäre Knochenbruchheilung oder aber für die endgültige knöcherne Durchbauung nach vorläufiger Stabilisierung durch Callus angesehen werden muß, die jedoch offenbar keinen geeigneten Reiz für eine periostale Callusbildung entstehen läßt.

Bei Einhalten der vorgeschlagenen Zugänge zu den verschiedenen Abschnitten der Unterarmknochen ist eine Beschädigung von Nerven oder Gefäßen nicht zu erwarten. Selbst bei ausgedehnten Freilegungen,

beispielsweise von Mehrfachfrakturen, ist nach 2 bis 3 Tagen das Bewegen der Finger und des Handgelenkes schon wieder möglich ohne besondere Beschwerden, sofern entsprechend schonend operiert wurde. Beim Vorliegen primärer Weichteilverletzungen durch das Unfallereignis, deren Ausmaß mitunter nicht zu übersehen ist, erlaubt die stabile Vereinigung der Fragmente die Operation notfalls mehrere Wochen bis zur vollständigen Wundheilung zurückzustellen — bei primärer stabiler Osteosynthese sind umgekehrt jederzeit die notwendigen Verbandwechsel oder plastischen Maßnahmen ohne Behinderung durch Gipsverbände und ohne Verschlechterung der Bruchstellung möglich.

Zum Infektionsrisiko solch großzügiger Freilegungen von Frakturen und dem Einbringen großer Metallimplantate haben wir kürzlich ausgeführt, daß mit der Größenzunahme der Fremdkörper die Infekthäufigkeit zurückgegangen ist. Für dieses paradoxe Verhalten ist offenbar die große Stabilität dieser Osteosynthesen in der Hauptsache verantwortlich; hinzu kommt zweifellos auch die verstärkte Bemühung um Asepsis und die durch Beherrschung der Operationstechnik mögliche Abkürzung der Operationsdauer. Hervorgehoben werden soll, daß unzweifelhaft das Operationsrisiko bei einer zweiten Osteosynthese schon wesentlich höher angesetzt werden muß, weshalb das Implantat der ersten Operation sicher zum Erfolg führen sollte.

An drei Beispielen soll gezeigt werden, welche Möglichkeiten sich dem Chirurgen durch die Anwendung von Druckplatten bei Vorderarmbrüchen oder ihren Folgezuständen bieten. Das erste Beispiel zeigt einen Unterarmschaftbruch mit Verschiebung des körperfernen Speichenfragmentes. Der Verlauf der Bruchebene erinnert an Abb. 5a und zeigt einen zum „unverletzten“ Knochen geöffneten Winkel zwischen Bruchebene und Kraftarm des Pronator quadratus. Wie üblich wurde zunächst eine geschlossene Reposition durchgeführt und eine vollständig befriedigende Bruchstellung erreicht. Im Verlauf von sechs Wochen kam es jedoch zu einer zunehmenden („typischen“) Stellungsverschlechterung (Abb. 9c).

Bei der Operation wurde auf der der Knickbildung gegenüberliegenden Seite eine Halbrohrplatte zunächst an ihren Enden festgeschraubt, anschließend dann die beiden fraktur-nahen Schrauben eingebracht und durch deren Festziehen sowohl die Knickbildung beseitigt, als Druck auf das zwischen den Bruchenden schon entstandene Bindegewebe ausgeübt. Auf das Anfrischen des Bruchspaltes wurde bewußt verzichtet, da erfahrungsgemäß die Umwandlung der im Bruchspalt vorhandenen multipotenten Zellen in Osteoblasten rascher erfolgt, als das Einwachsen der Osteoblasten aus den Haversschen Kanälchen. Zehn Wochen nach dem Eingriff hat der Verletzte seine Arbeit als Kohlenhauer wieder aufgenommen. Dieses Beispiel zeigt deutlich die Unabhängigkeit des Operateurs bei der Festlegung des Zeitpunktes für die Osteosynthese, sofern

er auf eine weitere Ruhigstellung im Gipsverband bei der erreichten Übungsstabilität verzichten kann.

