

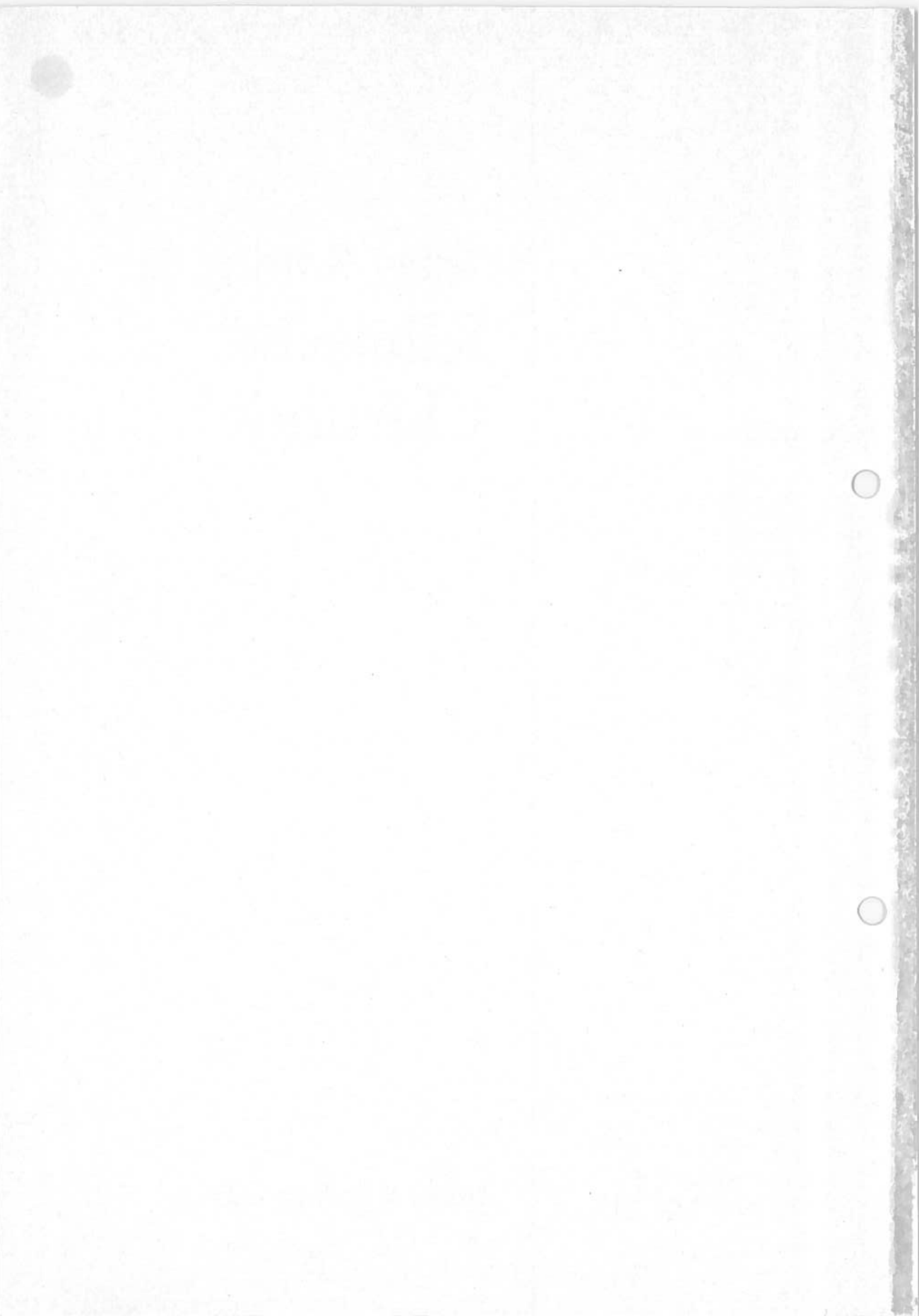
Sonderdruck

**Bruns' Beiträge für  
Klinische  
Chirurgie**

Alle Rechte, auch die des Nachdrucks  
der photomechanischen Wiedergabe  
und der Übersetzung, vorbehalten.

© Urban & Schwarzenberg  
München-Berlin-Wien 1973

**Urban & Schwarzenberg**



# Zur Behandlung der Verletzungen des Plexus brachialis

Vorschlag einer integrierten Therapie

H. Millesi, G. Meissl, H. Katzer

Station für Plastische und Wiederherstellungschirurgie (Leiter: Prof. Dr. H. Millesi)  
I. Chirurgische Universitätsklinik Wien (Vorstand: Prof. Dr. P. Fuchsig).

Die verschiedenen Formen der Verletzung des Plexus brachialis werden besprochen, und es wird ein Einteilungsschema entwickelt. Auf Grund der Erfahrungen an 44 Fällen wird ein integrierter Behandlungsplan für die einzelnen Phasen vorgeschlagen, der die verschiedenen Behandlungsmöglichkeiten aufeinander abstimmt.

Eine Verletzung des Plexus brachialis mit teilweiser oder vollständiger Lähmung des Armes und der Hand führt zu einem schwerwiegenden Funktionsverlust. Patienten mit einer derartigen Läsion können nur ausnahmsweise wieder in den Arbeitsprozeß eingegliedert werden. Da es sich vorwiegend um junge Patienten handelt, kommt dieser Tatsache eine nicht unwesentliche volkswirtschaftliche Bedeutung zu.

Hinsichtlich der Behandlung werden gegensätzliche Meinungen vertreten. Einzelne Autoren (Demmer 1929, Ehalt 1961 et al.) befürworten die sofortige Exploration. Gegen diese Ansicht wird angeführt, daß sehr häufig die Kontinuität des Plexus brachialis erhalten geblieben ist und eine spontane Regeneration faßbar wird. Die Operationsindikation ergibt sich dann erst, wenn keine Regenerationszeichen nachweisbar sind.

Maurer und Schmid (1971) warten 2 bis 3 Wochen, Bonney (1954) 6 bis 8 Wochen, Schuler (1958) 2 Monate. Flemming (1965) lehnt die frühzeitige Operation ab. Andere Chirurgen (Böhler, Fiedler, Förster, Lange, Röhlig, Witt und Schader) halten die operative Revision des Plexus bei ausgebliebener Regeneration zwischen dem 4. und 6. Monat für angezeigt. Bei Läsionen mit erhaltener

Kontinuität empfahl Pecinka (1960, 1961) die Spaltung der Nervenscheide. Lange (1961), Rohr (1962) und Weber (1962) sahen nach dieser Maßnahme nur bescheidene Erfolge. Bateman (1962) spricht sich für die Durchführung einer Neurolyse aus, die von Röhlig (1960), Lange (1962) und Flemming (1965) abgelehnt wird. Nach Seddon (1972) hat die Neurolyse kaum Erfolgsaussichten. Auch der Nerven transplantation zur Überbrückung von Defekten innerhalb des Plexus brachialis wird von Maurer und Schmid unter Hinweis auf Brooks (1949) und von Flemming (1965), der allerdings nur einen einzigen Fall operiert hat, wenig Erfolgsaussicht zugesprochen. In ähnlicher Weise äußert sich Sunderland (1968) unter Berufung auf Seddon (1947), obwohl Seddon (1963) zumindest in einzelnen Fällen mit autologen Nerven transplantation ausgezeichnete Ergebnisse erzielte. Der Frage, ob eine Nerven transplantation bei Plexusläsionen erfolgversprechend ist, kommt in der Praxis sehr große Bedeutung zu. Bei vielen, an sich operablen Plexusläsionen bestehen nämlich so große Defekte, daß nach entsprechender Resektion eine End- zu Endvereinigung nur unter großer Spannung erreicht werden könnte. Die technischen Schwierigkeiten bei der Überwindung großer Defekte, die Unsicherheit der Differen-

Herrn Prof. Dr. P. Fuchsig zum 65. Geburtstag gewidmet.

tialdiagnose zwischen Wurzelaustritt und peripherer Läsion, sowie die häufige Wirkungslosigkeit der äußeren Neurolyse führten zu einer Ablehnung der operativen Behandlung. Merle-d'Aubigne (1956, 1966) spricht sich gegen direkte Eingriffe am Plexus aus. Seddon (1972) faßt die allgemeine Meinung zusammen, wenn er feststellt, daß die Operation wohl gelegentlich zur Klärung der Prognose bei infraganglionären Läsionen beiträgt, hinsichtlich einer Besserung der Lähmung aber wenig zu bieten habe. Der Klärung der Prognose kommt insofern eine große Bedeutung zu, da bei ungünstiger Prognose nach der Meinung von Yeoman und Seddon (1961) auch die konservative Behandlung nicht zu lange fortgesetzt werden sollte, da sonst der Patient auf die Tatsache der Einarmigkeit fixiert wird und bei Ausrüstung mit einer Prothese die Verwendung der Prothese nicht mehr lernt. Die genannten Autoren treten daher bei aussichtslosen Fällen für eine frühzeitige Amputation und prothetische Versorgung ein. Nach Hendry (1949) hat allerdings die Amputation einen ungünstigen psychischen Effekt, die Patienten können mit der Prothese weniger gut in den Arbeitsprozeß wieder eingegliedert werden, und bei einer Verletzung oder Lähmung des gesunden Armes ist der Patient völlig hilflos. Schließlich kann die Amputation bei Mißlingen der Regenerationsversuche immer noch ausgeführt werden.

