

geprüft. Außerdem wurde der Intelligenzquotient ermittelt. Neurologische Erkrankungen wurden ausgeschlossen. Vor allem aber wurde die Eigenanamnese und, wo es anging, auch die Familienanamnese erhoben.

Therapie

Schüler des zweiten Schuljahres sollten, sofern keine seelische Fehlentwicklung vorliegt, neben dem normalen Schulunterricht einen sonderpädagogischen Legasthenie-Unterricht erhalten. In dieser Zeit dürfen legasthenische Kinder beim Lesen in der Klasse nicht bloßgestellt, und bei Diktaten nicht benotet werden; ihre Aufsätze sollten nur dem Inhalt nach zensiert werden. Werden kongenital legasthenische Kinder rechtzeitig behandelt, holen sie ihr Lerndefizit etwa in einem Jahre auf; setzt die Therapie verspätet ein, ist der Erfolg nicht so sicher. In diesen Fällen muß, bevor der Legasthenie-Unterricht geginnt, erst die seelische Fehlentwicklung psychotherapeutisch angegangen werden. Auch hier sind aber noch gute Erfolge zu erzielen.

Der Arzt sieht Kinder, Jugendliche und Erwachsene zunächst meist wegen neurotischer dissozialer oder gar krimineller Verhaltensweisen. Diese Patienten sollten stets auf Legasthenie untersucht werden. Den notwendigen sonderpädagogischen Legasthenie-Unterricht kann ein dafür ausgebildeter Sonderschullehrer oder Psychologe erteilen, der sich darauf spezialisiert hat. Dieser „Privatunterricht“ ist allerdings mit Kosten verbunden. Es gibt auch Internate, in denen Legasthenie-Unterricht erteilt wird. Auch die Schulbehörden haben entsprechende Einrichtungen geschaffen, in den Städten häufiger als auf dem Lande; dort gibt es nur Sonderschulen.

Literatur beim Verfasser

355 Marburg an der Lahn
Hans-Sachs-Straße 6

Interfaszikuläre autologe Nerven- transplantation

Indikation, Technik und Ergebnisse

Professor Dr. med. Madjid Samii

Aus der Neurochirurgischen Universitätsklinik Mainz
(Direktor: Professor Dr. med. Dr. h. c. K. Schürmann)

Die interfaszikuläre autologe Nerven-
transplantation, die erst durch die mikrochirurgische Technik möglich wurde, kann als wesentlicher Fortschritt auf dem Gebiet der chirurgischen Versorgung peripherer Nervenverletzungen angesehen werden. In über 90 Prozent der Fälle ist es gelungen, eine nützliche Funktion der Motorik und eine Rückkehr der Sensibilität zu erreichen. Durch das Operationsmikroskop kann das Ausmaß der Nervenläsion sicher beurteilt und gewebsschonend operiert werden. Nach Entfernung des Epineurium ist damit die Präparation der Nervenstümpfe in kleinere anatomische Einheiten, nämlich Faszikel beziehungsweise Faszikelgruppen, und eine exakte Adaptation der Nerven-
transplantate mit den Nervenstümpfen durch perineurale Nähte möglich. Eine spannungslose Nerven-
naht kann durch Anwendung interfaszikulärer autologer Hautnerven-
transplantate erreicht werden.

Nach traumatischer Schädigung von peripheren Nerven sollte nach Seddon die Art der Schädigung möglichst frühzeitig durch klinische und elektromyographische Kontrolluntersuchungen geklärt werden. Es können folgende Läsionen vorliegen:

- ▶ Neurapraxie: Leitungsunterbrechung bei voller Kontinuität der Nervenfasern
- ▶ Axonotmesis: Unterbrechung der Kontinuität der Axone innerhalb der Nervenfasern ohne Schädigung der Neuralrohre
- ▶ Neurotmesis: vollständige Durchtrennung der Nervenfasern

Bei Neurapraxie liegt eine umschriebene Schwellung der Nerven mit Veränderungen an der Markscheide vor, die vollständig reversibel ist und deren klinische Auswirkungen meist nur wenige Tage anhalten.