Zu der Behandlung von Pseudarthrosen haben sich uns die Druckplatten als besonders geeignet erwiesen. Es muß jedoch berücksichtigt werden, daß die meist vorliegende schwere Knochenatrophie den Halt der Schrauben so sehr beeinträchtigen kann, daß entsprechend *größere* Implantate notwendig sind, als bei Frischverletzten. Diesen Gesichtspunkt haben wir anfänglich nicht genügend beachtet und einmal (Tab.12)

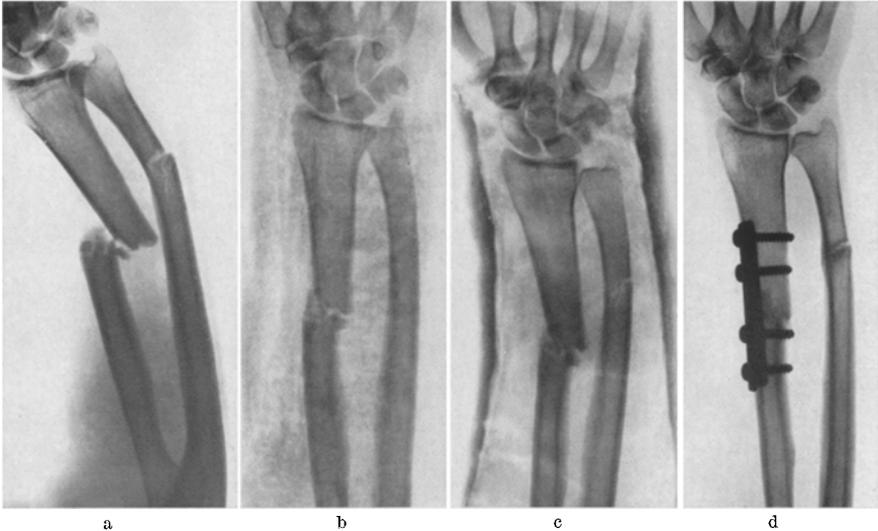


Abb. 9. W. R. ♂ 34 J. a Unterarmschaftfraktur an der körperfernen Drittelgrenze. b Gute Stellung der Fragmente durch geschlossene Reposition. c Typische Dislokation des Speichenschragbruches im Gipsverband, da der Pronator quadratus das körperferne Speichenbruchstück nach ellenwärts zieht und rotiert. d 10 Wochen nach Anlage der Druckplatte feste knöcherne Durchbauung und freie Gelenkbeweglichkeit

den Eingriff mit einer größeren Platte wiederholen müssen. Die „Sicherheit“ einer Vierlochplatte ist verhältnismäßig gering, da sich nur eine Schraube zu lockern braucht, um das Ergebnis der Osteosynthese in Frage zu stellen. Schon bei Verwendung einer Sechsllochplatte müssen zwei Schrauben an demselben Fragment ihren festen Halt verlieren, ehe eine Instabilität auftritt. Gerade bei dem osteoporotischen Knochen der Pseudarthrosepatienten erscheint Übungsstabilität besonders wünschenswert, um durch normalen Gebrauch eine Verbesserung der Durchblutungsverhältnisse und damit der Knochenatrophie und eine entsprechend rasche Ausheilung des Falschgelenkes zu erreichen.

Mehrfach fanden wir bei Unterarmschaftknochenpseudarthrosen eine Rotationseinschränkung, die fast ausschließlich auf Kosten der

