

K. G. Krishnan, D. Mucha, Th. Pinzer, G. Schackert

Diagnostik und Behandlung von posttraumatischen Läsionen des Plexus brachialis

TU Dresden
Medizinische Fakultät
Klinik und Poliklinik für Neurochirurgie

Zusammenfassung

Traumatische Plexus brachialis-Läsionen treten häufig bei jungen Männern, in der Regel nach Motorrad- oder Skiunfällen auf. Die Paresen sind bereits während der Phase der intensivmedizinischen Betreuung zu erkennen. Bei offenen Traumata soll die Exploration und Rekonstruktion des Plexus brachialis sofort erfolgen und es soll, in Abhängigkeit von verletzten Strukturen, intraoperativ interdisziplinär vorgegangen werden. Bei geschlossenen Läsionen ist eine möglichst frühe Revision dann erforderlich, wenn keine Zeichen einer klinischen Reinnervation im Zeitraum von 3 Monaten nach dem Unfallhergang vorhanden sind. Verschiedene Methoden zur Rekonstruktion des Plexus brachialis sind möglich. Diese werden im Detail dargestellt. Die Wahl der Rekonstruktionsmethode hängt vom intraope-

rativen Befund ab. Deshalb sollten alle Rekonstruktionsoptionen offen gehalten werden und Gegenstand der Patientenaufklärung sein. Früh- sowie Spätergebnisse zeigen, daß es in mehr als 80% der Fälle möglich ist, eine befriedigende Funktion der oberen Extremitäten wiederherzustellen, besonders wenn die Operation in frühen Phasen der Degeneration stattfindet. Bei Verzögerung oder Nichtvorhandensein einer Nervenregeneration ist es möglich, die nutzbare Funktion des Armes und der Hand durch Ersatzoperationen, wie Sehnen- oder Muskeltransfer, zu erreichen.

Schlüsselwörter: Plexus brachialis, periphere Nerven, Mikroneurochirurgie, Nervennaht, Nerventransfer, Muskelersatzoperation

Einführung

Posttraumatische Läsionen des Plexus brachialis treten häufig bei Männern im jungen oder mittleren Lebensalter auf. In der Regel sind die Paresen durch ein Hochgeschwindigkeits-trauma verursacht (z.B. Motorrad-, Skiunfälle) und häufig von Traumata anderer Körperregionen begleitet. Die Paresen sind bereits in der intensivtherapeutischen Phase der posttraumatischen Behandlung festzustellen (Terzis et al. 1999, 2000; Midha 1997). Die Läsionen werden als obere, erweiterte obere, mittlere, vollständige und periphere Plexusparesse klassifiziert (Alnot 1977; Brunelli 1991, 1992).

Elektromyographische (EMG) Untersuchungen sind relativ sensitiv hinsichtlich der Höhenzuordnung der Läsionen. Mehr als 50% der magnetresonanztomographischen (MRT) Interpretationen zeigen eine Diskrepanz zu intraoperativen Befunden.

In Abhängigkeit von Höhe und Art der Läsion kann der geschädigte Plexus brachialis mit verschiedenen Methoden rekonstruiert werden. Neurolyse und Nerveninterponate werden häufig bei Zerrungen und Rupturen der Plexusnerven genutzt. Bei Wurzelaustrissen sind Nerventransferoperationen indiziert. In diesen Fällen werden die intakten Nerven des ipsilateralen Plexus (intraplexualer) oder Nerven des zervikalen Plexus sowie Intercostalnerve (extraplexualer Nerventransfer) verwendet.

Die Ergebnisse der Plexusrekonstruktion sind von dem Ausmaß des Traumas und Zeitpunkt des Eingriffes abhängig. Die besten Resultate werden durch frühe Exploration und Rekonstruktion erreicht. Nach der initialen Rekonstruktion sind aktive physiotherapeutische Maßnahmen (inkl. Elektrotherapie) unerlässlich. Außerdem sind engmaschige EMG-Kontrollen des Therapieerfolges notwendig, um das weitere Prozedere zu bestimmen.

Ersatzoperationen zur Funktionsrekonstruktion, wie Sehnentransfer, Muskeltransfer etc., sollen dann zum Einsatz kommen, wenn keine deutliche klinische Besserung in 1-1,5 Jahren nach der Erstoperation auftritt. Um die Möglichkeit eines solchen operativen Vorgehens offenzuhalten, bevorzugen wir in unserer Klinik den extraplexualen Nerventransfer statt des intraplexualen, um die funktionell intakten Muskeln der Plexus-Nachbarschaft zu einem späteren Zeitpunkt nutzen zu können.

In diesem Artikel präsentieren wir einen Überblick der Plexus brachialis-Chirurgie sowie einige Ergebnisse unserer Klinik.

Klassifikation

Läsionen des Plexus brachialis manifestieren sich klinisch als (a) obere Plexusläsion, bei der die C5-6-innervierten Muskeln betroffen sind (Mm. deltoideus, supra- et infraspinatus, biceps brachii), (b) erweiterte obere Plexuslä-

sion (C5-7-Wurzeln), bei der man zusätzlich eine N. medianus-Schwäche findet, (c) komplette Plexusparesse (keine Sensibilität sowie Motorik der ganzen betroffenen oberen Extremität) und sehr selten (d) untere Plexusläsion, bei der die C8-Th1-Wurzeln geschädigt sind. Außerdem kann der Schaden eines peripheren Anteils des Plexus brachialis eine Plexusparesse simulieren (periphere, simulierende Plexusparesse) (Alnot 1977; Brunelli 1991, 1992). Vom operativen und prognostischen Gesichtspunkt ist es wichtig, die Wurzelaustrisse von Rupturen der Anteile des Plexus brachialis zu unterscheiden.

Klinische Manifestationen der Armplexus-Läsionen

Die klinischen Merkmale einer Armplexus-Läsion sind in der Regel bereits in der Phase der intensivmedizinischen Betreuung zu beobachten. Nach Stabilisation des Allgemein-

zustandes werden die Paresen im Verlauf der Zeit entweder deutlicher oder rückläufig (wobei sich innerhalb von 2 Monaten der Muskelkraftgrad vom M0 zu mindestens M3 verbessern soll). Das typische Bild einer oberen Armplexus-Lähmung ist die Denervation von mehreren Rotator-Manschetten-Muskeln des Schultergelenkes, M. deltoideus und M. biceps brachii. Bei solchen partiellen Armplexus-Läsionen zeigen Muskelgruppen, die durch den N. medianus und den N. radialis innerviert sind, einen Kraftgrad von M3 – M4+.