Bei Axonotmesis spielt sich die Regeneration, das heißt das Auswachsen der Axone von der geschädigten Stelle unter idealen Voraussetzungen ab. Da die Endoneuralrohre erhalten sind, finden die auswachsenden Fasern intakte Leitbahnen und erreichen letzten Endes ihr Erfolgsorgan und damit eine vollständige Restitution der klinischen Ausfallerscheinungen. ▷

Bei der Neurotmesis kann mit einer Spontanheilung nicht mehr gerechnet werden. Die Masse der auswachsenden Nervenfasern aus dem proximalen Nervenstumpf verliert die Verbindung zu den distalen Nervenenden und bildet ein Neurom. Im distalen Anteil des durchtrennten Nervs läuft, wie auch bei der Axonotmesis, die Wallersche Degeneration¹⁾ ab, welche etwa vier Wochen in Anspruch nimmt.

Ungehindertes Vorwachsen der Axone ermöglichen

Ziel jeder chirurgischen Behandlung peripherer Nervenverletzungen ist es, das ungehinderte Vorwachsen der Axone aus dem proximalen Nervenstumpf in den distalen Anteil des durchtrennten Nervs zu ermöglichen. Die immer wieder rezidivierenden Amputationsneurome weisen eindeutig auf eine gute

Wachstumstendenz der Axone hin. Die Aufgabe der Wiederherstellung besteht also darin, die vorwachsenden Achsenzylinder in die richtige Bahn zu lenken und alle Vorgänge auszuschalten, die das Auswachsen der Axone behindern.

Für die bisherigen Mißerfolge nach der konventionellen Versorgung peripherer Nervenverletzungen ist in erster Linie die Entstehung einer Narbenbarriere im Bereich der Nervenastomose verantwortlich. Das Narbengewebe verhindert das Vorwachsen der Axone in den distalen Nervenstumpf und führt durch Kompression zur sekundären Läsion der bereits regenerierten Achsenzylinder. Alle therapeutischen Bemühungen zielen dahin, die Bindegewebsbildung im Bereich der Nervenastomose zu unterbinden.

Unter der Vorstellung, daß das Bindegewebe in der Umgebung der Nervenastomose für die Entstehung der Narbenbarriere entscheidend ist, wurden schon seit längerer Zeit zahlreiche Verfahren unter Verwendung verschiedener Gewebe beziehungsweise Stoffe zur Einscheidung der Nahtstellen angegeben, um die Nervenastomose von dem Bindegewebe der Umgebung fernzuhalten (Millipore-Umscheidung nach Campbell und Boehler, Silastic-Membran nach Campbell und Kollagen-Folie nach Kline, Hayes und Braun).

In einer eigenen Untersuchungsreihe konnten wir eindeutig nachweisen, daß durch die Einscheidung der Nahtstelle mittels Kollagen-Folie keine besonderen Vorteile erreicht werden können. Durch ödematöse Schwellung und Zystenbildung sowie Bindegewebsproliferation im Bereich der Einscheidung wurde die Regeneration sogar negativ beeinflusst. Gerade die verschiedenen Methoden der Einscheidung der Nahtstellen, die das Einwachsen des Bindegewebes aus der Umgebung verhindern sollen,

Tabelle 1: Anzahl der markhaltigen Nervenfasern im distalen Abschnitt in Prozent der proximal vorhandenen nach Nervenastomose beziehungsweise Nerventransplantation bei verschiedenen Spannungsgraden

	12. Woche	17. Woche
Autologes Transplantat	93,01%	87,45%
Einfache End-zu-End-Naht	75,44%	84,01%
Naht nach Resektion	32,47%	43,03%

Tabelle 2: Die zahlenmäßige Verteilung der interfaszikulären autologen Nerventransplantationen der bei unseren 136 Patienten betroffenen peripheren Nerven

I. Obere Extremitäten		II. Untere Extremitäten	
Plexus brachialis	18	Nervus ischiadicus	2
Nervus radialis	15	Nervus fibularis	3
Nervus medianus	29	Nervus femoralis	1
Nervus ulnaris	15		
Fingernerven	53		

