

Geschichte der rekonstruktiven Eingriffe¹

A. Gohritz, M. Langer

2.1 Einleitung – 13

2.2 Entwicklung der operativen Orthopädie zum Ende des 19. Jahrhunderts – 13

2.2.1 Wissenschaftliche und technologische Voraussetzungen – 13

2.2.2 Historische und gesellschaftliche Einflüsse – 14

2.3 Geschichtliche Entwicklung der Sehnen- und Muskeltranspositionen – 16

2.3.1 Frühe Pionierarbeiten – 16

2.3.2 Erster Weltkrieg – 20

2.3.3 1920- bis 1930er Jahre – 20

2.3.4 Zweiter Weltkrieg – 21

2.3.5 Nachkriegszeit – 21

2.3.6 1970er Jahre bis heute – 22

2.4 Geschichtliche Entwicklung der peripheren Nerven Chirurgie und nervalen Ersatzoperationen – 23

2.4.1 Anfänge – 23

2.4.2 Erster Weltkrieg – 23

2.4.3 1920er- bis 1930er Jahre – 27

2.4.4 Zweiter Weltkrieg (1939–1945) – 27

2.4.5 Nachkriegszeit – 27

2.4.6 Ära der Mikrochirurgie (seit 1960er Jahren) – 27

2.4.7 21. Jahrhundert – 28

¹ Herrn Prof. Hanno Millesi zum 90. Geburtstag gewidmet

2.5 Behandlung von Verletzungen des Plexus brachialis – 28

- 2.5.1 Von weltgeschichtlicher Bedeutung ? – 28
- 2.5.2 Erste medizinische Beschreibungen (1746–1861) – 31
- 2.5.3 Einteilung in verschiedene Läsionstypen (1875–1885) – 31
- 2.5.4 Chirurgische Behandlungspremieren (um 1900) – 31
- 2.5.5 Konservative Primär- und operative Sekundärrekonstruktion
(bis 1970er Jahre) – 32
- 2.5.6 Ära der Mikrochirurgie (1960 bis heute) – 32

2.6 Schlussfolgerungen – 33

Literatur – 34

2.1 Einleitung

Muskuläre und nervale Ersatzoperationen sind faszinierende Eingriffe der rekonstruktiven Chirurgie, da sie irreparabel verlorene Bewegungsabläufe wiederherstellen können. Die Funktion gelähmter oder zerstörter Muskeln kann entweder durch Verlagerung gesunder Sehnen-Muskel-Einheiten (Muskeltransposition) oder Reinnervationen mittels entbehrlicher Spenderaxone (Nerventransposition) aus der Umgebung wiederhergestellt werden.

Hauptindikation für muskuläre oder nervale Ersatzoperationen

- **Läsion des unteren Motoneurons**
 - Periphere Nervenverletzung der oberen Extremität
 - Plexus brachialis, N. axillaris, N. suprascapularis, N. musculocutaneus
 - N. radialis, N. medianus, N. ulnaris, kombinierte Läsionen
 - Periphere Nervenverletzung der unteren Extremität
 - Plexus lumbosacralis, N. femoralis, N. ischiadicus, N. tibialis, N. peroneus
 - Erkrankungen des peripheren Nervensystems, z. B. Charcot-Marie-Tooth-Syndrom, Hansen-Krankheit (Lepra), Poliomyelitis, Guillain-Barré-Syndrom
- **Läsion des oberen Motoneurons**
 - Rückenmarkverletzung (Tetraplegie)
 - Schädel-Hirn-Trauma (SHT)
 - Zerebrovaskulärer Insult (Schlaganfall)
 - Zerebralaparese
- **Zerstörung der Muskel-Sehnen-Einheit**
 - Direktes Gewebetrauma (Quetschung, Verbrennung, Stromverletzung etc.)
 - Ischämie (Kompartmentsyndrom, Volkmann-Kontraktur)
 - Entzündung (v. a. rheumatoide Arthritis)
 - Tumor (z. B. maligne Weichteiltumoren)
- **Angeborene Fehlbildungen**
 - Hand- und Fußfehlbildungen mit fehlenden Muskeln oder Anomalien der Sehnenansätze

Die geschichtliche Betrachtung zeigt, dass viele der heutigen Standardoperationen bei Bewegungsstörungen an der oberen Extremität auf Konzepte deutschsprachiger Chirurgen und Orthopäden aus der Zeit zwischen Ende des 19. und Beginn des 20. Jahrhunderts zurückgehen, gewonnen vor allem aus der Behandlung der epidemischen Poliomyelitis und von Schussverletzten des 1. Weltkrieges.