Bei der klinischen Untersuchung muss man die denervierten Muskelgruppen identifizieren und auf Zeichen eines Wurzelausrisses oder Reinnervation achten. Einige Beispiele: Scapula alata mit einer intakten M. trapezius-Innervation spricht für einen C5- oder C6- bzw. C7-Wurzelausriss; ein positives Horner-Zeichen (Enophthalmos, Miosis, Ptosis und trockene, nichtschwitzen Gesichtshaut der ipsilateralen Seite der Läsion) legt einen zervikalen oder thorakalen Wurzelausriss mit sympathischer Denervation nahe. Ein positives supraklavikuläres Tinel-Zeichen zeigt, daß die Verbindung zwischen dem involvierten Nerven und dem ZNS intakt ist. Ein Zwerchfelhochstand (inspiratorische und expiratorische Röntgenbilder des Thorax) beweist eine hochgelegene Plexusläsion nahe am Verlauf des N. phrenicus. Außerdem sollten die Schulter- und Armmuskeln im Einzelnen geprüft und die entsprechenden Kraftgrade festgelegt werden. Um den Kraftgrad zu dokumentieren benutzen wir das System der British Medical and Research Council:

M0 – keine Muskelkontraktion

M1 – Muskelkontraktion sichtbar, aber ruft keine Gelenkbewegungen hervor

M2 – Bewegung unter Aufhebung der Schwerkraft

M3 – aktive Bewegung gegen Schwerkraft

M4 – aktive Bewegung gegen Widerstand

M5 – normale Bewegung.

Nicht immer ist es präoperativ möglich, zwischen dem Läsionstyp (Wurzelausriss oder –ruptur) zu differenzieren. Die Zusammenfassung von Anamnese (insbes. der Unfallhergang und Begleitverletzungen), den Ergebnissen einer ausführlichen klinischen Untersuchung und apparativer diagnostischer Maßnahmen (z.B. EMG, NLG, MRT etc.) gibt ein allgemeines Bild der Läsionen und hilft, einen passenden operativen Eingriff zu planen. Trotz dieser Vorbereitungen ist der Chirurg häufig

mit überraschenden intraoperativen Befunden, die mit dem präoperativen Bild nicht korrelieren, konfrontiert. Deshalb soll der Patient über verschiedene Möglichkeiten und Notwendigkeiten der Nervenrekonstruktion (Neurolyse, Nerven-Interponate, Nerventransfer etc.) in Abhängigkeit vom intraoperativen Bild aufgeklärt werden.

Apparative Diagnostik von Plexus brachialis-Läsionen

Wie bereits erwähnt, findet man trotz vorgeschalteter Diagnostik häufig intraoperative Befunde, die mit den präoperativen nicht korrelieren. Elektromyographische Untersuchungen der Muskulatur zu verschiedenen Zeitpunkten bieten ein dynamisches Ergebnis, ob ein Muskel reinnerviert wird oder nicht. Präzise und zielgerichtete EMG-Untersuchungen der paravertebralen Muskeln können auf den Typ der Läsion hinweisen. Mittels Magnetresonanztomographie (MRT) ist es möglich, die verschiedenen morphologischen Komponenten des Plexus brachialis darzustellen.

Elektrophysiologie

Die elektrophysiologischen Untersuchungen, wie Nervenleitgeschwindigkeitsmessung und F-Wellen-Antwort einzelner Nerven des Plexus brachialis, Elektromyographie einzelner Muskeln oder Muskelgruppen, spielen eine wichtige Rolle nicht nur in der Diagnostik der Nervenläsion, sondern auch hinsichtlich des postoperativen Nachweises der Reinnervation (Leffert 1988; Terzis et al. 1976). Zum Beispiel kann das Vorhandensein der gesunden EMG-Signale in den paravertebralen Muskeln der betroffenen Seite mit gleichzeitigem klinischen Bild einer kompletten Armplexuslähmung darauf hindeuten, daß es sich um keinen Wurzelausriss, sondern um eine Nervenruptur außerhalb des Wirbelkanals handelt. Die Spezifität der ENG-Diagnostik bei komplexen Plexuslähmungen ist aufgrund der technischen Durchführung sehr begrenzt und zudem untersucherabhängig (Liberson et al. 1987; McGillicuddy 1991). Das EMG von Zielmuskeln kann den Grad der Nervenläsion nachweisen. Zum Beispiel wird bei persistierender elektromyographischer Spontanaktivität des Zielmuskels in zwei Untersuchungen mit einem Zeitabstand von mindestens einem Monat die Indikation zur operativen Exploration des Nerven gestellt. Außerdem dient die EMG-Untersuchung dem Zweck, die Prognose der Reinnervation nach einer Nervenre-

konstruktion zu erfassen, obwohl letztlich nur das funktionelle Endergebnis zählt.

Magnetresonanztomographie

Die bildgebende Diagnostik des Plexus brachialis ist auf Grund seines komplexen anatomischen Verlaufes schwierig und erfordert gute Kenntnisse der topographischen Anatomie der zerviko-thorakalen Region. Deshalb sollte einer Bildgebung immer der Versuch zur klinischen Lokalisation der Schädigung vorausgehen. Das MRT als Methode der Wahl ermöglicht durch seine hohe Kontrast- und Ortsauflösung die direkte Plexusbeurteilung von der Wirbelsäule bis zu seiner intraaxillären Aufzweigung in die peripheren Nerven (Hayes et al. 1997). Es ist dem CT auf Grund des höheren Weichteilkontrastes und der in Schulterhöhe artefaktfreien Darstellung, insbesondere der retroklavikulären Plexusanteile, deutlich überlegen. Die beste anatomische Abgrenzbarkeit der Trunci und Faszikel ist durch den intrinsischen Kontrast des umgebenden Fettgewebes retroklavikulär und axillär gegeben. Die CT-Myelografie lässt keine Beurteilung des postganglionären Plexus zu und ist heute für diese Fragestellungen weitgehend durch das weniger zeitaufwendige, nicht-invasive MRT bzw. MR-Myelografie ersetzbar (Hems et al. 1999). Es sollte mit einem großen Untersuchungsfeld von der mittleren Halswirbelsäule bis zum kranialen Humerusschaft untersucht werden. Die Scans werden schräg koronar, axial und sagittal anguliert. Angewendet werden vor allem Inversionssequenzen mit Fettsuppression (z.B. STIR, TIRM) und T1-gewichtete Sequenzen. Bei den T1-gewichteten Sequenzen verwendet man Spin-Echo-Sequenzen mit Schichtdicken bis minimal 4 mm bzw. 3D-Gradientenecho-Sequenzen für Dünnschichtscans bis 1 mm als Grundlage für multiplanare Rekonstruktionen. Zur optimalen Darstellung der einzelnen Plexusabschnitte sollte die Angulierung der Scans bzw. der sekundären Rekonstruktionen dem jeweiligen Faserverlauf angepasst werden (Montanari et al. 1996).