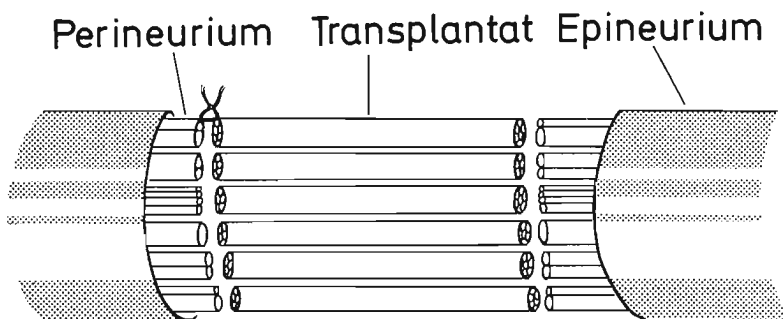


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Technik der interfaszikulären autologen Nerventransplantation

¹⁾ Degeneration derjenigen Anteile der Neuriten, die nicht mehr mit den Ganglienzellen zusammenhängen.

Nerventransplantation

haben gezeigt, daß ein wesentlicher Teil des die Regeneration behindernden Bindegewebes aus dem Epineurium²⁾ hervorgeht.

Deshalb wurde von Millesi empfohlen, das Epineurium im Anastomosenbereich zu entfernen und die einzelnen Nervenfaszikel beziehungsweise Faszikelgruppen durch perineurale Nähte zu adaptieren.

Entscheidend wird das Ausmaß der Bindegewebsproliferation im Bereich der Nahtstelle aber von der Spannung beeinflusst, die an der Nahtstelle herrscht. Bei der sekundären chirurgischen Versorgung von Läsionen peripherer Nerven wird das fibrotische und neuromatös veränderte Gewebe reseziert, um intakte Nervenstümpfe zur Anastomosierung zu gewinnen. Die Gewebslücke vergrößert sich noch durch die sofort nach der Durchtrennung einsetzende elastische Retraktion der Nervenenden. Der so entstandene Nervendefekt beträgt minimal drei Zentimeter. Eine End-zu-End-Vereinigung kann bei Funktionsstellung der benachbarten Gelenke nur unter Spannung durchgeführt werden. Zur Reduzierung der Spannung bei der Naht dienen manipulative Verfahren, wie die Flexion benachbarter Gelenke mit allmählicher postoperativer Streckung, die Mobilisierung und Transposition des Nervs sowie die Verkürzungsosteotomie, die seit Swan als obsolet gilt.

Langzeitbeobachtungen haben gezeigt, daß die primär durchgeführte spannungslose Naht auch bei größeren Defekten unter weitgehender Mobilisierung der Nerven und Ruhigstellung der benachbarten Gelenke über vier bis sechs Wochen keine endgültige Lösung einer „spannungslosen“ Nerven-anastomose darstellt. Die spätere Mobilisierung macht die bereits eingetre-