Supination ging. Es ist präoperativ nun nicht sicher vorherzusagen, inwieweit diese Bewegungseinschränkung durch Schrumpfung des Gelenkapparates verursacht wird und ob frühe und intensive Bewegungsübungen nach Korrektur der Fehlstellung und stabiler Osteosynthese eine wesentliche Besserung der Supinationsfähigkeit des Vorderarmes erbringen. Dies ist desto weniger wahrscheinlich, je länger die Verletzung zurückliegt. Während eine Einschränkung der Pronation durch Abspreizen des Oberarmes kompensiert werden kann, kann der Verlust der Supination nicht ausgeglichen werden, was eine erhebliche Beeinträchtigung der Gebrauchsfähigkeit der Hand zur Folge hat. Es entsteht deshalb für den Operateur die Aufgabe, durch entsprechende Supination vor Befestigung der Platte an der Elle die präoperativ vorhandene Rotationsfähigkeit des Vorderarmes aus dem Bereich der Pronation in den Bereich der Supination zu bringen. Nur so kommt der Verletzte in den vollen Genuß des erreichbaren Erfolges.

Die Erhaltung einer guten Vorderarmdrehung setzt jedoch ein operatives Vorgehen voraus, das die Verhältnisse im distalen Radio-Ulnargelenk nicht stört. Sofern an beiden

Unterarmknochen eine Kompression in Längsrichtung vorgenommen wird, könnte sich durch Änderung des Längenverhältnisses von Elle zu Speiche infolge der Zurichtung der Fragmente eine unerwünschte Spannung auf den Bandapparat dieses Gelenkes einstellen. Wie in der Abb. 10 b zu erkennen ist, bevorzugen wir die Kompression in Längsrichtung nur an einem Unterarmknochen vorzunehmen, während an dem zweiten die Kompression in querer Richtung auf eine Schrägosteotomie ausgeübt wird, wobei die Länge des schrägosteotomierten Knochens sich nach Anlage der Druckplatte an dem unter Längskompression stehenden Knochen ohne Zwang von alleine ergibt.

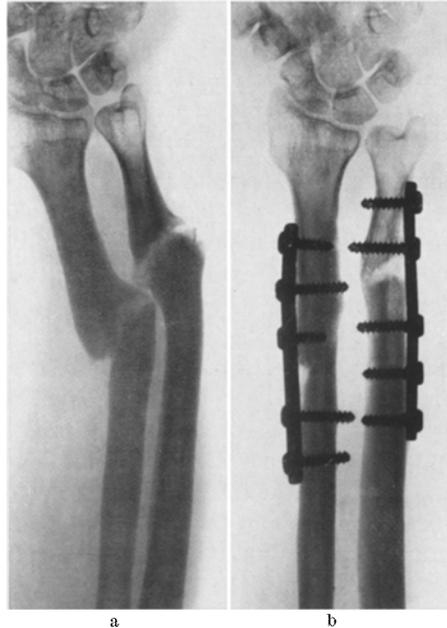


Abb. 10. P. Sch. ♂ 30 J. a Unterarmschaftpseudarthrose mit erheblicher Fehlstellung und völliger Aufhebung der Vorderarmrotation. b Sehr gute Stellung nach der Korrekturoperation und Anlage einer Druckplatte mit Kompression in Längsrichtung an der Elle, während an der Speiche durch Verschraubung nach Zugprinzip eine Kompression auf die Bruchstücke in querer Richtung ausgeübt wird

Das besprochene Vorgehen ergab mit der gleichzeitig vorgenommenen geringen Außenrotationsumstellung an der Elle nicht nur ein ausgezeichnetes röntgenologisches, sondern auch ein sehr gutes funktionelles Resultat, obwohl der Unfall bereits 2 Jahre zurücklag. Die von dem 22jährigen am 5. Tag nach der Operation begonnenen Bewegungsübungen verhinderten auch das Wiederenstehen des bei der Operation entfernten, sehr derben und teilweise verknöcherten Narbengewebes zwischen den beiden Unterarmknochen. 6 Monate nach dem Eingriff fand sich eine freie Beweglichkeit im Ellenbogengelenk, eine Einschränkung der Unterarmdrehung nach beiden Richtungen um jeweils 30 Grad und eine unbedeutende Behinderung der Handgelenksbeweglichkeit in der Stirnebene.