Die Einführung der Mikrochirurgie und die Verbesserung der Technik der Nerven- und Plexustransplantation schaffen unserer Meinung nach günstigere Voraussetzungen für die rekonstruktiven Eingriffe am Plexus brachialis selbst. Darüberhinaus glauben wir, daß durch wohlüberlegten Einsatz aller zur Verfügung stehenden rekonstruktiven Maßnahmen in einer nicht unbeträchtlichen Zahl der Fälle eine funktionell bedeutsame

Verbesserung erzielt werden kann, so daß ein aktiveres Vorgehen angezeigt ist. Natürlich darf man sich nicht zu viel erwarten. Für einen Patienten mit einer kompletten Plexusläsion bedeutet allerdings ein geringer Funktionsgewinn schon eine große Hilfe.

#### Behandlungsmethoden

Grundsätzlich stehen folgende Behandlungsmethoden zur Verfügung:

##### *Konservative Behandlung*

Die Hauptaufgabe der physikalischen Therapie liegt in der Verhütung einer Überdehnung der gelähmten Muskulatur. Es kann das Tragen einer Abduktionsschiene notwendig sein. Das volle Bewegungsausmaß der Gelenke wird durch passive und dort, wo es möglich ist, durch aktive Bewegungsübungen aufrecht erhalten. Das Auftreten von Kontrakturen soll vermieden und bereits vorhandene Kontrakturen behandelt werden. Durch eine Reizstrombehandlung will man das Auftreten der degenerativen Muskelatrophie verzögern. Inwieweit die Durchführung einer konstanten Galvanisation eine Beschleunigung der Reinnervation erreichen kann, ist nach wie vor umstritten. Bei Wiederauftreten einer aktiven Beweglichkeit gelähmter Muskel wird die Bewegungsbehandlung unter Ausschaltung der Schwerkraft intensiviert. Auch das isometrische Muskeltraining wird herangezogen.

##### *Beseitigung von Regenerationshindernissen*

Bei erhaltener Kontinuität kann die Regeneration durch Druck von außen durch Fibrose und Schrumpfung des Epineuriums bzw. durch intraneurale Fibrose behindert werden. Die Beseitigung der Ursache der Kompression und die Durchführung einer äußeren bzw. inneren Neurolyse mit Spal-

tion des Epineuriums können die Regeneration wieder in Gang bringen. Ein die Regeneration völlig verhinderndes Kontinuitätsfibrom wird reseziert und der dadurch entstandene Defekt überbrückt.

#### *Wiederherstellung der Kontinuität*

Bei Unterbrechung der Kontinuität wird diese durch Nervennaht oder Nerventransplantation wiederhergestellt, sofern ein proximaler Stumpf vorhanden ist.

#### *Zuführung von Nervenfasern*

Wenn die Wiederherstellung der Kontinuität eines lädierten Abschnittes des Plexus unmöglich ist, kann die Neurotisation durch Zuführung von Nervenfasern eines anderen Nerven (Nerventransfer) erreicht werden.

#### *Operative Verbesserung der Sensibilität*

An besonders wichtigen Stellen kann für das Vorhandensein zumindest einer Schutzsensibilität gesorgt werden, indem man einen neurovaskulären Insellappen aus einer sensibel versorgten Gegend verpflanzt oder zusätzliche Nervenfasern durch Nerventransfer heranführt.

#### *Bessere Ausnützung erhalten gebliebener bzw. zurückgekehrter Funktionen*

Durch Transposition funktionierender Muskeln bzw. Sehnen wird eine Aktivierung wichtigerer Funktionen angestrebt.

#### *Stabilisierung von Gelenken*

Können bestimmte Gelenke auf Grund der Lähmung nicht mehr aktiv bewegt bzw. stabilisiert werden, ist die Arthrodesese in Funktionsstellung ein Mittel, vorhandene Funktionsreste besser auszunützen. Durch eine Arthrodesese werden auch Muskeln für wichtigere Funktionen freigemacht.

#### **Ursachen der Verletzung des Plexus brachialis**

Der Plexus brachialis kann ganz oder teilweise durch Schnitt-, Stich-, oder Schußverletzung durchtrennt werden (offene Durchtrennung = O).

Verschiedene Verletzungsmechanismen führen durch übermäßigen Zug in Längsrichtung zu einer Läsion des Plexus. Durch Sturz mit der Schulter gegen einen harten Gegenstand entsteht eine Querspannung (Weber 1962). Hals und Schulter werden auseinandergedrängt. Forcierte Neigung des Kopfes zur kontralateralen Seite durch die Fliehkraft verstärkt diesen Mechanismus. Wird die Schulter nach kaudal gedrückt bzw. der adduzierte Arm nach kaudal gezogen, haben die oberen Wurzeln bzw. der Truncus superior die stärkste Zugbelastung auszuhalten. Der Zug des abduzierten Armes nach oben oder hinten belastet vorwiegend die unteren Wurzeln bzw. den Truncus inferior. Ein seitlicher Zug am Arm führt zur stärksten Spannung im Truncus intermedius bzw. in der Wurzel C7. Diese Mechanismen wurden von Stevans (1934), Barnes (1949) und Tracy und Brannon (1958) ausführlich untersucht. Die übermäßige Zugbelastung in Längsrichtung führt je nach dem Ausmaß der Gewalt zu einer Ruptur (R) oder zu einem Traktionschaden (T). Diese Verletzungen kommen am häufigsten durch Verkehrsunfälle (Motorrad), weniger häufig durch Sturz auf die Schulter aus größerer Höhe zustande.

Die direkte Kompression der Schultergegend führt zu einer Quetschung des Plexus brachialis zwischen Clavicula und erster Rippe. Ein Kompressionsschaden (K) kann auch durch Sturz auf die Schulter entstehen. Der Druck kann durch Bruchstücke bei Frakturen der Clavicula oder der 1. Rippe ausgeübt werden. Auch ein geringer aber lange Zeit

einwirkender Druck führt zu einem Kompressionsschaden. Beispiele hierfür sind die Narkoselähmung (Schulterstütze bei Trendelenburgscher Lage), die Abseillähmung (Gaillard 1967) und die Tornisterlähmung.

Bei der geburtstraumatischen Lähmung des Plexus brachialis handelt es sich entweder um einen Kompressionsschaden durch die Zangenblätter oder um einen Traktionschaden beim Entwickeln der Arme. Nach Kehrer (1934) und Wickstrom et al. (1955) handelt es sich in der Mehrzahl um obere Plexuslähmungen.

#### Einteilung der Läsionen des Plexus brachialis

Prognose und Behandlung werden neben allgemeinen Faktoren von folgenden Umständen bestimmt:

Höhe der Läsion

Quere Ausdehnung der Läsion

Schwere der Läsion

Art der Läsion

Eine Einteilung der Plexusverletzungen muß nach diesen Faktoren ausgerichtet sein. Die grobe klinische Untersuchung ermöglicht die Unterscheidung zwischen kompletter bzw. partieller Plexuslähmung. Betrifft die Läsion die Wurzeln C5 bis C7, so spricht man von einer oberen Plexuslähmung. Duchenne-Erb (DE). Eine Verletzung der Wurzeln C7 bis Th1 verursacht eine untere Plexuslähmung Klumpke (Kl).

#### Höhe der Läsion

Im Verlaufe der Längsrichtung des Plexus brachialis kann die Verletzung an folgenden Stellen lokalisiert sein:

Verletzung der Wurzel zentral vom Spinalganglion (Wurzelausriß, supraganglionäre Läsion) = I

Verletzung der Wurzel peripher vom Spinalganglion (Wurzelabriß, infraganglionäre Läsion) = II

Ausgedehnte Verletzung einer Wurzel (Kombination von supra- und infraganglionärer Läsion) = I + II

Verletzung einzelner Wurzeln oberhalb, anderer Wurzeln unterhalb des Spinalganglions. = II/I (Kombination von Wurzelabriß und Wurzelausriß)

Verletzung der Primärstämme = III

Verletzung der Faszikel (Pars infraclavicularis des Plexus brachialis) = IV

Ausgedehnte Verletzung, die sowohl Primärstämme wie Faszikel erfaßt = III + IV

#### Quere Ausdehnung der Läsion

Die Verletzung kann nach der Art des Traumas verschieden breite Abschnitte des Plexus umfassen. Im Bereich der Wurzeln (I, II) können alle oder nur einzelne Wurzeln in das Trauma einbezogen sein. Bei normaler Ausbildung gehören die Wurzeln C 5–C 8 und Th 1 (5, 6, 7, 8, 1) zum Armnervengeflecht. Als anatomische Variationen kommen die Präfixation (die Wurzel C 4 ist zur Gänze in den Plexus brachialis einbezogen = 4, 5, 6, 7, 8) bzw. die Postfixation (Einbeziehung der Wurzel Th 2 = 6, 7, 8, 1, 2) vor.

Im Bereich der Primärstämme kann die Verletzung den Truncus superior (s) den Truncus intermedius (im) und den Truncus inferior (i) einzeln oder kombiniert betreffen.

In der Pars infraclavicularis muß zwischen einzelner oder kombinierter Läsion des Fasciculus lateralis (l), des Fasciculus medialis (m) und des Fasciculus dorsalis (d) unterschieden werden.