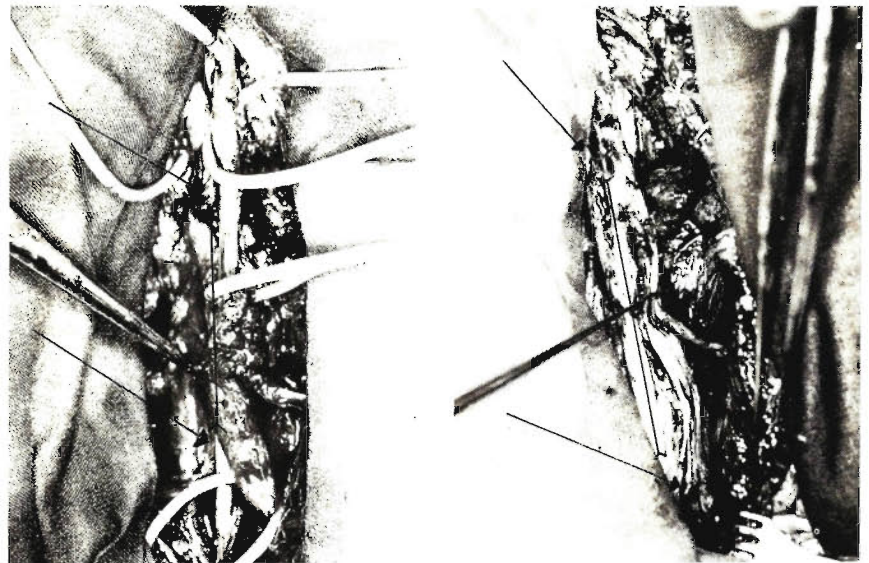


Abbildung 2 a (links oben): Operationsphoto von einem 19jährigen Patienten mit Verletzung des Nervus musculocutaneus. Die Nervenläsion befindet sich zwischen den beiden unteren Umschlingungen — Abbildung 2 b (rechts oben): Operationsphoto nach Überbrückung des Nervendefektes durch interfaszikuläre autologe Nerventransplantate — Abbildung 2 c (unten): Rückkehr der motorischen Funktion fünf Monate nach Nerventransplantation

tene Nervenregeneration durch die nun erfolgende Spannung an der Nahtstelle zunichte.

Durch tierexperimentelle Untersuchungen konnten wir nachweisen, daß an durchtrennten Ischiadici von Kaninchen eine zusätzliche Resektion von fünf Millimeter die Regenerationsergebnisse signifikant verschlechterte.

Die histologische Untersuchung mit quantitativer Nervenfasierzählung ergab (Tabelle 1), daß nach fünf

Millimeter Resektion des Nervus ischiadicus von Kaninchen und nachfolgender Naht distal der Nahtstelle in der zwölften Woche durchschnittlich nur 32,4 Prozent, sowie in der 17. Woche 41,0 Prozent der proximal ermittelten myelinisierten Nervenfasern vorhanden waren, gegenüber 75,4 Prozent und 84,0 Prozent nach einfacher Naht ohne Nervendefekt. Mit 93,0 Prozent und 87,4 Prozent war dagegen die distale Neurotisation nach autologer Nerventransplantation mit absolut spannungsfreier Naht verbessert.

²⁾ Epineurium = bindegewebige Umhüllung peripherer Nerven, die die einzelnen — vom Perineurium umschlossenen — Nervenfaserbündel umkleidet und sie zum „Nervenstamm“ zusammenfaßt.

Diese Versuchsergebnisse unterstützen die Forderung, auch kleinere Nervendefekte durch Nerventransplantate zu überbrücken.

Interfaszikuläre autologe Nerventransplantation

Bielschovsky und Unger haben bereits 1917 die Anwendung von Hautnerven als Transplantate vorgeschlagen. Große Bedeutung fand diese Methode damals nicht. Die Schwierigkeit lag damals in der Überwindung des Kaliberunterschiedes zwischen dem wiederherzustellenden Nervenstamm und dem dünnen Hautnerv. Dieses Problem wurde nach Einführung des Operationsmikroskops, das heute

als ein wesentlicher Fortschritt auf dem Gebiet der chirurgischen Versorgung peripherer Nervenverletzungen angesehen werden kann, weitgehend gelöst. Mit Hilfe des Operationsmikroskops ist es gelungen, die peripheren Nerven in feinere anatomische Einheiten zu präparieren. Nach Ligatur der größeren im Epineurium verlaufenden Gefäße kann das Epineurium gespalten und vom Perineurium der Nervenfaszikel abgelöst werden. So wird es möglich, das Epineurium, welches als Hauptquelle der Fibrose im Bereich der Nerven Anastomose gilt, total zu entfernen und die Nervenstümpfe in einzelne Faszikel beziehungsweise Faszikelgruppen aufzuteilen. Die mikrochir-

urgische Präparation der Nervenstümpfe kann sich nach dem jeweiligen Querschnitt des entnommenen Transplantates richten. Die einzelnen Faszikel beziehungsweise Faszikelgruppen können so hergestellt werden, daß sie dem Durchmesser des entnommenen Transplantates entsprechen. Liegt zum Beispiel ein Nervendefekt von fünf Zentimeter Länge im Bereich des Nervus medianus vor, können mehrere Hautnerventransplantate zum Beispiel aus dem Nervus suralis nebeneinander isoliert mit einzelnen Faszikeln beziehungsweise Faszikelgruppen vom gleichen Kaliber durch jeweils ein oder zwei 10x0 Nähte aus Nylon oder Mersililen (atraumatische Nadel, Faden-