Dieser historische Rückblick gibt Einblick in die Entwicklung der nervalen und muskulären Ersatzoperationen, insbesondere auch bei Plexus-brachialis-Läsionen. Er stellt einige wichtige Protagonisten aus der Zeit zwischen 1880 bis in unsere Zeit vor, wobei der Fokus auf dem deutschsprachigen Raum liegt.

2.2 Entwicklung der operativen Orthopädie zum Ende des 19. Jahrhunderts

Die historische Entwicklung der modernen rekonstruktiven Orthopädie und Chirurgie bei Bewegungsstörungen der oberen Extremität findet vor dem Hintergrund einer äußerst bewegten Zeit statt und spiegelt zeitgeschichtliche Ereignisse und technologische, soziale und politische Veränderungen wider.

In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts tritt in der Orthopädie neben den mechanischen Therapien (mit Hilfe von Apparaten) und dynamischen Behandlungen (Massage und Krankengymnastik) die operative Behandlung zunehmend in den Vordergrund. Operationen können in vielen Fällen Zeit, Aufwand und Kosten der Behandlung erheblich verringern, z. B. wenn man kontrakte Sehnen beim Klumpfuß oder Schiefhals chirurgisch durchtrennt anstatt sie wie vorher üblich über Monate und Jahre zu aufzudehnen. Wegweisend ist hier die von G.F. Louis Strohmeyer (1804–1876) 1831 wieder eingeführte Durchtrennung der Achillessehne. Es werden neue Techniken wie Arthrodesen, Sehnenverpflanzungen oder später Nervenplastiken eingeführt.

2.2.1 Wissenschaftliche und technologische Voraussetzungen

Zu dieser Zeit entstehen neue Möglichkeiten zur Diagnose und chirurgischen Therapie zahlreicher Erkrankungen durch wissenschaftliche Erkenntnisse in Physik, Bakteriologie, Physiologie und Pharmakologie. Entscheidend für die Evolution der Extremitätenchirurgie sind jedoch vor allem die Einführung einer sicheren **Schmerzbehandlung** zur Mitte des 19. Jahrhunderts und etwas später die wirksame **Vermeidung von Wundinfektionen** (■ Tab. 2.1): »Antisepsis und Asepsis führten zu einer völligen Erneuerung der Chirurgie und verwandelten die chirurgischen Abteilungen nach Jahrhunderten des Hospitalbrands in Orte, die man in der Hoffnung, sie lebend wieder zu verlassen, betreten konnte« (Ackerknecht 1967).

Erst jetzt können auch komplexe Eingriffe mit vertretbarem Risiko durchgeführt, also Gelenke eröffnet, Knochen durchsägt und begradigt, Muskeln und Sehnen

verlagert und Nerven genäht werden. Chirurgen und Orthopäden gelangen vorher für unmöglich gehaltene Eingriffe, die mit zunehmender Erfahrung und nach Analyse der klinischen Ergebnisse verfeinert werden. Ein wesentlicher Faktor ist außerdem der rasant zunehmende medizinische Informationsfluss durch erleichtertes Reisen und die steigende Anzahl wissenschaftlicher Publikationen in Zeitschriften und auf Kongressen. Beginnend mit der Jahrhundertwende gibt es bereits im Rahmen von Kongressen, aber auch bei Hospitationen im Operationssaal, einen regen Gedanken- und Erfahrungsaustausch europäischer und amerikanischer Chirurgen. Neue Ideen werden rasch klinisch erprobt, die ärztliche Experimentierfreude ist kaum eingeschränkt, auch weil die Idee der Arzthaftung noch nicht existiert (Smith 1988).