#### Schwere der Läsion

Zur Bezeichnung der Schwere der Läsion wurden 2 Einteilungsprinzipien ausgearbeitet. Seddon (1943) unterscheidet 3 Grade (Neurapraxie, Axonotmesis und Neurotmesis). Sunderland (1951) verwendet eine Einteilung in 5 Schweregrade. Da die Sunderlandsche Einteilung eine bessere Differenzierung erlaubt, wird im folgenden auf die Sunderlandsche Einteilung zurückgegriffen. Folgende Schweregrade werden unterschieden:

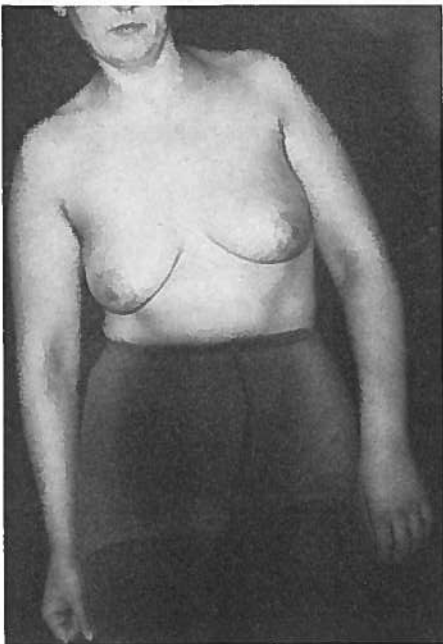


Abbildung 1a.

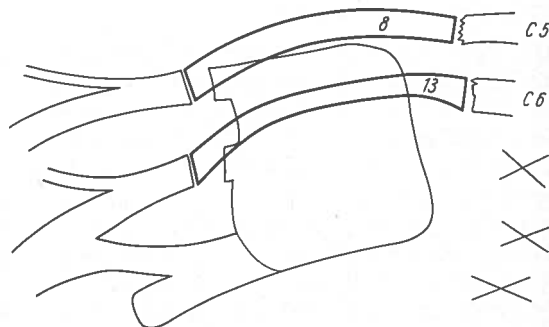


Abbildung 1b.



Abbildung 1c.



Abbildung 1d.



Abbildung 1e.



Abbildung 1f.

Abbildung 1. 28jährige Patientin. Verletzung durch Sturz aus dem Fenster. Komplette Plexusläsion links (1a). Wurzelaustritt C 7, 8 und Th 1. Abriß der Wurzel C 5 und C 6 (II (5, 6) 5° R/I (7-1) 5° R). Wiederherstellung der Kontinuität zwischen C 5 und Fasciculus dorsalis durch ein 8 cm langes und zwischen C 6 und Fasciculus lateralis durch ein 13 cm langes Nerventransplantat (N. ulnaris) (1b). Rückkehr der Schutzsensibilität im Medianusgebiet und einer kräftigen aktiven Beugung der Finger und des Ellbogengelenkes (1c, d, e, f). Keine aktive Streckung, Arthrodese des Handgelenkes.

*Grad 1 (1°)*

Die Kontinuität der Axone bleibt trotz Auftreten einer Lähmung erhalten. Die elektrischen Reaktionen sind normal. Dissoziierte Lähmungen sind möglich, da die sensiblen Fasern offenbar widerstandsfähiger sind. Im weiteren Verlauf kommt es in der Regel innerhalb von 3 bis 8 Wochen zur spontanen Erholung. Die spontane Erholung bleibt aber aus, wenn eine anhaltende äußere Kompression fortbesteht.

*Grad 2 (2°)*

Die Verletzung führt zu einer Aufhebung der Kontinuität der Axone und damit zum Auftreten der Wallerschen Degeneration. Dementsprechend ergibt die elektrische Untersuchung nach einigen Tagen einen pathologischen Befund. In der Regel erfolgt die Regeneration innerhalb von 3 bis 8 Monaten, sofern sie nicht durch anhaltende äußere Kompression aufgehalten wird. Da die Endoneuralrohre erhalten geblieben sind, tritt kein Verlust an Axonen auf.

*Grad 3 (3°)*

Unterbrechung der Kontinuität der Axone mit Wallerscher Degeneration und Verletzung des Endoneuriums. Das Perineurium bleibt intakt und daher die Faszikelstruktur erhalten. Die elektrischen Reaktionen ergeben pathologische Werte. Es kommt zu einer retrograden Degeneration. Da kein Kontinuitätsverlust entstanden ist, besteht die Möglichkeit der spontanen Regeneration, allerdings mit einer gewissen Einbuße an Achsenzylindern, die nicht alle in die richtige periphere Bahn gelangen. Es entwickelt sich daher ein neues Innervationsmuster. Die spontane Regeneration kann aber auch ausbleiben, obwohl nur geringfügige äußere Veränderungen nachweisbar sind.

*Grad 4 (4°)*

Kontinuitätsverlust der Axone mit Wallerscher Degeneration und Zerstörung des Endo- und Perineuriums. Die Kontinuität des Nerven wird nur durch das Epineurium aufrecht erhalten. Die elektrischen Reaktionen sind pathologisch, es kommt zu einer stärkeren retrograden Degeneration als bei 3°. Auch das Faszikelmuster geht verloren. Es entwickelt sich ein Kontinuitätsfibrom. Die Regeneration erfolgt durch Ausprossens der Axone und Durchwachsen des Kontinuitätsfibromes. Unter diesen Umständen

ist die Regeneration unvollkommen oder sie bleibt vollkommen aus.

*Grad 5 (5°)*

Dieser Grad bezeichnet eine vollständige Durchtrennung des Nerven.

*Art der Läsion*

Man muß unterscheiden zwischen:

Offener Durchtrennung (O)

Ruptur (R)

Bei diesen beiden Formen handelt es sich um eine vollständige Unterbrechung der Kontinuität. Sie wären daher der Schwere nach als Grad 5 (5°) zu bezeichnen.

Traktionsschaden (T)

Kontinuität erhalten (Schweregrad 1° bis 4°, je nach Schwere des Traumas).

Kompressionsschaden, und zwar:

Rasch auftretende äußere Kompression durch Haematom, Knochenfragment usw. (K 1).

Langsam auftretende Kompression von außen durch Narbe, Tumor (K 2).

Innere Kompression durch Ödem, Fibrose, Schrumpfung des Epineuriums (K 3).

Kontinuität erhalten, Schweregrad 1° bis 4°, je nach Schwere und Dauer der Einwirkung.

Durch Verwendung der in dieser Einteilung vorgeschlagenen Abkürzungen gelingt es, jede beliebige Plexusläsion formelartig exakt zu definieren. Als Beispiele seien folgende Fälle angeführt:

Komplette Plexuslähmung mit Ausriß aller Wurzeln = I, (5-1), 5°, R

Kombination von Wurzelausriß (C 6 - C 8 und Th 1) und Wurzelabriß (C 5) = II, (5), 5°, R/I, (6-1), 5°, R

Traktionsschaden des Truncus superior bei erhaltener Kontinuität aber Verlust des Faszikelmusters = III (s) 4° T

Offene Durchtrennung des Fasciculus lateralis und dorsalis der Pars infraclavicularis = IV (1, d) 5° O

**Diagnose und Operationsindikation**

*A) Frische Verletzung*

Die klinische Untersuchung führt zur Stellung der Diagnose: Läsion des Plexus brachialis und zur Unterscheidung, ob es sich

*Plexus brachialis*



Abbildung 2a.

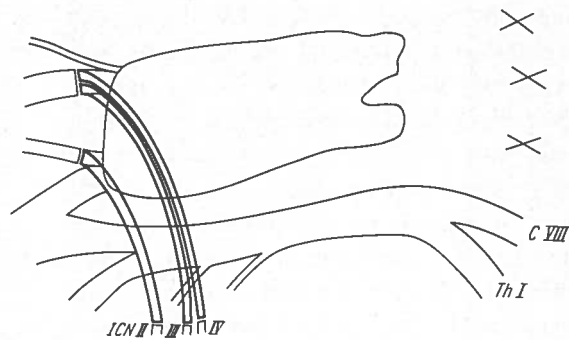


Abbildung 2b.

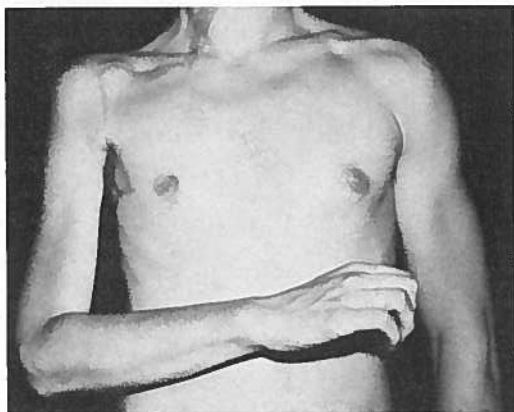


Abbildung 2c.

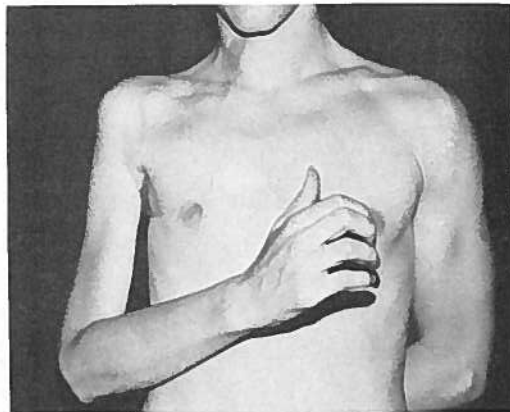


Abbildung 2d.