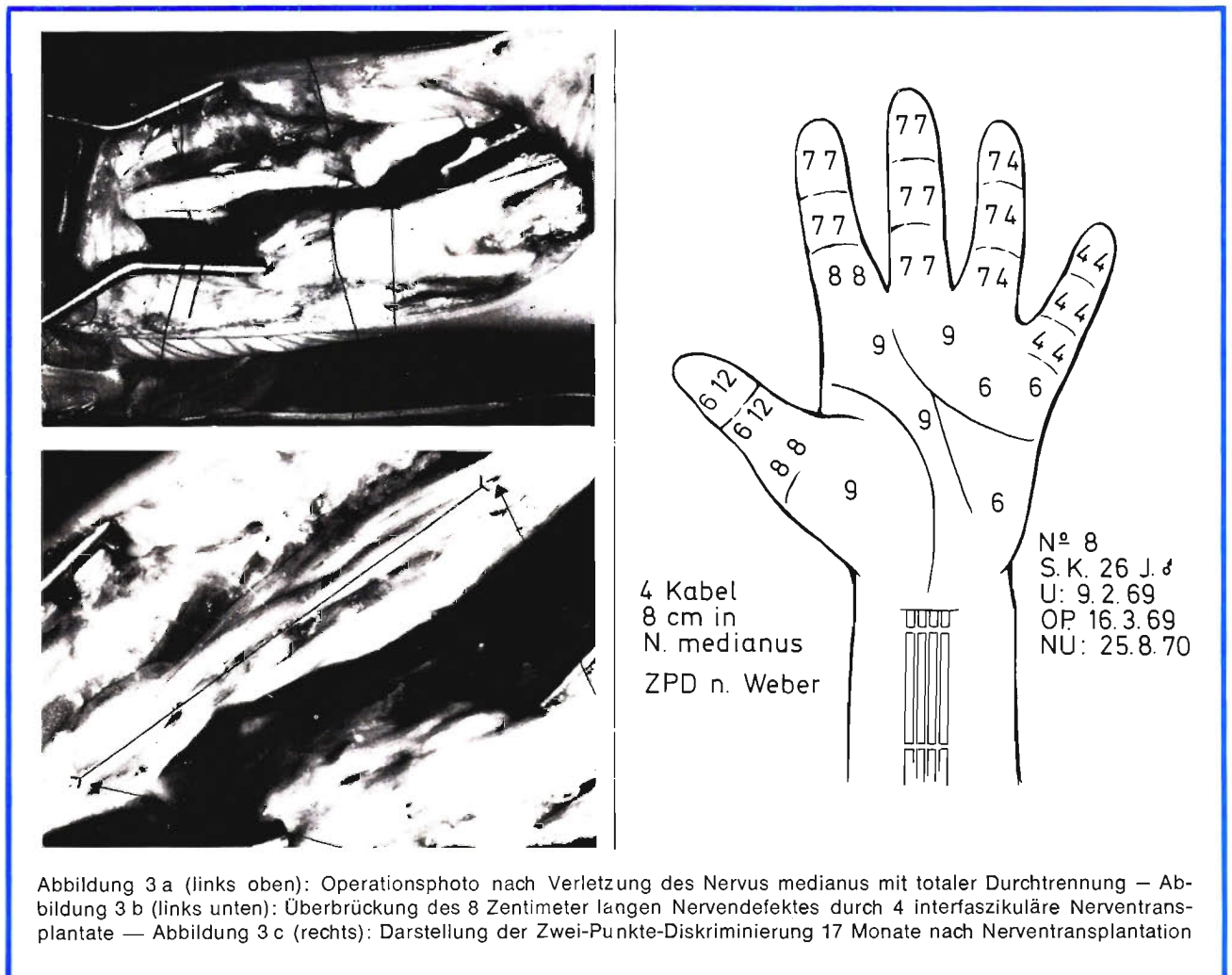


Abbildung 3 a (links oben): Operationsphoto nach Verletzung des Nervus medianus mit totaler Durchtrennung —
Abbildung 3 b (links unten): Überbrückung des 8 Zentimeter langen Nervendefektes durch 4 interfaszikuläre Nerventransplantate —
Abbildung 3 c (rechts): Darstellung der Zwei-Punkte-Diskriminierung 17 Monate nach Nerventransplantation