2.2.2 Historische und gesellschaftliche Einflüsse

Starken Einfluss auf Fortschritte der chirurgischen Funktionswiederherstellung hatten auch zeitgeschichtliche Ereignisse und soziale und politische Veränderungen, wie an Beispielen dargestellt werden soll, die vor allem den deutschsprachigen Raum betreffen (■ Tab. 2.2).

Epidemisches Auftreten der Poliomyelitis

Durch die Industrialisierung ändert sich die Inzidenz vieler Erkrankungen. Die Poliomyelitis epidemica anterior acuta (kurz Polio) befällt als virale Infektionskrankheit die muskelsteuernden Nervenzellen des Rückenmarks und führt zum Tod oder bleibenden Lähmungen. Der Schwarz-

■ **Tab. 2.1** Voraussetzungen für Entwicklung der modernen Extremitätenchirurgie und motorischer Ersatzoperationen am Übergang des 19. zum 20. Jahrhundert

Voraussetzung/Technologie	Art des Verfahrens
Anästhesie	Gasnarkose: Lachgas 1844 (Wells), Äther 1846 (Morton und Warren), Chloroform 1847 (Simpson) Leitungsanästhesie: Kokain-Infiltration 1892 (Schleich), Fingerblockade 1888 (Oberst) Intravenöse Regionalanästhesie 1908 (Bier)
Asepsis (Keimfreiheit)	Händehygiene 1847 (Semmelweis), Gummihandschuhe 1894 (Halstead), Desinfektion des Operationsfelds mit Jodtinktur 1908 (Grossich)
Antisepsis (Keimreduktion)	Karbolspray 1867 (Lister), Dampfsterilisation 1892 (v. Bergmann und Schimmelbusch)
Blutleere	Gummibinde 1854 (Esmarch)
Spezielle Diagnostik von Nervenverletzungen	Nervenstimulation zur Unterscheidung motorischer und sensibler Fasern (ca. 1910), zervikale Myelographie (1947), Elektromyographie (1948), Aktionspotenziale peripherer Nerven (1949), Histamin-Test (1954)
Medizinischer Informationsaustausch, v. a. zwischen USA und Europa	Erleichterte Reisemöglichkeiten, Zunahme von medizinischen Zeitschriften/Berichten auf Kongressen, Entstehung großer bekannter Zentren mit internationalen Besuchern

■ **Tab. 2.2** Zeitgeschichtliche Ereignisse mit Relevanz für die Entwicklung der funktionellen Chirurgie

Jahr	Ereignisse mit Relevanz für die Entwicklung der funktionellen Chirurgie
Seit ca. 1880	Poliomyelitis-Epidemien in USA und Europa (vorher nur endemisches Auftreten) mit häufig auftretenden Folgelähmungen, v. a. bei Kindern und Jugendlichen
1883	Einführung der Kranken- (1883), Unfall- (1884) und Alters- und Invalidenversicherung (1889) durch Otto von Bismarck
1906	Deutschlandweite Erfassung aller Körperbehinderten – »Reichskrüppelzählung«
1914–18	Erster Weltkrieg mit typischen Schussverletzungen des Stellungskampfes – Millionen Kriegsversehrte
1920	Preussisches Krüppelversorgungsgesetz (Anspruch jedes Körperbehinderten bis zum 15. Lebensjahr auf kostenlose Behandlung und Ausbildung)
1939–45	Zweiter Weltkrieg
1960er- bis 1980er Jahre	Zunahme der Motorisierung, v. a. auch mit Motorrädern, Helmpflicht, vermehrtes Überleben von (polytraumatisierten) Patienten mit schweren Nervenverletzungen

wälder Orthopäde Jakob von Heine (1800–1879) stellt das Krankheitsbild 1840 in seinem Buch »Beobachtungen über Lähmungszustände der unteren Extremitäten und deren Behandlung« dar, in der zweiten Auflage 1860 prägt er den Begriff »spinale Kinderlähmung«. Gegen Ende des 19. Jahrhunderts breitet sich Polio in bedrohlichem Maße aus, vermutlich als paradoxe Folge der sich verbessernden Hygiene und damit nachlassenden (Schmutz-)Autoimmunisierung, sodass sie etwa ab 1880 als epidemische Krankheit eingestuft wird. Betroffen sind überwiegend Kinder im Alter zwischen 3 und 8 Jahren, seltener auch Jugendliche oder Personen bis ins Erwachsenenalter. Ab etwa 1910 werden in Europa und den USA alle 5–6 Jahre regionale Epidemien beobachtet, die Tausende Menschen betreffen und vor allem Kinder mit körperlichen Folgeschäden zurücklassen.