Die mit dem MRT gut zu diagnostizierende Pseudomenigozele gilt als wichtiger Hinweis für den Wurzelausriss eines Spinalnerven (Hayes et al. 1997; Hems et al. 1999). Allerdings wird die Anzahl der ausgerissenen Nerven bei einer Sensitivität von 81% unterschätzt. Des weiteren sind Signaländerungen der tiefen posterioren paravertebralen Muskeln ein Indiz für Denervierung und deuten auf

eine Wurzel distortion hin. Postganglionäre Läsionen äußern sich durch Schwellung in T1-gewichteten bzw. Signalerhöhung des Plexus in T2-gewichteten Bildern. Läsionen der Trunci und Faszikel, insbesondere Distorsionen sind jedoch häufig nicht direkt nachweisbar. Die diffizile Beurteilung der Umgebungsstrukturen ist erforderlich. Ödeme, Weichteilhämorrhagien und vor allem deren Lokalisation geben zusätzliche Hinweise auf den Verletzungsmechanismus und die Lokalisation, die so präoperativ weiter eingegrenzt werden kann. Zur Detektion der genannten Veränderungen sollte das MRT im frühen subakuten posttraumatischen Stadium erfolgen. Das MRT des Plexus sollte im Anschluss an das MRT der Halswirbelsäule stattfinden. Damit können spinale Pathologien bzw. die intraspinalen Folgen eines Wurzelausrisses (Ödem, Hämorrhagie) nachgewiesen werden. Zum anderen sollten Spinalnervläsionen z.B. durch einen traumatischen Bandscheibenvorfall ausgeschlossen werden.

Diagnostische Differenzierung der Armplexus-Läsionen

Die Differenzierung der Läsionen des Plexus brachialis kann am besten durch Fallbeispiele dargestellt werden. In unserer Einrichtung benutzen wir das sogenannte „Plexus-Blatt“ um die Ausfälle zu dokumentieren (Abb.1).

Außerdem werden die Ergebnisse auch in einem Schema des Plexus brachialis dargestellt, so daß die Ergebnisse der intraoperativen Stimulation leicht mit präoperativen klinischen Befunden verglichen werden können.

Fall Nr. 1: Obere Plexus brachialis-Läsion

Der Patient in Abb.2a hatte einen Motorradunfall erlitten. Die Muskelfunktionen, welche den C5- und C6-Wurzeln entsprechen (Schulterabduktion, Außenrotation und Ellenbogenflexion) waren ausgefallen. Die Nn. medianus, ulnaris et radialis – innervierten Muskeln zeigten Kraftgrade zwischen M3 und M4. Dreizehn Monate nach dem Unfall und nach Rehabilitation wurde der Patient, bei keiner Verbesserung der Paresen, in unserer Klinik zur operativen Therapie vorgestellt. Die chirurgische Exploration zeigte einen Ausriss der C5- und C6-Wurzeln. Es erfolgte eine Neurolyse aller Faszikel des Plexus brachialis und ein Nerven transfer vom N. accessorius spinalis zum Truncus superior (Abb.2b). Außerdem wurde ein Sehnen transfer von der Tendo musculi pectoralis major zur T. m. bicipitis brachii durch ein freies Fascia lata – Interponat in der gleichen Sitzung durchgeführt, da das Zeitintervall zwischen Unfall und Rekonstruktion des Plexus brachialis zu groß war, um eine erfolgreiche Regeneration nach Nervenrekonstruktion erwarten zu können (Abb.2c).

Vier Monate nach der Operation zeigte sich eine nutzbare Beugung des Ellenbogens (durch die Muskellersatzoperation). Aktive Physiotherapie wurde weiter fortgeführt.

Fall Nr. 2: Komplette Plexus brachialis-Lähmung

Dieser Patient erlitt einen kompletten Ausfall des Plexus brachialis nach einem Motorradunfall (Abb.3a links). Eine dislozierte Schlüsselbein-Fraktur sowie nichtdislozierte Querfrakturen des Processus transversus von HWK 4-6 wurden nach dem Unfall festgestellt. Der Arm was anästhetisch und motorisch schlaff, außerdem bestanden M3-Paresen der Mm. pectoralis major und latissimus dorsi (Abb.3a rechts). Vier Monate nach dem Unfall wurde die Exploration des Plexus brachialis durchgeführt, wobei wir ein Narbenkonglomerat von allen Faszikeln des Plexus brachialis mit komprimierenden freien Knochenfragmenten (Impingement) im subklavikulären Bereich fanden. Die Exzision des Konglomerates war erforderlich. Die Nervenwurzeln waren intakt. Die Neuromata der involvierten Nerven wurden reseziert und die Plexuskomponenten mittels N. suralis – Interponaten wiederhergestellt (Abb.3b). Bei einer solchen komplexen Rekonstruktion kann die Rückkehr nützlicher Funktionen mindestens 1 bis 2 Jahre dauern. Eine der wichtigsten Voraussetzungen für die

Regeneration hierbei ist die frühzeitige Rekonstruktion der Nerven. Außerdem muss mit mehreren Ersatzoperationen gerechnet werden.

Fall Nr.3: Erweiterte obere Plexus brachialis-Lähmung, Frühvorstellung

Dieser Patient erlitt einen kompletten Ausfall des Plexus brachialis nach einem Autounfall (Abb. 4 links). Drei Monate nach dem Unfall wurde die Exploration des Plexus brachialis durchgeführt. Diese zeigte C5- und C6-Wurzelausrisse (Avulsion) und eine Zerrung des Fasciculus posterior mit Neurombildung des N. axillaris. Die Rekonstruktion erfolgte durch Nerventransfer vom N. accessorius zu N. suprascapularis und von Nn. intercostales (III et IV) zu N. musculocutaneus. Zusätzlich wurde ein Neurom-in-Kontinuität des N. axillaris exzidiert und der Nervendefekt mittels N. suralis-Interponat rekonstruiert. Bereits 6 Monate nach der Operation hatte der Patient eine nützliche Funktionen des Armes unter aktiver Physiotherapie zurückerhalten (Abb. 4 rechts) und seine Arbeit als KFZ-Fahrer wieder aufgenommen. Eine frühe Exploration ermöglicht die Feststellung der Nervenläsionen und die Durchführung einer passenden Nervenrekonstruktion.