Als drittes Beispiel sei der Heilverlauf einer Defektpseudarthrose demonstriert. Es soll hier nicht darauf eingegangen werden, daß das Einbringen von Marknägeln im Gegensatz zu Abb. 11 a möglichst nicht durch die Gelenkflächen erfolgen soll. Am Ellenschaft hatte sich ohne nachweisliche Infektion eine Defektpseudarthrose bei liegendem Marknagel trotz 14 Wochen dauernder Ruhigstellung ausgebildet. Wir haben in einer Sitzung die Marknägeln entfernt, anschließend das Falschgelenk freigelegt und nach Anfrischen beider Fragmentenden eine Sechsllochplatte ohne Längskompression angelegt. In den sorgfältig erhaltenen Periostschlauch wurde autoplastische Spongiosa zwischen die Bruchenden eingebracht. Das postoperative Röntgenbild läßt deutlich die Spongiosaplombe erkennen (Abb. 11 b), die 10 Wochen später (Abb. 11 c) offenbar eingebaut wurde. Zumindest war auf späteren Röntgenaufnahmen eine Befundänderung nicht mehr festzustellen, obwohl der Verletzte bereits wieder seiner schweren Arbeit als Bergmann nachging. Das vor der Operation in seiner Beweglichkeit stark eingeschränkte Handgelenk, wo die Nagelenden auch Beschwerden verursachten, zeigte beim Abschlußgutachten nur noch eine endgradige Bewegungsbehinderung, die Vorderarmdrehung blieb jedoch in beiden Richtungen um etwa 40 Grad eingeschränkt. Nach der stabilen Osteosynthese besserte sich auch die Knochenatrophie zusehens durch die Übungsbehandlung und den täglichen Gebrauch der Gliedmaße.

Um die Leistungsfähigkeit der Druckplattenosteosynthese am Unterarm zu prüfen, haben wir zunächst eine kleine Serie nach dieser Technik behandelt, über die hier berichtet werden soll. Frische Unterarmschaftbrüche wurden nur dann operativ angegangen, wenn konservative Maßnahmen eine ausreichend gute Bruchstellung nicht erreichen ließen oder wenn das zunächst gute Repositionsergebnis ähnlich dem Falle der Abb. 9 im Gipsverband nicht erhalten blieb und die Ausbildung einer Pseudarthrose befürchtet werden mußte. Sofern nach 10 bis 12 Wochen eine Bruchheilung nicht eingetreten war, haben wir im Interesse der späteren Funktion als eine relative Indikation selbst bei sehr guter

Bruchstellung Druckplatten angelegt. Schließlich haben wir eine Anzahl echter Pseudarthrosen, einschließlich Defektpseudarthrosen, mit Druckplatten behandelt.