Abbildung 2. 17jähriger Patient. Partielle, obere Plexusläsion rechts durch Verkehrsunfall. Zustand nach erfolgloser auswärtiger Operation (2a), die von einem kurzen, schrägen Schnitt aus durchgeführt wurde. 7 Monate nach dem Unfall neuerliche Freilegung. Es besteht ein Wurzelaustriß bei C5, 6 und 7 (I (5, 6, 7) 5°R). Die Wurzeln C8 und Th1 sind intakt. Nerventransfer der Nn. intercostales II, III und IV über Nerventransplantate (N. suralis) zum N. musculocutaneus und zum N. radialis (2b). Rückkehr der aktiven Beugung im Ellbogengelenk (2c), der aktiven Supination (2d) und der Streckung im Handgelenk und in den Fingergrundgelenken (2e).

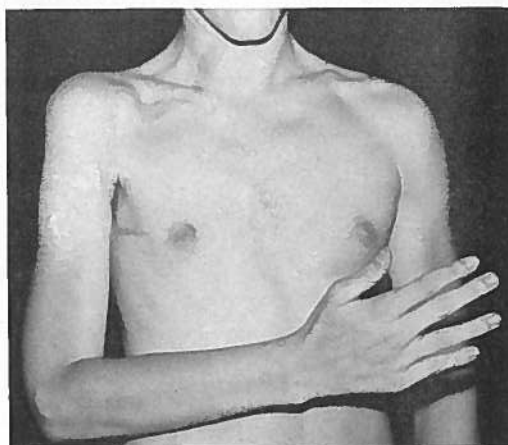


Abbildung 2e.

um eine komplette Läsion (C) oder um eine Teilläsion (P) handelt. In letzterem Falle wird zwischen oberer (D.E.) und unterer (K1) Plexusläsion differenziert. Handelt es sich um eine akute Kompression von außen (K1) ergibt sich eine Indikation zur sofortigen Operation, um die Kompression zu beseitigen. Bei Vorliegen einer offenen Durchtrennung (O) wird auf jeden Fall die Wunde versorgt. Es bleibt dem einzelnen überlassen, ob er eine Primär- oder eine frühe Sekundärversorgung der durchtrennten Anteile des Plexus durchführen will. Auf Grund der allgemeinen Erfahrung bei der Behandlung von Nervenläsionen wird man der frühen Sekundärversorgung in der 3. Woche den Vorzug geben. Bei allen anderen Formen besteht keine akute Operationsindikation, und es wird mit konservativer Behandlung begonnen.

#### B) Frühphase I

(3 bis 4 Wochen nach der Verletzung)

Durch die klinische Untersuchung wird die Lokalisation der Höhe der Läsion angestrebt. Bei Wurzelläsionen (I, II) kann ein Hornerisches Syndrom bestehen. Auch kommen Irritationen des Rückenmarkes (Pyramidenzeichen, Sphinkterstörungen und dissoziierte Empfindungsstörungen in tieferen Segmenten) vor. Eine Läsion in Höhe der Primärstämme (III) kann dann angenommen werden, wenn der Nervus dorsalis scapulae und der Nervus thoracicus longus von der Verletzung verschont blieben. Die Intaktheit des Nervus suprascapularis und des Nervus thoraco-dorsalis geben einen Hinweis auf eine Läsion im Bereich der Pars infraclavicularis. Wenn die elektrische Leitfähigkeit in der 3. Woche vollständig erhalten geblieben ist, kann man eine Schädigung ersten Grades (Neurapraxie) annehmen. Bei allen anderen Schweregraden ist zu die-

sem Zeitpunkt die motorische Leitfähigkeit aufgehoben.

#### C) Frühphase II (8. bis 12. Woche)

Liegt eine Schädigung ersten Grades vor, muß zu diesem Zeitpunkt die Funktionsrückkehr schon weit fortgeschritten sein. Erfolgt sie langsam oder wurde sie unterbrochen, muß man mit einer Behinderung durch äußere Kompression (K2) rechnen. Die konservative Behandlung wird fortgesetzt.

Bei Schädigung zweiten bis fünften Grades (2° bis 5°) ergeben sich folgende Möglichkeiten:

Die *Regeneration beginnt*: Es tritt ein Tinel-Hoffmannsches Zeichen auf, das nach distal zu wandern beginnt. Es handelt sich dann möglicherweise um eine Läsion vom Grad 2 mit guter Aussicht auf Regeneration. Die konservative Behandlung wird fortgesetzt.

Es sind *keine Regenerationszeichen* festzustellen:

Die klinische Diagnose ergab eine *Läsion in Höhe der Primärstämme oder der Faszikel*. In diesem Falle muß jetzt an der Stelle der Läsion ein Tinel-Hoffmannsches Zeichen nachweisbar sein. Es bleibt noch zu differenzieren, ob es sich um eine Schädigung vom Grad 3, Grad 4 oder Grad 5 handelt. Die konservative Behandlung wird fortgesetzt.

Die klinische Diagnose ergab *Wurzelläsion (I, II)*.

In diesem Fall muß jetzt zwischen Wurzelabriß und Wurzelausriß bzw. den Kombinationsformen unterschieden werden:

#### Wurzelabriß (I)

Tinel-Hoffmannsches Zeichen ist negativ.

ENG ergibt normale sensible Leitung.

Axonreflexe (0,1 ml einer Histaminlösung

1:1000 intrakutan, Gefäßerweiterung auf Abkühlung) (Bonney 1954) sind positiv. Schweißsekretion positiv. Myelographie: traumatische Meningozele oder Füllungsdefekt. EMG der hinteren Halsmuskulatur negativ.

**Wurzelausriß (II)**

Tinel-Hoffmannsches Zeichen positiv. ENG: sensible Leitung aufgehoben. Axonreflexe negativ. Schweißsekretion negativ. Myelographie negativ. EMG der tiefen Nackenmuskulatur normal.

**Ausgedehnte supra- und infraganglionäre Wurzellaäsion**

Tinel-Hoffmannsches Zeichen negativ. ENG sensible Leitung aufgehoben. Axonreflexe negativ. Schweißsekretion negativ. Myelographie: traumatische Meningozele, Füllungsdefekt, oder negativ. EMG der tiefen Nackenmuskulatur negativ.

**Wurzelausriß und Wurzelabriß an verschiedenen Wurzeln nebeneinander**

Tinel-Hoffmannsches Zeichen positiv.

ENG	} wechselnd je nach untersuchtem Segment
Axonreflexe	
Schweißsekretion	
Myelographie	
EMG der tiefen Nackenmuskulatur	

Diese Zusammenstellung zeigt, daß die Differentialdiagnose äußerst schwierig ist. Der verlässlichste Anhaltspunkt ist das Tinel-Hoffmannsche Zeichen. Wenn es positiv ist, kann man rechnen, daß zumindest im Bereich einer Wurzel Axone aussprossen. Ob allerdings genügend Axone für eine nützliche Regeneration vorhanden sind, kann erst durch operative Freilegung entschieden werden.

Wurde die Diagnose Wurzelausriß (I) oder ausgedehnte Wurzellaäsion (I+ II) gestellt, weiß man, daß weiteres Zuwarten keinen Vorteil bringen kann. Es ist daher in diesem Stadium, bevor es noch zu einer ausgedehnten Muskelatrophie kommt, der Versuch der Neurotisation durch Nerventransfer zu machen.

Handelt es sich um einen infraganglionären Wurzelschaden (II) oder um eine Kombination infraganglionärer Schaden und Wurzelabriß (II/I) muß noch der Schweregrad differenziert werden, da es sich ja um eine Schädigung vom Grad 3, 4 oder 5 handeln kann, bevor eine Operation angezeigt ist.

*D) Frühphase III (3. bis 6. Monat)*

Handelt es sich um einen Schaden 1°, so muß zu diesem Zeitpunkt die Funktionsrückkehr bereits abgeschlossen sein. Wenn dies nicht der Fall ist, liegt eine Kompression von außen (K2) vor, und eine Neurolyse ist indiziert.

Der unter C geäußerte Verdacht auf Vorliegen eines Schadens 2° wird während dieser Phase durch die fortschreitende Regeneration bestätigt. Auch im Falle eines Stillstandes der Regeneration wird die konservative Behandlung fortgesetzt.

Bei den übrigen Fällen (Schaden vom 3° bis 5°) ergeben sich folgende Möglichkeiten: Die *Regeneration kommt in Gang*, das Tinel-Hoffmannsche Zeichen wandert nach distal. Es handelt sich wahrscheinlich um einen Schaden vom 3°.

Liegen noch immer *keine Regenerationszeichen* vor, das Tinel-Hoffmannsche Zeichen wandert aber nach distal, man muß einen Schaden vom 3° oder 4° annehmen.

Es tritt *keine Regeneration* auf, das Tinel-Hoffmannsche Zeichen verbleibt am Ort der Läsion. Es liegt entweder eine komplette Durchtrennung (5°) vor, oder die Regenera-

tion ist durch äußere oder innere Kompression behindert (K2, K3).

Bei Vorliegen der beiden zuletzt genannten Möglichkeiten besteht die Indikation zur operativen Revision, und zwar bei allen verbliebenen Höhenlokalisationen (II, II/I, III, IV). Bei Vorliegen einer Kontinuitätsunterbrechung ( $R = 5^\circ$ ) wird nach entsprechender Anfrischung die Kontinuität bei kurzen Defekten durch Nervennaht in der Regel aber durch Nerventransplantation wiederhergestellt. Bei erhaltener Kontinuität (T, K2, K3) wird eine äußere Neurolyse durchgeführt, das Epineurium gespalten und eine innere Neurolyse angeschlossen. Bei Vorliegen einer Schädigung vom Grad 3 ist damit der Eingriff beendet. Bei Vorliegen einer Schädigung vom Grad 4 muß eine Resektion der veränderten Stelle mit Wiederherstellung der Kontinuität durch Nerventransplantation in Erwägung gezogen werden.