Operative Behandlung der Läsionen des Plexus brachialis

Die Indikation für die Exploration des Plexus brachialis ist in Abhängigkeit von der Dynamik der Reinnervationsentwicklung zu stellen. Bei geschlossenen Verletzungen wird im Verlauf von 2-3 Monaten nach dem Unfall deutlich, ob die Paresen persistieren oder eine initiale Entwicklung zum Stillstand kommt (Benassy et al. 1974; Ferenz 1988). Im letzten Fall, bei dem der Patient eine initiale Reinnervationsentwicklung aufwies, kann die Wartezeit maximal bis zu 6 Monate unter aktiver Physiotherapie und engmaschigen Kontrolluntersuchungen verlängert werden. Abbildung 5 zeigt die Zeitplanung, die in unserer Klinik propagiert wird.

Wie bereits erwähnt, soll sich der Chirurg bei der Exploration eines geschädigten Plexus einige Optionen für die Rekonstruktion offen halten (McGillicuddy 1991; Terzis et al. 1976, 1989, 1997). Die am häufigsten genutzten Nervenrekonstruktionsmethoden sind folgende:

1. Neurolyse (extern und faszikulär)
2. Intraplexuale Nerven-naht (mit und ohne Nerveninterponat)

3. Nerventransfer (von intakten zu geschädigten Nerven: extraplexualer und intraplexualer Transfer)

Die Entscheidung, welche dieser Rekonstruktionsoptionen benutzt werden kann ist individuell und vom intraoperativen Befund abhängig. Die Rekonstruktionsmöglichkeiten werden nun im Einzelnen diskutiert.

Technik der Exploration des Armplexus

Operationen am Plexus brachialis werden in Allgemeinanästhesie durchgeführt. In der Regel revidieren wir nur die Anteile des Plexus brachialis, welche Ausfälle zeigen. Zum Beispiel bei klinisch eindeutiger oberer Plexusparese werden die C5-C7 - Wurzeln revidiert, unabhängig von den MRT- und EMG-Befunden. C8 und Th1 werden bei intakter Funktion nicht exploriert. Alle Trunci, Fasciculi und deren Verästelungen werden supra- und infraklavikulär freigelegt und direkt stimuliert, um sie zu identifizieren und mögliche anatomische Varianten feststellen zu können. In besonderen Fällen (z.B. anamnestisch Verletzung im Axillabereich) wird die Präparation dementsprechend erweitert. In Fällen eines kompletten Plexusausfalls werden alle Wurzeln exploriert.

Wir benutzen eine klassische „Zick-zack“-Inzision (Abb.6) und legen zuerst die Trunci im Bereich der lateralen Kante der Mm. scaleni frei. Diese neuralen Strukturen werden nach proximal und distal bis zur Darstellung der Läsion verfolgt.

In seltenen Fällen ist eine Klavikulotomie notwendig, um den subklavikulären Teil des Plexus brachialis freizulegen. Eine Klavikulotomie ist dann erforderlich, wenn nur einige subklavikuläre Nervenanteile verletzt sind und intakte Nervenstrukturen durch eine indirekte Präparation iatrogen verletzt werden könnten. In den meisten Fällen wird die subklavikuläre Freilegung von supra- und infraklavikulär mikrochirurgisch durchgeführt.

Intraoperative direkte Nervenstimulation

Die topographische Anatomie verschiedener Anteile des Plexus brachialis wird durch direkte Nervenstimulation festgestellt. Die freigelegten Nervenanteile werden mit einem bipolaren Nervenstimulationsgerät gereizt (Abb.7). Es ist möglich, eine motorische Antwort mit einer direkten Nervenstimulationsstärke von nur 0,2 mA zu erreichen. In stark vernarbten Nerven ist die Stimulationschwelle auf 1 mA oder mehr erhöht. Wenn eine motorische Ant-

wort durch eine Erhöhung der Stimulationsstärke erreicht wird, spricht man von einer Nervenfibrose oder Läsion-in-Kontinuität (Abb.8). In der Regel erniedrigt sich die Stimulationschwelle nach einer Neurolyse. In diesem Fall wird dann die weitere neuronale Manipulation beendet.

Die elektrische Reizung eines Nerven ruft keine Antwort hervor, wenn der Nerv oder dessen Wurzeln rupturiert sind. Die motorische Antwort auf elektrische Reizung ist nur bis ca. 48 Stunden nach dem Unfallhergang positiv. Nach Ablauf dieser Zeit ist ein rupturiertes distales Nervenende nicht mehr stimulierbar.

Die intraoperative Nervenstimulation im Rahmen der Plexuschirurgie wird nicht nur zur Prüfung der Stimulierbarkeit eines Nerven benutzt, sondern auch zum Identifizieren des Nerven selbst sowie seiner verschiedenen Anteile anhand einer möglichen Zielmuskelaktion. So lässt sich die Identität eines nicht-stimulierbaren Nerven durch seine topographische Beziehung zu seinem stimulierbaren und bereits identifizierten Nachbarn feststellen.

Ziele der Plexus brachialis-Rekonstruktion

Die Wiederherstellung der Ellenbogenbeugefunktion bis M4 oder M4+, so daß der Patient die Hand zum Gesicht ziehen kann, ist die wichtigste Komponente in der Plexus brachialis-Chirurgie. Obwohl einige Autoren von einer Ellenbogenbeugekraft von M5 berichten, ist dies in der Tat sehr selten zu erreichen. Die Wiederherstellung von einer Ellenbogenbeugekraft von M4 oder M4+ ist realistisch. Zur Wiedererlangung der Beugung im Ellenbogen, die funktionell gesehen Vorrang hat, können intakte Nerven oder Muskeln der Plexus-Nachbarschaft für den Transfer verwendet werden (Terzis et al. 1989, 1999, 2000, 2001).