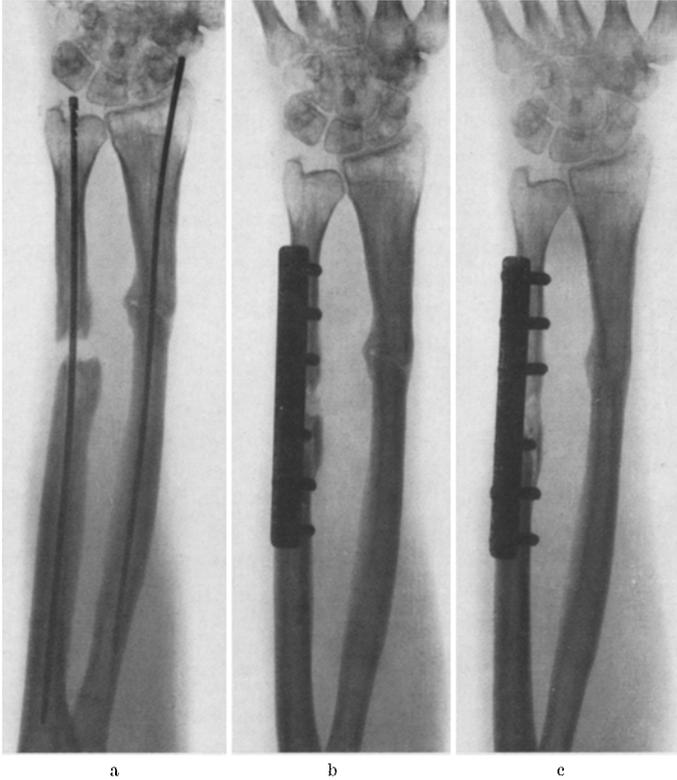


Abb. 11a—c. H. R. ♂ 34 J. a Defektpseudarthrose an der Elle ohne nachweisliche Infektion in der Vorgeschichte bei liegendem dünnem Marknagel. b Zwischen die angefrischten und durch Sechsllochplatte stabilisierten Fragmentenden ist eine autoplastische Spongiosaplobe eingebracht. c Die Röntgenaufnahme nach 10 Wochen zeigt eine noch etwas unregelmäßige, aber durchgehende Knochenzeichnung im Bereich der Spongiosaplobe

Bei 24 Verletzten wurden insgesamt 34 Druckplatten eingebracht. Elfmal handelte es sich um Osteosynthesen wegen Pseudarthrosebildung,

Tabelle 12. Zahl und Ort der Unterarmschaftbrüche bzw. -pseudarthrosen der mit Druckplatten behandelten Probeserie

	0—4 Wochen	4—12 Wochen	Pseudarthrosen
Elle	2	—	4
Speiche	5	1	2
Elle und Speiche	3	2	5
zusammen	10	3	11

fünfmal um Pseudarthrosen an beiden Unterarmknochen. Daß nur drei Verletzte wegen zunehmender Stellungsverschlechterung wie in Abb. 9 in dem Zeitraum zwischen der 4. und 12. Woche operiert wurden, hat seinen Grund darin, daß wir unnötigen Zeitverlust zu vermeiden bestrebt waren.

Ergebnis: a) 31 der eingebrachten 34 Platten führten zur Heilung der Fraktur bzw. Pseudarthrose.

b) Eine Druckplattenosteosynthese eines frischen Ellen- und Speichenbruches zog bedauerlicherweise einen Infekt an der Speiche nach sich. Der völlig uneinsichtige Verletzte ließ sich 5 Tage nach dem Eingriff gegen Unterschrift auf eigene Gefahr und gegen ärztlichen Rat nach Hause entlassen. 7 Wochen später stellte er sich wieder vor mit einer 2 cm langen, mäßig eitrig sezernierenden Wunde über der Speichenplatte, da die „aufgeplatzte Wunde nicht heilen wollte“. Eine der Schrauben war bereits herausgefallen. Selbst jetzt noch verweigerte er zunächst die Wiederaufnahme in unsere Klinik und verzögerte die Behandlung für einige Tage.

c) Eine Speichenpseudarthrose mit besonders starker Knochenatrophie konnte durch Anlage einer Vierlochdruckplatte (s. o.) nicht zur Abheilung gebracht werden, während die gleichzeitig bestehende Ellenpseudarthrose, ebenfalls durch Anbringen einer Vierlochdruckplatte, knöchern durchbaute. Die Anlage einer Sechsllochdruckplatte führte auch an dem Speichenfalschgelenk später zum Erfolg.

d) Eine etwa 3 Wochen nach dem Unfall operierte Speichenschaftfraktur, mit seit dem Unfall bestehender stärkerer Verkürzung war wegen Repositionsschwierigkeiten unzureichenderweise mit der Luersehen Zange gekürzt worden. Bei entsprechend schlechtem Kontakt der Bruchflächen entwickelte sich trotz der Kompression bei Anlage einer Vierlochdruckplatte eine Pseudarthrose, die durch einen zweiten Eingriff ebenfalls ausgeheilt werden konnte. Entscheidend erscheint für frische Frakturen bei der Verwendung von Druckplatten, daß eine absolut exakte Reposition vorgenommen wird, um durch optimalen Kontakt der Fragmente eine primäre Knochenheilung zu erzielen. Im Gegensatz hierzu bedarf es bei Pseudarthrosen dann keiner exakten Reposition, wenn die Stellung der Bruchstücke als einigermaßen genügend angesehen werden kann und das multipotente Gewebe zwischen den Fragmenten nicht entfernt wurde.