Nerventransplantation

durchmesser von 25 μ) perineural vereinigt werden. Diese Technik wird heute als interfaszikuläre autologe Nerventransplantation bezeichnet (Abbildung 1).

Ergebnisse

Mit dieser Methode wurden in den vergangenen vier Jahren in der Neurochirurgischen und Chirurgischen Universitätsklinik Mainz 136 autologe Nerventransplantationen durchgeführt (Tabelle 2). Wir konnten mit interfaszikulären autologen Nerventransplantationen wesentlich bessere Ergebnisse erzielen als mit den bisherigen Methoden. In fast allen Fällen konnte eine weitgehende Wiederherstellung der Sensibilität beobachtet werden.

Die Sensibilität wurde im Bereich der Hand für die Qualitäten Berührung, Spitz-Stumpf, Rauh-Glatt, Kalt-Warm sowie Zwei-Punkte-Diskriminierung nach Weber geprüft.

Eine Schutzsensibilität, das heißt Rückkehr von Schmerz-, Berührungs- und Temperaturempfindung wurde ausnahmslos beobachtet. Das bedeutet nach dem Highet-Schema S 3 und mehr. In den meisten Fällen wurden eine Zwei-Punkte-Diskriminierung bis zehn Millimeter und darunter erreicht, in vielen Fällen sogar bis fünf und sechs Millimeter, das heißt nahezu normale Sensibilität. Die Länge der Transplantate (zwei bis 20 Zentimeter) hat dabei die Ergebnisse nicht wesentlich beeinflussen können.

Auch bei länger zurückliegenden Nervenläsionen, bei denen das schädigende Ereignis bis 26 Jahre zurücklag, wurde eine nützliche Schutzsensibilität erzielt. In diesen Fällen bilden sich allerdings die klinischen Zeichen nur verzögert zurück; die Tendenz zur Rückbildung setzt erst etwa ein Jahr nach dem operativen Eingriff ein.

Die Rückkehr der motorischen Funktionen fiel naturgemäß unterschiedlich aus, was leicht verständ-

1. Tr. superior (Oberer Primärstrang)
2. Tr. medius (Mittlerer ")
3. Tr. inferior (Unterer ")

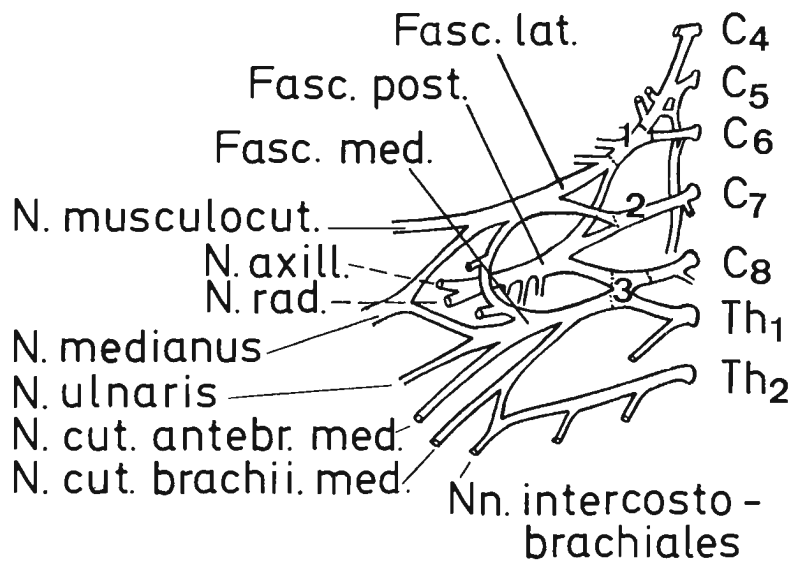


Abbildung 4: Schematische Darstellung der anatomischen Verhältnisse des Plexus brachialis

lich ist, wenn man bedenkt, daß die Regeneration eines denervierten Muskels wesentlich vom Grad der Atrophie, der Fibrose und nicht zuletzt von der Zahl der noch erhaltenen motorischen Endplatten abhängt. Die besten Ergebnisse der motorischen Funktion, nämlich M. 4 bis M. 5 nach der Kräfteskala von Seddon, wurden nach Nerventransplantationen innerhalb des ersten Jahres nach der Schädigung erzielt.