Die Stabilität des Schultergelenkes hat eine wichtige Bedeutung, um den Gewinn der wiederhergestellten Ellenbogenbeugefunktion zu sichern. Dies erreicht man entweder mittels Nerventransfer zum N. suprascapularis und/oder N. axillaris, oder durch Sehnentransfer (z.B. T. mm. teres major et latissimus dorsi), oder, in weit fortgeschrittenen Paresen durch eine Schultergelenk-Arthrorese.

Gemäß ihrer Wichtigkeit ergibt sich für die weiteren motorischen Funktionen folgende Reihenfolge: Handgelenk- und Finger-Flexoren, sowie -Extensoren. Gelegentlich können auch diese während der Erstoperation rekons-

truiert werden. Aber meistens erfordert dies einen Zusatzeingriff zu einem späteren Zeitpunkt.

Methoden der Nervenrekonstruktion bei Plexus brachialis-Läsionen

Neurolyse

Bei einigen Arten der Läsionen-in-Kontinuität, bei denen die Nervenfasern vom Narbengewebe bedrängt werden, ist die Entlastung des intraneuralen Druckes mittels Nervenscheidenschlitzung (externe Neurolyse) oder Faserpräparation (faszikuläre Neurolyse) ausreichend, um eine funktionelle Erholung zu erreichen (Abb.9). Die funktionelle Unversehrtheit eines Nerven wird während der Neurolyse kontinuierlich durch direkte Stimulation überprüft. Eine Plexusläsion bei Patienten unter 50 Jahren, bei denen eine rechtzeitige Neurolyse als einzige Behandlungsmaßnahme erforderlich ist, zeigt die besten Ergebnissen (Besserung der Innervation bis M5) (Abb.10). Nach einer Neurolyse ist eine deutliche Abnahme der Schmerzsymptomatik und Verbesserung der Sensibilität unmittelbar postoperativ feststellbar. Die Muskelkraft jedoch kehrt erst in 2-3 Monaten nach der Operation zurück.

Nerveninterposition

Bei Rupturen von Anteilen des Plexus brachialis und struktureller Unversehrtheit der Wurzeln ist die Überbrückung von Nervendefekten mittels autologer Nerveninterponate die Methode der Wahl. Der am häufigsten benutzte Spendernerv als Kabelinterponat ist der N. suralis (Abb.11). In seltenen, komplexen und herausfordernden Fällen ist die gesamte Länge beider Nn. surales nicht ausreichend, um eine vernünftige Überbrückung zu erreichen. In solchen Fällen wird der N. saphenus oder N. cutaneus antebrachii medialis als zusätzlicher Interponatspender verwendet. Bei langbestehenden Lähmungen der handintrinsic Muskulatur ist der Einsatz des N. ulnaris als vaskularisiertes Kabelinterponat gerechtfertigt, da die feinmotorischen Funktionen der Hand sehr selten zurückkehren.

Das Problem der richtigen Anpassung von sensiblen und motorischen Faszikeln, besonders wenn die innere Nervenmorphologie zerstört ist, ist noch immer ungelöst. Dies ist nur möglich bei einer Operation in Lokalanästhesie (z. B. Bier'sche Blockanästhesie), also wachen Patienten und wenn die Verletzung nicht mehr als 48 Stunden zurückliegt. Plexus brachialis-Explorationen und Rekonstruktionen

sind aber komplexe Eingriffe. Daher ist eine solche Operation in Lokalanästhesie nicht durchführbar. Jedoch ist eine funktionelle Erholung möglich, wenn nur ca. 30-40% der motorischen Faszikel richtig adaptiert werden. Deshalb gilt bis heute die Regel, die innere Nervenmorphologie (z.B. Gefäßverlauf, Verlauf der Faszikelgruppen) als Landmarken zur Anpassung der Kabelinterponate zu nutzen.

Neurotisation

Dies ist eigentlich eine falsche Bezeichnung. Etymologisch gesehen bedeutet ‚Neurotisation‘ die Implantation von einzeln separierten Nervenfaszikeln in einen Muskelbauch, um diesen motorisch zu reinnervieren. Jedoch wird die Bezeichnung gewöhnlich für eine Nervenumleitung (einen Nerventransfer) benutzt. Beim Nerventransfer wird ein intakter Nerv durchtrennt und sein proximales Ende zum distalen Ende eines entwurzelten Nerven anastomosiert (Boulouednineet al. 2001). In Abhängigkeit vom Spendernerv wird der Nerventransfer wie folgt klassifiziert: (a) intraplexualer Nerventransfer (intakte und stimulierbare Nn. pectorales, N. thoracicus longus, N. thoracodorsalis als häufig benutzte Spendernerven) und (b) extraplexualer Nerventransfer (intakte Nerven des Plexus cervicalis oder thorakaler Höhen) (Abb.12).

Spendernerven für Nerventransfer

Der meist gebrauchte Spender ist der N. accessorius spinalis. Dieser wird in fast allen Fällen zur Reinnervierung des N. suprascapularis genutzt. Teile der Ansa cervicalis, N. hypoglossus und andere Nerven im Halsbereich werden seltener als Spender verwendet. Die Nn. intercostales III bis VI sind häufige Spender für den N. musculocutaneus oder N. axillaris, da diese sich in der topographischen Nachbarschaft finden. Die freigelegten Intercostalnerven werden zuerst stimuliert und die motorischen Faszikel separiert. Danach werden sie zum Achselbereich über einen subkutanen Tunnel umgeleitet, um mit den Empfängern anastomosiert zu werden. Üblicherweise sind 2 bis 3 motorische Intercostalnerven zum Transfer ausreichend (2 zum N. musculocutaneus und 3 zum Fasciculus lateralis). Der therapeutische Nutzen bei Verwendung von mehr als 3 Intercostalspendern ist bislang nicht bekannt.

N. thoracodorsalis, N. thoracicus longus und Nn. pectorales medialis et lateralis sind übliche intraplexuale Spendernerven. Wir verzich-

ten auf diese Option aus zwei Gründen: (a) die Möglichkeiten der plexusinnervierten Muskulatur, sich gegenseitig zu kompensieren, ist hierbei ausgeschlossen und (b) es ist wichtig, die intakten Mm. latissimus dorsi sowie teres et pectorales zu erhalten, da diese Muskeln zu einem späteren Zeitpunkt für Sehnen- oder Muskeltransfer eingesetzt werden können. Darüber hinaus unterstützt keine Studie die mögliche Überlegenheit eines intraplexualen Nerventransfers gegenüber dem extraplexualen.