In den beiden Fällen der ausgebliebenen Konsolidierung nach Druckplattenosteosynthese ist somit die Ursache des Mißerfolges mit Sicherheit nicht der Methode, sondern ihrer Anwendung zur Last zu legen. E. SEIFERT schrieb 1934 im Zusammenhang mit der operativen Frakturbehandlung: „Wir Chirurgen wissen besonders gut, daß unsere Fehler die besten Lehrmeister sind. Aber man muß seine Fehler auch als

solche anerkennen“. So möchten wir an einem letzten Beispiel erneut darauf hinweisen, daß jede operative Technik durch fehlerhafte Anwendung in Mißkredit gebracht wird. In Abb. 12a ist eine Monteggiafraktur mit Aussprengung mehrerer Bruchstücke im Ellenbogengelenksbereich durch einen Dreikantnagel versorgt worden. Das Radiusköpfchen zeigt postoperativ eine deutliche Luxation nach beugewärts, da offenbar das Ligamentum anulare entweder nicht wiederhergestellt wurde oder aber mit einem der Knochenstücke in Verbindung steht, das nicht reponiert bzw. durch die Art der Versorgung nicht retiniert werden konnte. Eine Woche nach der Erstversorgung wurde der Verletzte in unserer Klinik aufgenommen und 3Tage später ein zweites Mal operiert. Die postoperative Röntgenkontrolle (Abb. 12b) zeigt, daß die Verrenkung des Speichenköpfchens behoben ist. Es war lediglich eine exakte Reposition der größeren Bruchstücke vorgenommen worden und eine Fixierung der Fragmente durch Platte, Zugschraube und Spickdraht. Glücklicherweise kam es auch nach der 2.

Osteosynthese zu einer störungsfreien Wundheilung.

Übungsstabilität konnte jedoch bei dem relativ kurzen proximalen, aus spongiösem Knochen bestehenden Ellenbruchstück nicht erreicht werden, so daß für 6 Wochen ein Gipsverband angelegt wurde. Da die Korrekturoperation jedoch 10 Tage nach der Erstoperation vorgenommen wurde, die unmittelbar nach dem Unfall erfolgt war, war eine wesentliche Funktionseinschränkung durch die zusätzliche Ruhigstellung nicht zu befürchten. Heute, 4 Wochen nach Gipsabnahme, findet sich nurmehr eine Einschränkung der Unterarmdrehung (40/140 Grad).

Grundsätzlich ist für jede operative Technik ihre Beherrschung und ausreichende Erfahrung auch in der Überwindung intra- und post-

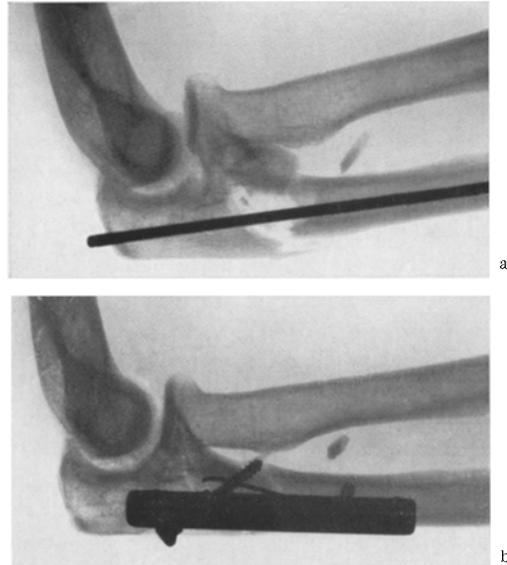


Abb. 12a u. b. W. H. ♂ 23 J. a Deutliche Verrenkung des Speichenköpfchens nach ungenügender offener Brucheinstellung und Nagelung der Elle. Die Art der vorliegenden Bruchform konnte durch dieses Osteosynthesemittel nicht erfolgreich behandelt werden. b Nach exakter Reposition und Fixation mit Zugschraube, Spickdraht und Druckplatte ist die Verrenkung des Speichenköpfchens nicht mehr festzustellen und die Gelenkfläche der Elle völlig stufenlos wiederhergestellt