Einführung neuer Versicherungssysteme (durch Bismarck ab 1883)

Als politische Neuerung sehen sich Politiker zum Ende des 19. Jahrhunderts genötigt, auf die Bedürfnisse der einfachen Bevölkerung einzugehen – weniger aus Mitmenschlichkeit, sondern um radikale und sozialistische Einflüsse zu beruhigen. Reichskanzler Otto von Bismarck führt ab 1883 neue gesetzliche Versicherungssysteme ein, die sich vorwiegend auf Arbeiter richten. Seine Motive sind politischer Natur, er will soziale Unruhen vermeiden und dem Einfluss von Kirche und Gewerkschaften mit eigenen freiwilligen Versicherungen die Grundlage entziehen. »Mein Gedanke war, die arbeitenden Klassen zu gewinnen, oder soll ich sagen zu bestechen, den Staat als soziale Einrichtung anzusehen, die ihretwegen besteht und für ihr Wohl sorgen möchte.« (Bismarck 1924) Dies bedingt eine wesentliche Verbesserung der medizinischen Versorgung der Bevölkerung, jeder Kranke oder Verletzte kann jetzt ärztliche Behandlung beanspruchen. Es wird sogar eine Langzeitbehandlung möglich, wenn z. B. Verletzungen als Berufsunfall anerkannt werden.

Erfassung der Körperbehinderten im Deutschen Reich (»Krüppelzählung«) 1906 und Preussisches Krüppelfürsorgegesetz (1920)

Die nächste entscheidende Etappe ist die damals so genannte »**Krüppelfürsorge**«, aus der sich die »Kriegsorthopädie« und aus dieser die »Friedensorthopädie« entwickelt. Zentrales Ereignis dieser Entwicklung ist die Registrierung aller Körperbehinderten im Deutschen Reich vom 1. Oktober 1906, bekannt als »Reichskrüppelzählung«.

Der Orthopäde **Konrad Biesalski** (1868–1930) (Abb. 2.1) stellt als Schularzt die hohe Anzahl an körperbehinderten Kindern fest. Er sieht die Hauptaufgabe seines



Abb. 2.1 Konrad Biesalski (1868–1930) initiiert 1906 die landesweite Erfassung aller Körperbehinderter (so genannte »Reichskrüppelzählung«). Sein Ziel ist die Erwerbsbefähigung der Betroffenen: »...aus einem Almosenempfänger (soll) ein Steuerzahler werden.« Erreicht werden soll dies mittels eines sozialmedizinischen Konzepts aus medizinischen, pädagogischen und berufsbildenden Maßnahmen (Krüppelfürsorge), das heute als Grundlagen der modernen Rehabilitation und Behindertenbetreuung gelten kann. (Aus Thomann 2000)

Fachgebietes in der »Erforschung und Behandlung der krankhaften Zustände des Bewegungsapparats unter sozial-biologischer Indikation« (Lange 1928). Der »Krüppel« ist für ihn nicht ein hilfloser und gebrechlicher »Siecher« und damit Objekt der kirchlichen Armenfürsorge. Er definiert ihn als heilbaren Kranken, dem eine spezielle »Fürsorge« gewidmet werden muss, mit dem Ziel ihn wieder sozial und beruflich in die Gesellschaft einzugliedern: »Der Krüppel soll erwerbsfähig, kurz gesagt, aus einem Almosenempfänger ein Steuerzahler, aus einem parasitischen ein produktives, aus einem unsozialen ein soziales Mitglied der menschlichen Gesellschaft werden. Gelingt das durch ausreichende Fürsorgeeinrichtungen, so werden jährlich viele Millionen, die dem Unterhalt erwerbsunfähiger Krüppel dienen, für andere Zwecke frei, und ebenso viele Millionen [...] werden durch Arbeit der erwerbsfähig gemachten Krüppel neu verdient« (Osten 2004).