Zusatzverfahren zur Wiederherstellung der Arm- und Handfunktion

Circa 60% aller Patienten, welche sich einer Plexus brachialis-Revision und Rekonstruktion unterzogen haben, benötigen mindestens eine Zusatzoperation zu einem späteren Zeitpunkt, um das funktionelle Ergebnis zu verbessern. In mehreren Fällen ist die bisher erlangte Muskelkraft nach dem Ende einer Nervenregeneration (1-2 Jahre nach der Nervenrekonstruktion) immer noch nicht ausreichend, um eine gewisse Selbständigkeit des Patienten zu erreichen. Häufig findet bei Patienten über 50 Jahre keine funktionell bedeutsame Nervenregeneration mehr statt. In solchen Situationen wird eine Ersatzoperation empfohlen (Terzis et al. 1978, 1978, 1989, 1999; Waters et al. 1999).

Das Prinzip ist die Unterstützung eines nicht funktionierenden Muskels (Muskelgruppe) durch den Transfer eines funktionell intakten Muskels („funktionelle Reanimation“). Dies wird durch Sehnen- oder Muskeltransfer (uni- und bipolar) oder mittels freiem vaskularisiertem Transfer von innervierten Muskeln erreicht. Die Grundvoraussetzung dabei ist, daß der Spendermuskel einen Kraftgrad von mindestens M4 hat. Einige Beispiele sind im Folgenden genannt.

Sehnentransfer (Abb.13) Bei irreparablen Nervenläsionen der oberen Extremität wird eine Verbesserung der Handfunktion durch Sehnentransfer erzielt. Zum Beispiel bei irreparabler und langbestehender N. radialis-Läsion werden einige Beugesehnen zum Daumenabduktor und zu Fingerextensoren umgeleitet. Als Spendersehnen dienen häufig die T. m. flexor carpi ulnaris, T. m. palmaris longus und T. m. flexor digitorum superficialis. Muskeltransposition (Abb.2c)

Ellenbogenflexion und Armabduktion können durch uni- oder bipolaren Muskeltransfer erlangt werden. Einige Beispiele: Bei Pecto-

ralis major zu Biceps brachii-Transfer werden alle Insertionen vom M. pectoralis major abgetrennt, so daß der Muskel nur durch sein Gefäßnervenzweig mit dem Körper verbunden ist. Nun wird der Muskel durch einen Subkutis-Tunnel vom akromioklavikulären zum Bicepssehnenbereich durchgezogen und an diesen Strukturen vernäht. Nach der Operation wird der Arm im Gilchrist-Verband für 3-4 Wochen immobilisiert. Bei Rekonstruktion der Schulterabduktion wird der M. latissimus dorsi in derselben Weise als Muskellappen abgehoben. Dieser wird dann, noch verbunden mit seinem Gefäßnervenzweig, über den M. deltoideus gelegt und mit der Spina scapulae, dem akromioklavikulären Bereich und mit der Deltoideusehne verbunden. Das Schultergelenk wird in 90° abduzierter Position mit einer Salut-Schiene für 3-4 Wochen ruhiggestellt. Nach solchen Operationen

müssen sich die Patienten einer aktiven „Muskel-Umlern-Physiotherapie“ unterziehen.

Freier vaskularisierter und innervierter Muskeltransfer (Abb.14)

Der Spendermuskel wird als eine freie Lappenplastik mit seinem Gefäßnervenzweig abgehoben und vom Spenderbereich getrennt. Im Empfängergebiet wird der Muskel mit der gleichen Spannung, die er in situ hatte, angehängt und danach werden Blutkreislauf und Innervation der Lappenplastik mittels Mikroanastomosen etabliert. Stümpfe von bereits durchtrennten oder intakte motorische Nerven des Empfängergebietes werden benutzt, um den Nerven der Lappenplastik zu innervieren. Häufig verwendete Muskellappen sind M. gracilis, M. latissimus dorsi und seltener M. rectus abdominis sowie M. tensor fasciae latae. Fallabhängig werden solche Autotransplanta-

tionen zur Wiederherstellung der Ellenbogenbeugung, Handgelenk-, sowie Fingerbeugung benutzt und seltener zur Rekonstruktion der Fingerstreckung. Eine dynamische Reanimation der Gesichtsmuskulatur kann häufig mit einem ein- oder zweizeitigen Muskeltransfer erreicht werden.

Literatur beim Verfasser
 Dr. med. Kartik G. Krishnan
 (korrespondierender Autor)
 Dr. med. Thomas Pinzer
 Professor Dr. med. Gabriele Schackert
 Klinik und Poliklinik für Neurochirurgie
 Universitätsklinikum Carl Gustav Carus
 Technische Universität Dresden
 Fetscherstrasse 74, 01307 Dresden
 Dr. med. Dirk Mucha
 Abteilung für Neuroradiologie
 Universitätsklinikum Carl Gustav Carus
 Technische Universität Dresden
 Fetscherstrasse 74, 01307 Dresden

Auswertung von Patienten mit Läsionen des Plexus brachialis

Neurochirurgische Klinik und Poliklinik der Universität Dresden (Direktorin: Prof. Dr. G. Schackert)

Name: [REDACTED] Patienten Nr.: [REDACTED] Untersuchungsdatum: **10.06.01**
 Geburtsdatum: **27.11.1951** Seite: **LINKS** Prä-operative Untersuchung
 Ueberweisende(r) Institution/ Arzt: **Dr. G. [REDACTED]** Post-operative Untersuchung
 Unfalldatum: **12.01.2001** Art des Unfalls: **Autounfall** OPdatum: **14.06.01**