*E) Spätphase der direkten Wiederherstellung (nach dem 6. Monat)*

Bei der Mehrzahl der Fälle mit einem Schaden von Grad 2 wird während dieser Phase die Regeneration so weit fortschreiten, daß ein nützlicher Grad erreicht ist. Sollte es zu einem längeren Stillstand oder gar zu einer Rückbildung kommen, besteht ein Regenerationshindernis (K2) und eine Neurolyse ist angezeigt.

Auch bei den restlichen Fällen mit einer schwereren Läsion, aber erhaltener Kontinuität ( $3^\circ$ ,  $4^\circ$ ) muß sich während dieser Phase entscheiden, ob die Regeneration spontan bis zu einem nützlichen Grad fortschreitet, was bei Grad 3 sehr häufig der Fall sein wird, oder ob es nur zu einer spärlichen Regeneration oder zu einem Stillstand kommt. In diesem Fall ist die Freilegung angezeigt. Es wird entweder eine äußere und innere Neurolyse oder bei

schweren Veränderungen im Sinne von Grad 4 eine Resektion der veränderten Stelle mit anschließender Überbrückung durch Nerventransplantation ausgeführt.

*F) Phase der indirekten Wiederherstellung*

Diese Phase schließt sich an die Phase der direkten Wiederherstellung ohne scharfe Grenze an. Sobald die spontan aufgetretene oder durch einen operativen Eingriff ausgelöste Regeneration einen gewissen Abschluß erreicht hat, wird eine genaue Analyse des Funktionszustandes durchgeführt. Es wird ferner für jeden Einzelfall erwogen, welches Funktionsziel mit Vorrang angestrebt werden soll. Je nach dem Ausmaß der Regeneration oder der verbliebenen Restfunktion bei Teilläsionen wird ein Plan zur Funktionsverbesserung durch Ersatzoperationen bzw. Versorgung mit Apparaten erstellt. Wenn weder Sensibilität noch Motorik zurückgekehrt sind, wird die Amputation des Armes in Erwägung gezogen und der Patient mit einer Prothese versorgt.

Wenn bei einer kompletten Plexusläsion eine gewisse protektive Sensibilität zurückgekehrt ist und die Trophik verbessert wurde, aber keine motorische Regeneration auftrat, kann durch einen Transfer des Musculus pectoralis major (Clark) verbunden mit einer Arthrodesse im Schultergelenk und einer Unterarmamputation ein brauchbarer Armstumpf erzielt werden. Handelt es sich um eine obere Plexusläsion unter den gleichen Umständen, wird man ebenfalls das Schultergelenk versteifen und eine aktive Beugung im Ellbogengelenk anstreben. Dies kann entweder durch die Clarksche Operation oder durch die Verpflanzung der funktionierenden Unterarmbeuger auf den Humerusschaft (Steindler) erreicht werden. Bei Vorliegen einer unteren Plexusläsion ohne motorischer Regeneration wird man

im Einzelfall einen individuellen Behandlungsplan aufstellen müssen.

Bei Rückkehr der Schutzsensibilität und einer aktiven Beugung im Ellbogengelenk steht man vor der Wahl, entweder eine Unterarmamputation auszuführen und den Patienten mit einer Prothese zu versorgen oder eine Arthrodese im Handgelenk durchzuführen. Dasselbe gilt für das Vorliegen einer unteren Plexuslähmung. Handelt es sich um eine obere Plexuslähmung, ergibt sich unter den gegebenen Umständen eine befriedigende Funktion. Fallweise wird man eine Verriegelung des Ellbogengelenks zur Verhinderung einer unerwünschten passiven Streckung in Erwägung ziehen.

Kam es zur Rückkehr der Schutzsensibilität, der aktiven Beweglichkeit im Ellbogengelenk und der aktiven Fingerbeugung, kann man im Falle einer kompletten oder einer unteren Plexuslähmung durch Arthrodese des Handgelenkes und einer Fixierung des Daumens in Oppositionsstellung ein befriedigendes Ergebnis erreichen.

Fehlende Sensibilität bei teilweise zurückgekehrter Motorik gibt die Indikation zur sensiblen Ersatzoperation. Wenn beispielsweise das Ulnarisgebiet intakt geblieben ist, kann man einen neurovaskulären Inselappen in Erwägung ziehen, um im Medianusgebiet Sensibilität zu erhalten. Eine andere Möglichkeit zumindest Schutzsensibilität zu erreichen, besteht in einem Nerven-transfer von den Nn. intercostobrachiales zum N. medianus.

Nach Teilschädigungen vom peripheren Typ (Läsionen im Bereich der Pars infraclavicularis) mit mehr oder weniger ausgehnter Restfunktion bzw. Regeneration, kann man auf die klassischen motorischen Ersatzoperationen zurückgreifen. Auch in diesen Fällen könnte sich ein Nerven-transfer insbesondere auf den Nervus musculo-

cutaneus zur Wiederherstellung der Bizepsfunktion bewähren.

#### Hinweise zur operativen Technik

Zur Freilegung des Plexus brachialis wurden verschiedene Hautschnitte angegeben, je nachdem ob man den oberen oder den unteren Anteil des Plexus brachialis darstellen will. Man muß sich vor Augen halten, daß die Präparation sehr schwierig sein kann und daß man daher einen sehr weiten Zugang benützen muß. Die im Schrifttum angegebenen Inzisionen sind unserer Meinung nach in der Mehrzahl zu kurz. Folgende Schnittführung hat sich bewährt:

Die Inzision beginnt hoch oben am Hals an der Hinterseite des Musculus sterno-cleido-mastoideus und folgt diesem Muskel bis zu seinem Ansatz an der Clavicula. Dort biegt der Schnitt nach lateral und folgt dem Verlauf des Schlüsselbeines. Im distalen Anteil der Clavicula wendet die Inzision wieder nach unten und überquert den Musculus pectoralis major. Im weiteren Verlauf führt die Inzision wieder nach lateral, um zickzack-förmig auf den Oberarm überzutreten. Diese Schnittführung kann je nach dem gewünschten Zweck, ganz oder teilweise ausgeführt werden. Die Inzision kann jederzeit erweitert werden. Die durch den Zickzack-Schnitt gebildeten Hautlappen werden von ihrer Unterlage abpräpariert, gehoben und umgeschlagen. Die das Operationsgebiet durchquerende Vena jugularis externa wird aufgesucht und oberhalb bzw. unterhalb des Operationsgebietes ligiert. Es folgt nun die Darstellung des Musculus scalenus anterior, indem die Halsfaszie gespalten und das lockere Binde- bzw. Fettgewebe der Fossa supraclavicularis auseinandergedrängt wird. Zwischen Musculus scalenus anterior und Musculus scalenus medius stößt man auf die Primärstämme des Plexus brachialis. Die weitere Präparation in Richtung auf die Querfortsätze legt die einzelnen Wurzeln frei. Die Wurzeln liegen zwischen dem Tuberculum anterius und posterius des Querfortsatzes im Sulcus nervi spinalis. In Höhe der Wurzel C 7 steigt die Arteria vertebralis auf. Man findet sie vor den Wurzeln. Zwischen der Wurzel C 7 und C 8 befindet sich die Arteria cervicalis profunda und zwischen der Wurzel C 8 und Th 1 die Arteria intercostalis suprema. Die kaudalen Wurzeln des Plexus brachialis verlaufen zwischen Thoraxwand und

Pleurakuppe. Bei Vorliegen einer *Läsion des Plexus brachialis oberhalb des Schlüsselbeines (I, II, III)* werden zuerst die Wurzeln aufgesucht: Werden an den entsprechenden Austrittsstellen *keine Wurzeln* angetroffen, liegt ein *Wurzelausriß* vor (I, I + II). In diesem Falle besteht die Indikation zur Heranführung zusätzlicher Nervenfasern durch Nerventransfer. Als Spendernerven kommen der Nervus accessorius und die kranialen Nervi intercostales in Frage. Tsuyama et al. (1968) erzielten eine gute Funktionsrückkehr in 4 von 5 Fällen nach Anastomose zwischen Nervus intercostalis und Nervus musculocutaneus.

In einem eigenen Fall kam es zu einer nützlichen Regeneration bei Ausriß der oberen Wurzeln durch Herstellung einer Verbindung zwischen dem Nervus intercostalis II und dem Nervus musculocutaneus, sowie der Nervi intercostales III und IV und dem Nervus radialis. Die Interkostalnerven wurden relativ weit proximal an der seitlichen Thoraxwand aufgesucht und durchtrennt. Ihre proximalen Stümpfe wurden durch Nerventransplantate (Nervus suralis) mit den distalen Stümpfen der genannten Empfänger-nerven verbunden.

Auch Kotany et al. (1971) empfehlen den Nerventransfer. Sie schlagen vor, den Nervus accessorius mit dem Nervus musculocutaneus zu verbinden und die Nervi intercostales III, IV, V und VI auf den distalen Stumpf des Nervus ulnaris zu verpflanzen. Seddon (1963) erreichte eine gute Beweglichkeit des Unterarmes durch Verpflanzung der Nervi intercostales III und IV auf den Nervus musculocutaneus unter Verwendung eines Anteiles des Nervus ulnaris als Nerventransplantat.