Als Beispiel folgende zwei Fälle. Bei dem ersten Patienten handelt es sich um einen 19jährigen Jungen mit Verletzung des Plexus brachialis im Bereich des Nervus musculocutaneus, der fünf Monate nach dem Trauma operiert wurde (Abbildung 2 a). Der Nervendefekt wurde durch drei acht Zentimeter lange und ein fünf Zentimeter langes Transplantat aus dem Nervus suralis überbrückt (Abbildung 2 b). Fünf Monate später kam es zur weitgehenden Rückkehr der motorischen Funktion (Abbildung 2 c).

Bei dem zweiten Fall handelt es sich um einen 30jährigen Mann mit

Totaldurchtrennung des Nervus medianus; die Abbildung 3 a zeigt ein Operationsphoto. Nach Anfrischung der Nervenstümpfe wurde der acht Zentimeter lange Nervendefekt durch vier acht Zentimeter lange Transplantate aus dem Nervus suralis überbrückt (Abbildung 3 b). Eineinhalb Jahre nach dem Eingriff setzte die Rückkehr der motorischen Funktion, nämlich die Opposition des Daumens sowie Schutzsensibilität mit Zwei-Punkte-Diskriminierung bis sechs und sieben Millimeter, ein (Abbildung 3 c).

Nerventransplantationen im Bereich des Plexus brachialis haben neue operative Wege in dieser Region eröffnet. Es sei nur kurz darauf hingewiesen, daß heute der Nachweis eines Wurzelaustrisses auch bei kompletter Plexusverletzung durchaus keine Kontraindikation mehr für die chirurgische Versorgung bedeutet.

Liegt eine vollständige Armlähmung nach traumatischer Schädigung des Plexus brachialis mit einem Wurzelaustriß in Höhe C 7, C 8 und Th 1 vor, kann eine Ana-

stomose zwischen dem oberen noch intakten Primärstrang, das heißt also zwischen C 4, C 5 und C 6 und den für den Arm wichtigsten peripheren Nerven (nämlich: die Nervi musculocutaneus, N. medianus, N. axillaris und schließlich dem Nervus radialis) durch Kabeltransplantate hergestellt werden.

Die Nerven (ulnaris, cutaneus, brachii medialis und cutaneus antebrachii medialis) können als Transplantate dienen, (Abbildungen 4, 5 und 6). Bei totalem Wurzelaustritt des gesamten Plexus brachialis können durch Anastomosen zwischen den Interkostalnerven oder dem Nervus accessorius und den

funktionell wichtigsten Armnerven nützliche Funktionen im Bereich des Armes erreicht werden.

Chirurgie der Hirnnerven

Die befriedigenden Ergebnisse der autologen Nerventransplantation im peripheren Bereich haben auch die Indikationsstellung zur Anwendung von Nerventransplantaten im Bereich der Hirnnerven erweitert.

Eine Schädigung des Nervus facialis, entweder durch eine Schädelbasisfraktur oder durch direkte Gesichtsverletzung, kommt relativ häufig vor. Die Chirurgie des Nervus facialis konnte durch die Eröffnung des inneren Gehörganges entscheidend erweitert werden. Es ist auf diese Weise möglich geworden, den gesamten Facialisverlauf vom Meatus internus bis zur Gesichtsmuskulatur freizulegen und Verletzungen des Nervs in diesem Bereich durch Nerventransplantation zu versorgen.