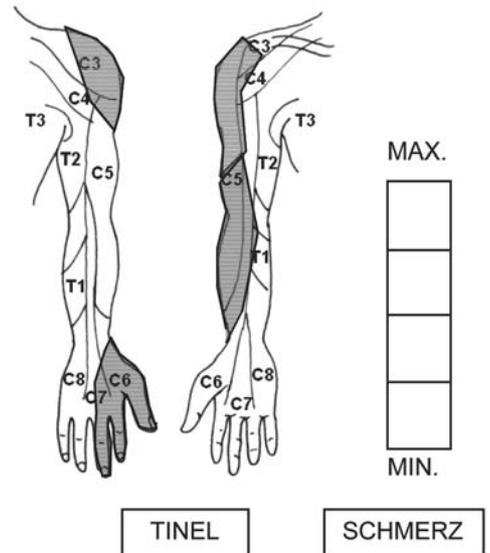
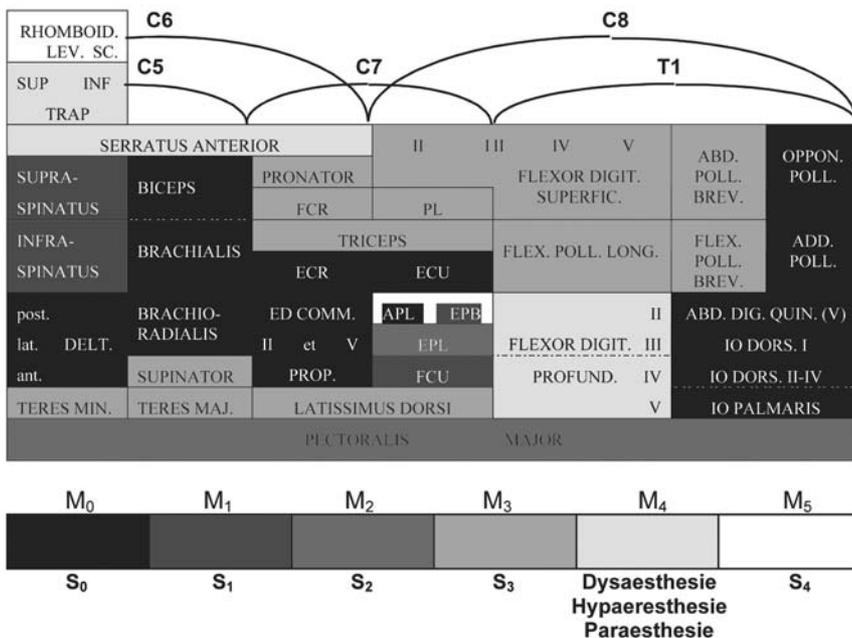


Abb. 1: „Plexus-Blatt“ zur Dokumentation der Ausfälle und des postoperativen Verlaufes. Hier Patient in Abb. 4.



Abb. 2a: Typisches Bild einer oberen Plexus-Lähmung nach Motorradunfall



Abb. 3a: Typisches Bild eines kompletten Ausfalles der durch den Plexus brachialis innervierten Muskulatur

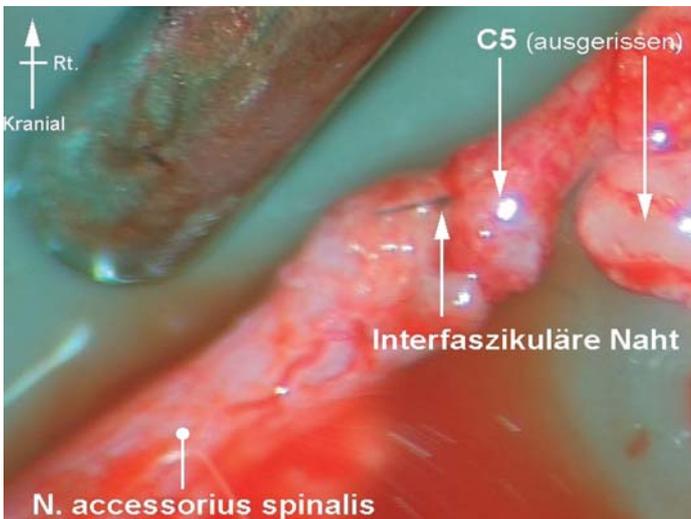


Abb. 2b: Intraoperatives mikrochirurgisches Bild eines Transfers des N. accessorius zum Truncus superior

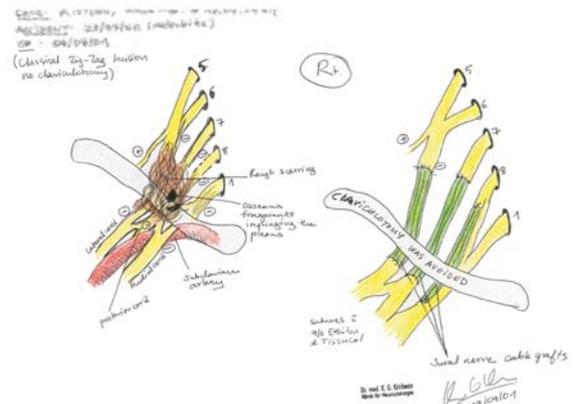


Abb. 3b: Rekonstruktionsschema beim Patienten in Abb. 3a (intraoperativ: komplette Ruptur der Plexus-Trunci)



Abb. 2c: Planung der Ersatzoperation: unipolarer Muskeltransfer (M. pectoralis major zur Bicepssehne)



Abb. 4: Links: Präoperatives Bild einer erweiterten oberen Plexus brachialis-Lähmung nach Autounfall (vgl. Abb. 1) / Rechts oben & unten: Rückkehr der Schulter- und Ellenbeugenfunktionen nach der Operation

Indikationen und Zeitpunkt der Operation



Abb. 5: Zeitmanagement und Indikationsstellung zur Exploration des Plexus brachialis