Werden dagegen *Wurzeln* gefunden, verfolgt man sie nach peripher, bis entweder die Wurzel frei endet und somit ein *Wurzelabriß* (II) nachgewiesen wird, oder die Wurzel in narbiges Gewebe eintritt.

In beiden Fällen setzen wir die Operation durch Aufsuchen der peripheren Anteile des Plexus brachialis im Gesunden, in der Regel in der Fossa infraclavicularis, fort. Von dort aus wird in Richtung auf die Läsion nach zentral präpariert.

Eine Durchtrennung des Schlüsselbeines erweitert den Überblick und erleichtert die Operation. Die Osteotomie des Schlüsselbeines ist aber nicht unbedingt notwendig. Durch An-

schlingen des Schlüsselbeines mit Zug nach oben oder nach unten, je nach Bedarf, kann man sich ausreichenden Überblick verschaffen. Die Osteotomie des Schlüsselbeines ist mit einem gewissen Prozentsatz an Heilungsstörungen belastet.

Durch wechselweise Präparation von zentral und von peripher arbeitet man sich an die Läsion heran. Enden die Stümpfe in Narbengewebe, so ist der Nachweis einer *Kontinuitätsunterbrechung* erbracht (R). Da proximale und distale Stümpfe vorhanden sind, besteht die Möglichkeit der Wiederherstellung der Kontinuität. In der Mehrzahl der Fälle handelt es sich um lange Defekte. Eine End- zu End-Vereinigung der Stümpfe gelingt nur ausnahmsweise und unter beträchtlicher Spannung. In der überwiegenden Mehrzahl der Fälle ist daher eine Nerven-plantation angezeigt. Eine völlige Präparation der meist ausgedehnten und schwer zugänglichen Narbenplatte ist unter diesen Umständen nicht notwendig. Die proximalen und distalen Stümpfe werden zentral bzw. peripher der Narbenplatte angefrischt und durch Nerven-transplantate miteinander verbunden. Die einzelnen Anteile des Plexus werden aus zahlreichen kleinen, im allgemeinen gleich großen Faszikeln aufgebaut. Eine faszikuläre Präparation wie im distalen Abschnitt der peripheren Nerven ist hier nicht möglich. Die Verbindung zwischen Transplantaten und Stümpfen wird durch epineurale Naht erreicht. Bei längeren Defekten und Durchtrennung aller Plexusanteile benötigt man viele Transplantate. Trotz Heranziehung mehrerer Spendernerven (Nervus suralis bds., Nervus cutaneus antebrachii bds. etc.) stehen nicht immer genügend autologe Nerven-transplantate zur Verfügung.

Relativ häufig trifft man eine *Kombination von Wurzelausriß und Wurzelabriß an (II/I)*. In diesem Falle kann nur ein Teil des Plexus brachialis in seiner Kontinuität wiederhergestellt werden. Bei Vorliegen *einer Wurzel* (in der Regel C 5) verbinden wir diese mit dem Fasciculus lateralis der Pars infraclavicularis des Plexus brachialis mit dem Ziel, Nervenfasern in den Nervus musculocutaneus und den Nervus medianus zu bringen. Liegen *2 Wurzelstümpfe* vor, kann man den einen mit dem lateralen Faszikel in der geschil-derten Weise, den zweiten mit dem dorsalen Faszikel verbinden, um auch im Nervus radialis eine Neurotisation zu erreichen. Konnten *3 Wurzelstümpfe* dargestellt werden, verbindet

Name	Alter	Ursache	Zeit in Mo.	Operation	Dist. N. operiert	Komplikation	Motorik						Bemerkung
							Trophik	Schulderschutzsens.	Ellbogen B. Str.	Handgel. B. Str.	Finger B. Str.		
W.E.	30 V.	19 II (5) 5° R/ I (6-1) 5° R	NT 8cm	- -	+ +	o M3	o	o	o	o	o	Schmerz, Amputation	
D.E.	17 V.	7 II (5) 5° R/ I (6-1) 5° R	NT 8cm	ja -	+ +	o o	M2	o	o	o	o		
K.M.	22 V.	21 II (5) 5° R/ I (6-1) 5° R	NT 16cm	- -	+ +	o o	o	o	o	o	o		
L.J.	20 V.	21 II (5) 5° R/ I (6-1) 5° R	NT 12cm x2	- -	• • • •	•	• • • •	•	• • • •	•	•	zu kurze Beobachtungszeit	
St.L.	6 V.	9 II (6) 5° R/ I (5,7-1) 5° R	NN	- -	+ +	o M3	o	o	o	o	o		
F.J.	26 V.	12 II (5,6) 5° R/ I (7-1) 5° R	NN (F. d) NT (F. l)	- -	+ +	o M3	o	o	o	o	o		
K.H.	24 V.	18 II (5,6) 5° R/ I (7-1) 5° R	NT 16cm x2	- -	+ +	o o	o	o	o	o	o		
S.E.	28 Sturz	3 II (5,6) 5° R/ I (7-1) 5° R	NT 8, 13cm	- -	+ +	o M4	o	A	o	M4	o		
P.C.	28 V.	7 II (5,6) 5° R/ I (7-1) 5° R	NT 14, 15cm	- -	+ +	o M4	M3	A	o	o	o		
L.H.	17 V.	8 II (5,6,7) 5° R/ I (8,1) 5° R	NT 12cm	- -	+ +	• •	•	• • • •	•	• • • •	•	zu kurze Beobachtungszeit	
P.U.	28 V.	14 II (5,7,8) 5° R/ I (6,1) 5° R	NT 11, 13cm	- Haem.	o o o o	o	o	o	o	o	o		
Wurzelläsion und Kompression													
H.A.	55 V.	4 II (5,6) 5° R II (7-1) 4° T	NT 6,5cm NL	- Haem.	• • • •	•	• • • •	•	• • • •	•	•	zu kurze Beobachtungszeit	

Tabelle 1. Komplette Plexusläsionen. Kombination Wurzelabriß/Wurzelausriß (II/I). Zeichenerklärung siehe Legende bei Tabelle 4.

man den obersten mit dem Fasciculus dorsalis, die beiden kaudalen mit dem Fasciculus lateralis. Auf die Wiederherstellung der Kontinuität zum Nervus ulnaris wird unter den genannten Umständen verzichtet. Dementsprechend kann dieser Nerv in seiner ganzen Länge entnommen und als Transplantat verwendet werden. Handelt es sich um eine Läsion des Plexus brachialis bei *erhaltener Kontinuität*, gelingt es, die einzelnen Anteile des Plexus brachialis aus dem Narbengewebe im Verletzungsgebiet freizupräparieren. Dies wird durch wechselweises Vorpräparieren von proximal und distal erleichtert. Alle das Nervengewebe komprimierenden Formationen werden beseitigt (Knochenfragmente, Narbenstränge). Nach Beendigung der *äußeren Neurolyse* wird das *Epineurium* der einzelnen

Plexusanteile in Längsrichtung gespalten und nach beiden Seiten abpräpariert. Das Epineurium ist häufig fibrös verändert und zirkulär geschrumpft. Man kann unter diesen Umständen nach der Spaltung des Epineuriums deutlich die Druckentlastung durch Vorquellen des faszikulären Gewebes erkennen. Durch vorsichtige *intraneurale Neurolyse*, für die die mikrochirurgische Technik eine wesentliche Voraussetzung darstellt, wird alles fibrotische Gewebe entfernt und eine Entlastung der Faszikel erreicht. Wenn eine Zerstörung des perineuralen Gewebes vorliegt (4°), können die einzelnen Faszikel im fibrösen Gewebe nicht mehr identifiziert werden. Wird das Kontinuitätsfibrom nur von einzelnen Axonen durchquert, empfiehlt sich die Resektion des so veränderten Anteiles mit Wiederher-

Name	Alter	Ursache	Zeit in Mo.	Operation	Dist. N. operiert	Komplikation	Trophik	Schutzsens. Schulter	Motorik			Bemerkung				
									Ellbogen B. Str.	Handgel. B. Str.	Finger B. Str.					
S.F.	3	Sturz	7	III (s, im, i) 5° R	NT 9, 10	i-l, s-d	-	-	+	+	○	M4 ○	M4 M1 M2 M2			
R.L.	2	Sturz	9	III (s, im, i) 5° R	NN		-	-	+	+	○	M3 ○	M3 ○	M3 ○		
Periphere Läsion + Kompression																
D.M.	26 V.		24	IV (m, l, d) 4° K	NL NT 3 cm		-	-	+	+	○	○	M1 ○	○	○	
Kompression																
D.E.	28 V.		28	III (s, im, i) 3°-4° K 2, 3	NL		-	-	○	○	○	M1 ○	○	○	○	
G.F.	51	Druck	1	IV (l, m, d) 3°-4° K 2, 3	NL		-	-	+	+		M3 M3 M3 M3 M3 M3	M3 M3 M3 M3		Claviculafraktur	
L.F.	27 V.		6	III (s, im, i) + IV (m, l, d) 3°-4° TK 3	NL		-	-	+	+		M3 M2 M3 M2 M2 M2	M2 M2 M2 M2		Humerusfraktur	
P.W.	24 V.		9	III (s, m, i) 3°-4° K 2, 3	NL		-	-	+	+	○	M4 M2 M3 M3 M3	○			
S.F.	10 V.		3	III (s, m, i) 3°-4° T, K 2, 3	NL		-	-	+	+		M2 M4 ○	M3 M3 M2 M2			
V.R.	23 V.		44	III (s, m, i) + IV (m, l, d) 3°-4° TK 3	NL		-	-	+	+	○	M1 M2 ○	○	M2 ○		Humerusfraktur

Tabelle 2. Komplette Läsion. Periphere Läsion. Zeichenerklärung siehe Legende bei Tabelle 4.

stellung der Kontinuität durch Nerventransplantation. Da zwischen den einzelnen Schweregraden Übergänge vorkommen, muß man sich den Entschluß zur Resektion gründlich überlegen. Die bessere Sicht durch Heranziehung des Operationsmikroskopes und die Untersuchung der Leitfähigkeit durch intraoperative Stimulation erleichtern die Entscheidung.