operativer Komplikationen zu fordern. Wir haben erst kürzlich darauf hingewiesen, daß bei entsprechend sorgfältiger Kontrolle Störungen des Heilverlaufes so frühzeitig festgestellt werden können, daß häufig vorübergehende Ruhigstellung, Hochlagerung, notfalls Hospitalisierung ausreichen, um einen Mißerfolg zu vermeiden. Besonderer Erfahrung bedarf es, Infektzeichen von anderen Reizzuständen etwa bei Instabilität zu unterscheiden, um den frühest möglichen Zeitpunkt zur Anlage einer Spül-Drainage wahrnehmen zu können. Die Furcht vor der Einschleppung von Bakterien an eine bisher noch nicht sicher infizierte Osteosynthese trägt immer wieder die Schuld an einer Verzögerung der Spülbehandlung, wobei nach inzwischen ausgeweiteter Infektion der Krankheitsverlauf in jedem Falle erschwert ist. Da die beschwerdefreie Beweglichkeit nach stabilen Druckplattenosteosynthesen am Vorderarm die Verletzten leicht dazu verführt, schon vor Abschluß der Knochenheilung das verletzte Glied wieder stark zu beanspruchen und damit die Osteosynthese zu überbeanspruchen, wird man als behandelnder Chirurg immer wieder vor die Frage gestellt, ob nicht eine bisher bland verlaufene Infektion vorliegt.

Zusammenfassung

Die konservative Behandlung von Unterarmschaftbrüchen ist mit einem hohen Prozentsatz von Pseudarthrosen und häufigem Funktionsverlust belastet. Als generelle Ursache für diese hohe Mißerfolgsrate bestätigten unsere Erhebungen die anatomischen Verhältnisse am Unterarm — die differenzierte Auswertung der Ergebnisse unserer Nachuntersuchungen zeigte die wesentliche Bedeutung des Verlaufes der Bruchebene in ihrer Beziehung zu den dislozierenden Muskelkräften, deren Ausschaltung durch Ruhigstellung im Gipsverband erfahrungsgemäß nicht immer gelingt und aus den dargelegten Gründen nicht immer gelingen kann.

Für die Behandlung ist deshalb eine Analyse der im Einzelfall vorliegenden *frakturmechanischen Situation* Voraussetzung für die Wahl des geeignetsten Verfahrens. Wo die konservative Behandlung nicht ausreicht, müssen operative Maßnahmen vorgenommen werden. Die statistische Auswertung der Ergebnisse nach konservativer Behandlung erlaubt ganz bestimmte Forderungen an die operative Versorgung aufzustellen — Forderungen, die eine vergleichende Untersuchung verschiedener operativer Verfahren bestätigt hat: Es muß eine zuverlässige Stabilität gegen Biegung und Rotation erreicht werden und eine Ruhigstellungsdauer von maximal 12 Wochen sollte aus Rücksicht auf die spätere Funktion nicht überschritten werden.

Diese Forderungen erscheinen bei Anwendung der Druckplatten, wie sie von den Gründern der „Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen“ entwickelt wurden, erfüllbar zu sein. Unsere eigenen guten Erfahrungen mit dieser Methode schon bei einer ersten kleinen Versuchs-

serie haben uns nach Überwindung von Anfangsschwierigkeiten ermutigt, dieses Verfahren weiterhin und in vermehrtem Umfange anzuwenden, wenn konservative Maßnahmen den gewünschten Erfolg nicht erbrachten oder erfahrungsgemäß nicht erbringen können.