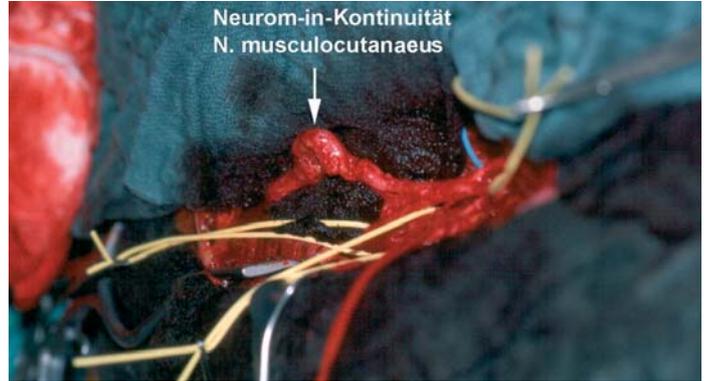


Abb. 8: Intraoperatives Bild eines Neuroms-in-Kontinuität des N. musculocutaneus



Abb. 6: Inzisionen zur Exploration des Plexus brachialis

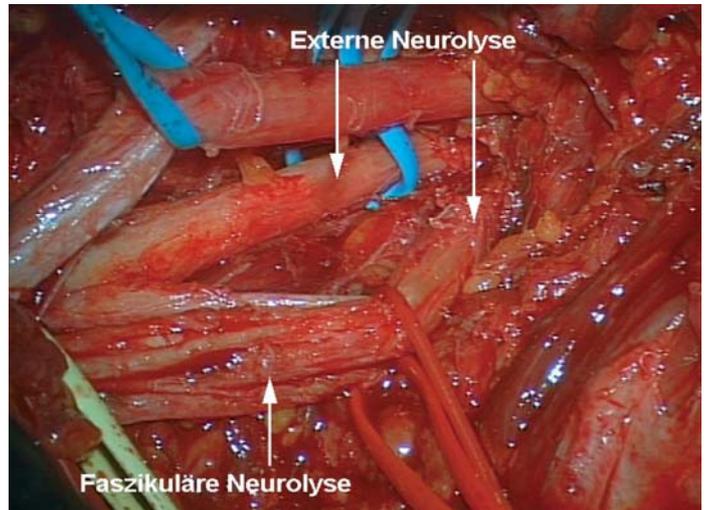


Abb. 9: Beispiel einer faszikulären und einer externen Neurolyse bei hochgradigem Plexusschaden. Abb. 10 – 14 Seite 282.

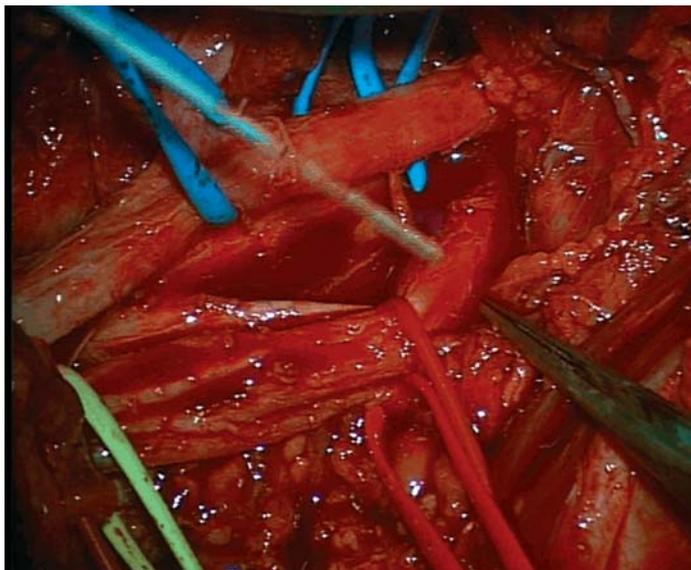


Abb. 7: Intraoperative Nervenstimulation



Abb. 10: Sehr gute Muskelfunktionen nach rechtzeitig durchgeführter Neurolyse des fibrosierten Plexus brachialis

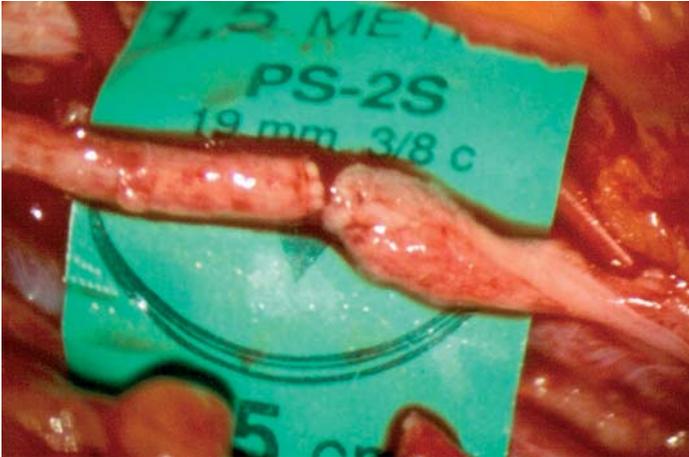


Abb. 11: Intraoperatives Bild einer Nerventransplantation vor interfaszikulärer Naht



Abb. 14: Beispiel einer freien vascularisierten und innervierten Muskelerersatzoperation, Planung der Abhebung des M. gracilis als eine isolierte Einheit mit Gefäß- und Nervenversorgung; Autotransplantation der Lappenplastik (links). Postoperative Wiederherstellung der Ellenbogen-, Handgelenk- und Fingerbeugefunktion (rechts).

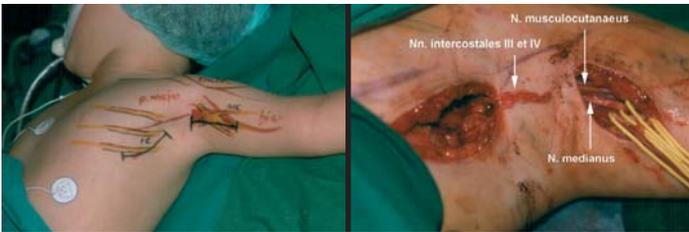


Abb. 12: Planung (links) und intraoperatives Bild (rechts) eines Transfers der Nn. intercostales zum N. musculocutaneus

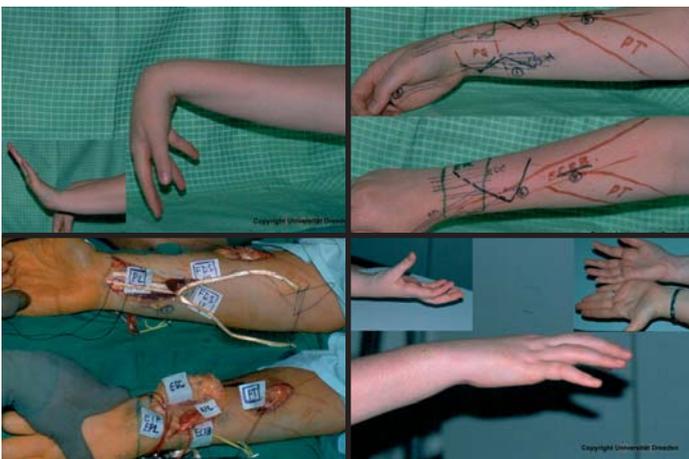


Abb. 13: Oben links: Chronische irreparable Lähmung des N. radialis (nach Oberarmfraktur)/Oben rechts: Planung einer Sehnenersatzoperation (Flexoren zu Extensoren-Transfer)/Unten links: Intraoperatives Bild des Sehnen-Transfers/Unten rechts: Postoperative Funktionswiederherstellung der Handgelenk- und Fingerextensoren