Eine Verletzung im Bereich der *Pars infraclavicularis* (IV) wird nach den für periphere Nerven allgemein gültigen Regeln operiert (Millesi, Ganglberger, Berger 1966, 1967, Millesi, Meissl, Berger 1972). Bei Teilläsionen oder teilweiser Funktionsrückkehr aber fehlender Sensibilität im Bereich der Finger kann eine *Neurotisation des Medianusgebietes* mit sensiblen Nervenfasern auf folgende Weise versucht werden: Der Nervus medianus wird im Bereich seiner

Endverzweigung dargestellt. Die aus den Fingernerven zum Daumen und zum Zeigefinger stammenden Faszikel werden innerhalb des Nervus medianus durch faszikuläre Präparation soweit als möglich nach proximal verfolgt. Dies gelingt bis ins proximale Drittel des Unterarmes. Im Bereich der hinteren Achselfalte werden die Nervi intercostobrachiales aufgesucht. Sie stammen zum größten Teil aus Th 2 und bleiben bei einer Plexusverletzung verschont. Mit Hilfe langer Nerventransplantate (Nervus suralis) wird eine Verbindung zwischen den Nervi intercostobrachiales und den sensiblen Faszikeln für Daumen und Zeigefinger innerhalb des Nervus medianus hergestellt.

Hinsichtlich der Technik der verschiedenen *muskulären Ersatzoperationen* und der gelenkversteifenden Eingriffe sei auf das einschlägige Schrifttum verwiesen.

Name	Alter	Ursache	Zeit in Mo.	Operation	Dist. N. operiert	Komplikation	Trophik	Schutzsens.	Schulter	Motorik			Bemerkung				
										Ellbogen B. Str.	Handgel. B. Str.	Finger B. Str.					
W.G.	26	Stich	6	II (5) 5° O	NT 2cm	-	-	/	/	M5	/	/	/	/	/		
B.F.	29	V.	10	II (5, 6) 3° T II (7, 8) 5° R	NL NT 3 x 2,5 cm	-	-	+	+	M4	M3	M3	o	o	o	o	Humerusfraktur
				III (s, im, i) + IV (l, m, d) 3° T	NL												
F.P.	18	V.	10	I (5, 6, 7) 5° R	NTF IC 2, 3, 4	-	-	/	/	o	M4	M2	/	M3	/	M3	
F.E.	20	V.	7	II (5, 6) 5° R	NT 11, 14cm	-	-	/	/	o	M3	o	/	o	/	o	
R.P.	22	Schuß	8	II (5) 5° O	NT 7, 14cm	-	-	/	/	o	o	/	/	/	/	/	
S.H.	21	V.	11	II (5, 6) 5° R	NT 12, 16cm	-	-	/	/	o	/	o	/	o	/	o	
M.F.	32	V.	12	II (5) 5° R/ (6) 4° R	NT 4cm NL	-	-	/	+	M2	M3	o	/	o	/	o	
P.G.	17	V.	5	II (5, 6) 5° R/ I (7) 5° R/ II (8, 1) 3° T	NT 5, 6 x 5 cm NL	-	-	+	+	M2	M4	M3	(M4)	M2	(M4)	M2	
G.J.	59	V.	3	II (5, 6) 4° T/ (7-1) 3° T	NL	-	-	+	+	M5	M5	M5	M5	M5	M5	M5	Luxatio humeri
P.J.	22	V.	6	II (5, 6, 7) 4° T	NL	-	-	+	+	M3	M4	M4	M4	M4	M3	M3	
W.R.	34	V.	2	II (5, 6, 7) 3°-4° T	NL	-	-	+	+	M2	M4	M3	/	/	/	/	
K.N.	24	V.	3	II (5, 6, 7) 3°-4° T	NL	-	-	+	+	M3	M3	M4	/	/	/	/	

Tabelle 3. Partielle Läsionen. Zeichenerklärung siehe Legende bei Tabelle 4.

### Ergebnisse

Die Ergebnisse der operativen Behandlung von Verletzungen des Plexus brachialis wurden in den folgenden Tabellen zusammengestellt. Es ist dabei zu beachten, daß der vorgeschlagene Behandlungsplan im Rahmen der Versorgung dieser Patienten entwickelt wurde und demnach noch nicht bei allen Fällen in gleicher Konsequenz angewendet wurde. Insgesamt wurden in den letzten Jahren 44 Patienten operiert. Bei 11 Fällen (Tabelle 1) lag eine komplette Plexuslähmung mit Kombination von Ausriß und Abriß der Wurzeln vor. Bei 10 Patienten wurde eine Nerventransplantation, bei

einem Patienten eine Nervennaht ausgeführt. Bei einem Fall läßt die kurze Beobachtungszeit eine Beurteilung nicht zu. Von den 10 verbliebenen Fällen zeigen 9 eine deutliche Besserung der Trophik und eine Rückkehr der Schutzsensibilität. Bei 6 Patienten kehrte eine deutlich faßbare motorische Funktion zurück, 5mal in Form einer nützlichen motorischen Funktion, und zwar einer Beugung des Ellbogengelenkes. Bei einer Patientin kehrte auch die Fingerbeugung zurück. In einem Fall mußte wegen starker Schmerzen schließlich doch eine Amputation durchgeführt werden. Der einzige völlige Mißerfolg war auf die Entwick-

Name	Alter	Ursache	Zeit in Mo.	Operation	Dist. N. operiert	Komplikation	Trophik	Schutzsens.	Schulter	Motorik					Bemerkung	
										Ellbogen B. Str.	Handgel. B. Str.	Finger B. Str.	Bemerkung	Bemerkung		Bemerkung
B.E.	20 V.	7	IV (d) 3°-4° T	NL	-	-	+	+	M3	M3	/	/	/	/		
Z.J.	31 V.	12	III (s, im, l) 4° T	NL	-	-	•	•	•	•	•	A	•	•	•	zu kurze Beobachtungszeit
P.H.	35 V.	5	III (s, im) 2°-3° T/ III (i) 3° T	NL	-	-	•	•	•	•	•	•	•	•	•	Luxatio humeri, zu kurze Beobachtungszeit
B.A.	4 V.	8	IV (d) 5° R III (s, im, i) 3° T	NT 4, 7cm	-	-	+	+	M4	M3	○	M3	M3	M3	M2	Oberarmfraktur
M.J.	22 V.	3	IV (l, d) 5° O	NN	-	-	+	+	/	M3	M2	/	M2	/	M2	
H.P.	22 V.	8	IV (d) 5° K	NT 6cm	-	-	+	+	M4	/	M3	/	M3	/	M3	Oberarmfraktur
E.A.	17 V.	5	IV (l, d) 4° T	NT 4, 10, 13cm	-	-	+	+	○	○	○	M1	M1	/	M3	Oberarmfraktur

- V = Verkehrsunfall / = Funktion nicht gestört oder nicht im Zusammenhang mit der Verletzung
- NT = Nerventransplantation
- NN = Nervennaht M1-M5 = Kraftskala der motorischen Funktion
- NL = Neurolyse A = Arthrodesse
- NTF = Nerventransfer IC = Interkostalnerv
- + = gebessert B = Beugung
- = keine Regeneration Str. = Streckung
- = zu kurze Beobachtungszeit

Tabelle 4. Partielle Läsionen.

lung eines Hämatoms mit Wunddehiszenz und Infektion zurückzuführen (Tabelle 1). Bei zwei weiteren Patienten bestand eine Läsion mit Unterbrechung der Kontinuität im Bereich der Primärstämme. Bei beiden Fällen führte die Wiederherstellung der Kontinuität einmal durch Nerventransplantation, einmal durch Nervennaht zu einer teilweisen Funktionsrückkehr (Tabelle 2). Bei sechs Patienten bestand eine Läsion im Bereich der Primärstämme bzw. der Faszikel ohne Unterbrechung der Kontinuität mit kompletter Lähmung. 4mal führte die Neurolyse zur Rückkehr einer nützlichen Funktion. Die beiden restlichen Fälle wurden mehr als 2 Jahre nach der ursprünglichen Verletzung operiert, so daß sich die allfällige Regeneration im Bereich der Ner-

ven auf die atrophische Muskulatur nicht mehr genügend auswirken konnte (Tabelle 2). Die Gruppe partielle Nervenlähmung mit Beteiligung der Wurzeln umfaßt zwölf Patienten. Je nach der Situation wurde lediglich eine Neurolyse ausgeführt oder die Neurolyse mit einer Nerventransplantation kombiniert. Einmal wurde bei vorliegendem Wurzelaustritt ein Nerventransfer ausgeführt. Bei 10 Patienten kam es zu einer teilweisen Funktionsrückkehr (Tabelle 3). Bei sieben Patienten bestand eine partielle Plexuslähmung, hervorgerufen durch Läsionen im Bereich der Primärstämme bzw. im Bereich der Faszikel. Bei vier Patienten erfolgte eine nützliche Funktionsrückkehr, zwei Patienten können noch nicht beurteilt werden (Tabelle 4).