Es sei nur kurz auf zwei neue Operationsmethoden der Nerventransplantation im Bereich der Hirnnerven hingewiesen, die bereits mit Erfolg durchgeführt wurden. Einmal handelt es sich um die Wiederherstellung der Sensibilität am Auge bei präganglionärer Schädigung des Nervus trigeminus mit Keratitis neuroparalytica und dadurch bedingter Amaurose. Hier wurde eine Anastomose zwischen dem Nervus occipitalis major und dem Nervus ophthalmicus, das heißt dem ersten Trigeminasast, durchgeführt. Zum anderen kann man mit gutem Erfolg die Interposition längerer Nerventransplantate im Bereich des Nervus alveolaris inferior bei Unterkieferfrakturen vornehmen. Dieser Eingriff dient der Wiederherstellung der Sensibilität im Bereich der Unterlippe und der Mundschleimhaut.

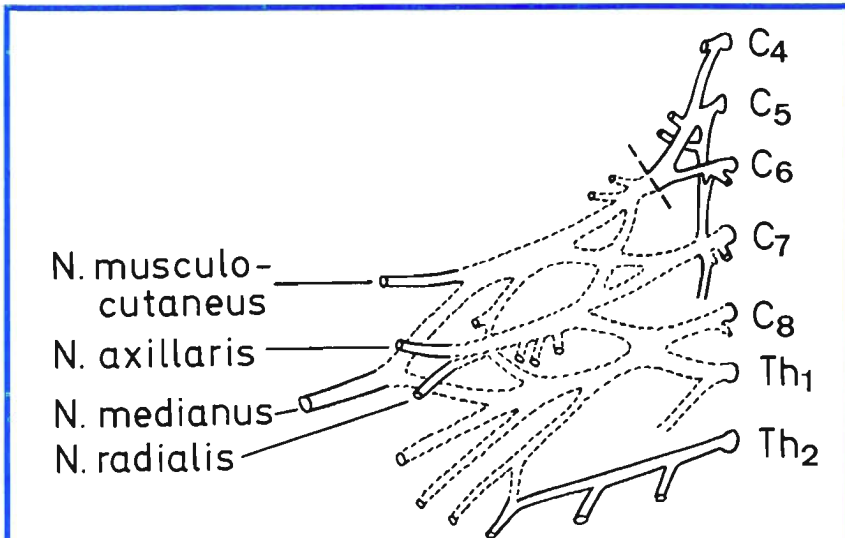
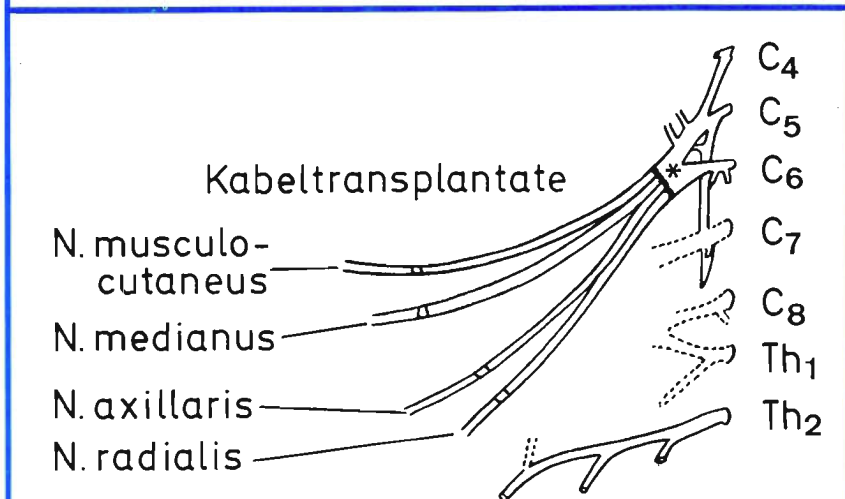


Abbildung 5: Schematische Darstellung einer kompletten Plexus-brachialis-Schädigung mit Wurzelaustritt in Höhe C 7, C 8 und Th 1



* Tr. superior

Abbildung 6: Schematische Darstellung der operativen Technik zur Nerventransplantation bei kompletter Plexus-brachialis-Schädigung mit Wurzelaustritt C 7, C 8 und Th 1