Biesalski setzt eine diese deutschlandweite Erfassung zum Nutzen der behinderten Menschen – und im Interesse der Orthopäden – durch. Planung und Auswertung sind mangelhaft und die Zahlen der als »heimbedürftig« erklärten Kinder und Erwachsenen weit übertrieben. Die wirklichen Daten werden der Öffentlichkeit vorenthalten, um

den Ausbau des neuen Fürsorgezweiges nicht zu gefährden. Die propagierten Zahlen suggerieren ein krasses Missverhältnis zwischen dem übergroßen Bedarf und verschwindend geringen Angebot an orthopädischer Therapie. Das Leid der körperbehinderten Menschen und der Wunsch, Sozialausgaben einzusparen, werden zu einem schlagenden Argument für den Ausbau der Orthopädie im ganzen Land: Die Bedeutung des Faches wird insgesamt stark aufgewertet, im Jahr 1924 wird die Orthopädie Pflichtfach in der medizinischen Ausbildung (Thomann 2000). Diese Übernahme von chirurgischen Aufgaben wird nicht immer begrüßt: »Die Orthopäden sind Räuber und nehmen den Chirurgen ein Arbeitsfeld nach dem anderen – und Fritz Lange ist der Schlimmste«, äußert der chirurgische Lehrstuhlinhaber in München, Erich Lexer (1867–1937), über seinen orthopädischen Kollegen.

Dank der öffentlichen Aufmerksamkeit, staatlicher Zuwendungen und einer hohen Spendenbereitschaft der Bevölkerung können innerhalb kurzer Zeit weitere große orthopädische Kliniken errichtet werden. Berühmte Beispiele sind das Oskar-Helene-Heim in Berlin (geleitet von Biesalski selbst) oder die Staatliche Orthopädische Klinik in München (unter Max Lange). Fast alle namhaften orthopädischen Kliniken verdanken ihre Gründung der Krüppelfürsorge, dem »Umweg über das Krüppelheim« (Vulpus u. Stoffel 1920). Die Patientenkonzentrierung in diesen großen orthopädischen Behandlungszentren ermöglicht die Erprobung und Etablierung innovativer Operationsmethoden (Thomann 2000).

Nach dem Ersten Weltkrieg wird – trotz größter finanzieller Probleme – am 6. Mai 1920 das preußische Krüppelfürsorgegesetz verabschiedet, das der Orthopädie und Rehabilitationsmedizin den Durchbruch bringt. Weltweit einmalig räumte es jedem Kind bis zum 15. Lebensjahr das Recht auf unentgeltliche orthopädische Behandlung, Schul- und Berufsausbildung ein.

All dies wäre ohne die von Biesalski selbst manipulierten Zahlen kaum möglich gewesen, die Ergebnisse der Reichskrüppelzählung erscheinen aus heutiger Sicht als »Lüge zum guten Zweck« (Thomann 2000).

Behandlung der Extremitätenverletzten des Ersten Weltkrieges 1914–18

Seit Beginn des Ersten Weltkrieges und auch noch danach müssen sich Chirurgen und Orthopäden mit der Behandlung der typischen Verletzungsfolgen des Stellungskrieges und Grabenkampfes auseinandersetzen. Bei Kriegsausbruch stehen zur Versorgung von verletzten Soldaten (»Kriegskrüppeln«) in ganz Deutschland 111 Kliniken und Beratungsstellen bereit, welche durch Biesalskis Initiative entstanden sind (Osten 2004). Die in der »Krüppelfürsorge« entwickelten Behandlungskonzepte werden in der

»Kriegsorthopädie« erfolgreich auf die Lähmungsmuster nach Nerven- und Muskelzerstörungen infolge von Schussverletzungen übertragen.

Auf deutscher Seite verbleiben mehr als 4 Mio. Versehrt, noch 1924 sind mehr als 650.000 Kriegsbeschädigte mit einer Minderung der Erwerbsfähigkeit von 25 % versorgungsberechtigt.