Literatur

- BLOCH, H. R.: Die Druckplattenosteosynthese der Vorderarmchaftfraktur. *Helv. chir. Acta* **30**, 98 (1963).
- BÖHLER, L.: Technik der Knochenbruchbehandlung, 12.—13. Aufl. Wien: Wilhelm Maudrich-Verlag 1957.
- BREITENFELDER, H.: Der lange Drehbruch des äußeren Knöchels. Spätschäden und ihre Verhütung. *Verh. dtsh. orthop. Ges., Beiheft Z. Orthop.* **88**, 333 (1957).
- CHAPCHAL, G.: Zur Kenntnis von Knochenschäden durch Gliedmaßenruhigstellung. *Internist. prax.* **4**, 261 (1964).
- DANIS, R.: *Théorie et pratique de l'Ostéosynthèse*. Paris: Masson & Cie 1949.
- EHALT, W.: Behandlung der offenen Brüche der langen Röhrenknochen. Wien: Wilhelm Maudrich-Verlag 1938.
- EIERMANN, H.: Das teleologische Prinzip in der Lehre von der Frakturheilung. *Dtsch. med. Wschr.* **85**, 384 (1960).
- KÜNTSCHER, G.: *Praxis der Marknagelung*. Stuttgart: Schattauer 1962.
- LEITZ, G.: Handwerkliche Grundregeln bei der operativen Knochenbruchbehandlung. *Chirurg* **3**, 36, 122 (1965).
- Zum Problem der Osteosynthese. *Arch. orthop. Unfall-Chir.* **57**, 302—317 (1965).
- Osteosynthese—Anzeigestellung, Technik und Gefahren. Bericht der Unfallmedizin. Tagung 5. u. 6. 11. 1964 in Köln des Landesverbandes Rheinland—Westfalen der gewerblichen Berufsgenossenschaften (Im Druck).
- MÜLLER, M. E., M. ALLGÖWER und H. WILLENEGGER: *Technik der operativen Frakturenbehandlung*. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer 1963.
- OTT, W.: Wann darf man einen Knochenbruch nicht, wann muß man ihn operieren? *Z. Unfallmed. Berufskr.* 1961.
- REHN, E.: Fraktur und Muskel. *Langenbecks Arch. klin. Chir.* **127**, 640 (1923).
- REHN, J.: Die Osteosynthese nach Danis. *Langenbecks Arch. klin. Chir.* **276**, 239 (1953).
- SEIFERT, E.: Technische Fehler in der Chirurgie: Über Fehler bei der blutigen Knochenfeststellung. *Chirurg* **2**, 7. Jahrg. 53 (1933).
- SMITH, H., and F. P. SAGE: Medullary fixation of Forearm Fracture. *Bone Jt. Surg.* **39 A**, 91 (1957).
- SMITH, J. E. M.: Internal Fixation in the Treatment of Fractures of the Shaftes of Radius and Ulna in adults. *Bone Jt. Surg.* **41 B**, 122 (1959).
- SOWLES, H. K.: End Results of Fractures of both Bones of Forearm. *J. Bone Jt. Surg.* **16**, 193 (1934).
- SCHEFFLER, H.: *Beobachtungen und Ergebnisse bei einer fünfjährigen Frakturenbehandlung*. Berlin: Springer 1927.
- STRINGA, G.: Ergebnisse konservativer Behandlung der Schaftbrüche von Oberarm, Unterarm, Oberschenkel und Unterschenkel. *Chir. Praxis* **4**, 461 (1957).
- WANKE, R., R. MAATZ, H. JUNGE und W. LENTZ: *Knochenbrüche und Verrenkungen*. München-Berlin: Urban und Schwarzenberg 1962.
- WIESER, C.: Die primäre Knochenbruchheilung und ihre Störung im Röntgenbild. *Langenbecks Arch. klin. Chir.* **308**, 434 (1964).

Dr. med. G. LEITZ, Chirurgische Klinik und Poliklinik der Berufsgenossenschaftlichen Krankenanstalten „Bergmannsheil“ 463 Bochum, Hunscheidtstraße 1