Bei vier weiteren Patienten, die in den Tabellen nicht enthalten sind, wurden durch Muskelverpflanzungen Verbesserungen angestrebt, bzw. durch eine sensible Ersatzoperation das Hautgefühl verbessert.

Vom objektiven Standpunkt betrachtet, befriedigen die Behandlungsergebnisse keineswegs. Gemessen an der normalen Funktion blieb der Funktionsgewinn in bescheidenen Grenzen. Für einen Menschen, der durch eine Lähmung des Plexus brachialis einen Arm überhaupt nicht mehr gebrauchen kann, bedeutet allerdings auch ein geringer Funktionsgewinn sehr viel. Die erzielten Resultate erwecken die Hoffnung, daß bei konsequenter Anwendung der geschilderten Behandlungstaktik eine wesentliche Ver-

besserung erzielbar ist. Dies kann allerdings nur dann erreicht werden, wenn die notwendigen räumlichen und personellen Voraussetzungen geschaffen werden, um alle Patienten mit Plexuslähmungen von Anfang an ohne Zeitverlust in das Behandlungsprogramm einzubauen. Der Zeitfaktor spielt eine große Rolle. Alle Maßnahmen am Plexus brachialis, seien es Nervennaht, Nerventransplantation oder Nerventransfer haben nur dann eine reelle Chance, wenn sie innerhalb von einigen Monaten nach der Verletzung ausgeführt werden können. Auch die Erfolgsaussichten der indirekten Maßnahmen vermindern sich wegen der sekundären Veränderungen an Muskeln, Sehnen und Gelenken zusehends.

#### **The treatment of injuries to the brachial plexus.**

The different types of injury to the brachial plexus are discussed and a scheme of classification worked out. An integrated plan of treatment is proposed which co-ordinates the various treatment possibilities with each other, in the light of experiences in 44 cases.

#### **Le traitement des lésions du plexus brachialpréposition - d'une thérapie intégrée**

Les différentes formes de plaies du plexus brachial sont décrites, et un schéma de leur classification est exposé. D'après les données obtenues à partir de 44 cas, les auteurs préconisent pour les différentes phases un plan de traitement intégré, qui détermine les divers étapes des possibilités thérapeutiques.

#### **Literatur**

1. Barnes, R.: Traction injuries of the brachial plexus in adults. *J. Bone Jt. Surg.* 31 (1949), 10-16.
2. Bateman, J. E.: Trauma to nerves in limbs. W. B. Saunders, Philadelphia 1962.
3. Böhrer, J.: Die Behandlung der oberen Plexuslähmung. *Langenbecks Arch. klin. Chir.* 276 (1953), 664.
4. Bonney, G., R. W. Gilliatt: Sensory nerve conduction after traction lesion of the brachial plexus. *Proc. roy. Soc. Med.* 51 (1958), 365-367.
5. Brooks, D.: Open wounds of the brachial plexus. *J. Bone Jt. Surg.* 31 (1949), 17-33.
6. Clark, J.: Reconstruction of biceps brachii by pectoral muscle transplantation. *Brit. Surg.* 34 (1946), 180-181.
7. Demmer, F.: Drei Verletzungen des Plexus brachialis bei Motorradfahrern. *Wien. med. Wschr.* 12 (1929), 642.
8. Ehalt, W.: Die Plexuslähmungen. *Klin. Med.* 5 (1961), 16.
9. Fiedler, H. H.: Über Ergebnisse der Behandlung von peripheren Nervenverletzungen. *Zbl. Chir.* 1 (1950), 18.
10. Flemming, F.: Zur Therapie der geschlossenen Armplexusläsionen. *Bruns' Beitr. klin. Chir.* 211 (1965), 487.
11. Förster, O.: Die operative Behandlung der Schußverletzungen der peripheren Nerven. *Münch. med. Wschr.* 81 (1934), 1183.
12. Gailland, L. A.: Rappels de corde en „S“ et en

- „8“: causes possibles d'accidents. Bull. mens. Club Alpin Suisse 43 (1967), 121.
13. Hendry, A. M.: The treatment of residual paralysis after brachial plexus injuries. J. Bone Jt. Surg. 31 (1949), 42-49.
  14. Kehrer, E.: Die Armlähmungen bei Neugeborenen. F. Enke, Stuttgart 1934.
  15. Kotani, G. T., Y. Toyoshima, H. Matsuda, T. Suzuki, Y. Ishizaki, H. Iwani, K. Yamano, H. Inoue, T. Moriguchi, S. Ri, K. Asada: The post-operative results of nerve transfer for the brachial plexus injury with root avulsion. Proc. 14th. Ann. Meet. Jap. Soc. Surg. of the Hand, Osaka 1971.
  16. Lange, M.: Die Bedeutung der orthopädischen Ersatzoperation für die Behandlung der irreparablen peripheren Nervenlähmungen. Med. Klin. 57 (1962), 627.
  17. Maurer, G.: In: Kessel, F. K., L. Guttmann, G. Maurer: Therapie peripherer Nervenverletzungen in Neuro-Traumatologie mit Einschluß der Grenzgebiete, Band 2. Urban & Schwarzenberg, München-Berlin-Wien 1971.
  18. Merle d'Aubigne, R.: Chirurgie orthopédique des paralyses, p. 122-139. Masson, Paris 1956.
  19. Merle d'Aubigne, A. Deburge: Etiologie, évolution et pronostic des paralysies traumatiques du plexus brachial. Rev. Chir. orthop. 53 (1967), 23-42.
  20. Millesi, H., J. Ganglberger, A. Berger: Erfahrungen mit der Mikrochirurgie peripherer Nerven. Vortr. 83. Kongr. d. Dtsch. Ges. Chir. 14. 4. 1966.
  21. Millesi, H., J. Ganglberger, A. Berger: Erfahrungen mit der Mikrochirurgie peripherer Nerven. Chir. Plast. Reconstr. 3 (1967), 47-55.
  22. Millesi, H., G. Meissl, A. Berger: The interfascicular nervegrafting of the median and ulnar nerves. J. Bone Jt. Surg. 54 (1972), 727-750.
  23. Pecinka, H.: Die operative Behandlung der traumatischen Lähmungen des Plexus brachialis. Zbl. Chir. 85 (1960), 1678-1682.
  24. Pecinka, H.: Plexusverletzungen, S. 258-260. 2. Tag. Österr. Ges. Unfallchir. 9.-11. 9. 1960.
  25. Rohr, H.: Untersuchungen über die Segmentinnervation des Hals-Schulter-Armgebietes bei cervicalen Wurzelläsionen. Langenbecks Arch. klin. Chir. 301 (1962), 873-879.
  26. Röhlig, H.: Über Verletzungen des Plexus brachialis. Zbl. Chir. 85 (1960), 345-354.
  27. Seddon, H. J.: Three types of nerve injury. Brain 66 (1943), 237.
  28. Seddon, H. J.: Nerve lesions complicating certain closed bone injuries. J. Amer. med. Ass. 135 (1947), 691.
  29. Seddon, H. J.: The use of autogenous grafts for the repair of large gaps in peripheral nerves. Brit. J. Surg. 35 (1947), 151.
  30. Seddon, H. J.: Nerve grafting. J. Bone Jt. Surg. 45 (1963), 447.
  31. Seddon, H. J.: Surgical disorders of the peripheral nerves. Churchill Livingstone, Edinburgh-London 1972.
  32. Schuler, C.: Zur Behandlung der geschlossenen Plexusverletzungen des Plexus brachialis. Schweiz. med. Wschr. 21 (1958), 801.
  33. Sunderland, S.: A classification of peripheral nerve injuries producing loss of function. Brain 74 (1951), 491.
  34. Sunderland, S.: Nerve and nerve injuries. William and Wilkins, Baltimore 1968.
  35. Stevens, J.: Brachial plexus paralysis. In: Codman, E. A. (Ed.): The Shoulder, Boston 1934.
  36. Steindler, A.: The traumatic deformities and disabilities of the upper extremity. C.C. Thomas, Springfield 1946.
  37. Tracy, J. F., E. W. Brannon: Management of brachial-plexus injuries (traction-type). J. Bone Jt. Surg. 40 (1958), 5.
  38. Tsuyama, N., R. Sakaguchi, T. Hara, T. Kondo, S. Kaminuma, M. Ijichi, D. Ryn: Reconstructive surgery in brachial plexus injuries, p. 39-40. Proc. 11th. Ann. Meet. Jap. Soc. of the Hand, Hiroshima 1968.
  39. Weber, E.: Diagnostik und Therapie der Plexusverletzungen im Halsbereich. Langenbecks Arch. klin. Chir. 301 (1962), 881-885.
  40. Wickstrom, J., E. T. Haslam, R. H. Hutchinson: The surgical management of residual deformities of the shoulder following birth injuries of the brachial plexus. J. Bone Jt. Surg. 37 (1955), 27.
  41. Witt, A. N., H. Schader: Plexusverletzungen, ihre Behandlung und Behandlungserfolge. Arch. orthop. Unfall-Chir. 44 (1949), 108.
  42. Yeoman, P. M., H. J. Seddon: Brachial plexus injuries, treatment of the flail arm. J. Bone Jt. Surg. 43 (1961), 493.

Verfasser: Prof. Dr. H. Millesi, Dr. G. Meissl, Dr. H. Katzer,  
I. Chir. Klinik, A 1090 Wien, Alserstraße 4.