In die Zeit während des Ersten Weltkrieges fallen besonders viele innovative Entwicklungen auf dem Gebiet der Orthopädiotechnik, aber auch der operativen Methoden. Dies gilt vor allem bezüglich der Muskelerersatzoperationen an den oberen Gliedmaßen (■ Tab. 2.3): »Während vor dem Kriege die Sehnenverpflanzung für Hand- und Fingergelenke über spärliche Versuche nicht hinausgekommen war, kann jetzt die Sehnenplastik bei irreparabler Radialislähmung mit zu den dankbarsten Operationen der orthopädischen Chirurgie gerechnet werden«, schreibt Perthes 1922.

2.3 Geschichtliche Entwicklung der Sehnen- und Muskeltranspositionen

2.3.1 Frühe Pionierarbeiten

Zum Ende des 19. Jahrhunderts sind Muskellähmungen fast ausschließlich die Spätfolge der Poliomyelitis. Eine komplizierte Apparateversorgung wird meist zur Stabilisierung der paralytischen Schlottergelenke angewandt. So wurde z. B. für die lähmungsbedingt instabile Schulter (■ Abb. 2.2) ein Konstrukt aus Gurten und einem Schulterring empfohlen, an dessen Innenseite 3 aufblasbare Kissen angebracht waren, »so dass dem Gelenk die nöthige Stütze gegeben werden kann, ohne dass Druckerscheinungen auf Nerven oder Gefäße hervorgerufen werden« (Hoffa 1891). Diese Bandagen und Apparate sind aufwändig und für die Tausenden Betroffenen nicht bezahlbar, so dass hier auf die »billigere« (und wirksamere) Methoden, wie die Gelenkversteifungen oder Muskelerersatzoperationen zurückgegriffen werden muss.

Der Grazer Chirurg **Carl Nicoladoni** (1847–1902) veröffentlicht 1880 als erster die Idee, die Funktion eines gelähmten Muskels durch Verlagerung eines gesunden Muskels wiederherzustellen. Er ersetzt bei poliobedingtem Hackenfuß die Funktion des Triceps surae durch Verpflanzung beider Peronealsehnen – wenn auch nur mit zeitlich begrenztem Erfolg wegen Separation der Sehnen. Vorher nehmen bereits Tillaux (1869) und Duplay (1876) Sehnenverlagerungen vor, allerdings bei irreparablen Strecksehnenverletzungen. Muskelerersatzoperationen werden zunächst wesentlich öfter an der unteren Extremität durchgeführt als an Arm und Hand. Grund hierfür ist das

Tab. 2.3 Entwicklung der Muskelersatzoperation

Jahr	Beschreiber, Herkunft	Werk, Technik
1869 1874	Tillaux, Frankreich Duplay, Frankreich	Sehnenverlagerung bei Strecksehnendefekten
1880	Nicoladoni, Österreich	1. Sehnentransposition bei poliobedingtem Hackenfuß (Peronealsehnen an Triceps surae) – nur kurzer Erfolg, Rezidiv wegen Separation der Sehnen
1891	Hoffa, Deutschland	»Lehrbuch der orthopädischen Chirurgie« – 1. Standardwerk der operativen Orthopädie
1894	Drobnik, Polen	Streckers-Ersatzoperation an der Hand bei partieller Radialisparese (Poliomyelitis)
1897	Franke, Deutschland	Streckersersatz bei kompletter Radialisparese
1897	Rochet, Frankreich	Sehnentransposition und Release an Unterarm und Hand bei spastischer Hemiplegie
1899	Codivilla, Italien	Fundamentale Studien zur Sehnentransposition an unterer und oberer Extremität bei Poliomyelitis und Zerebralparese, z. B. Tibialis-posterior-Transfer, 1. Opponensplastik (FDS 5), empfiehlt Frühmobilisation
1902	Vulpus, Deutschland	»Die Sehnenverpflanzung und ihre Verwertung in der Behandlung der Lähmungen«, Deltoideus-pro-Trizeps-Ersatz
1903	Reiner, Österreich	Tenodese (partielle Arthrodesen)
1910	Vulpus, Deutschland	»Die Behandlung der spinalen Kinderlähmung«
1913, 1920, 1924	Vulpus und Stoffel, Deutschland	»Orthopädische Operationslehre« (3 Auflagen) – Standardindikationen und -techniken der Muskeltransposition, z. B. Brachioradialis-pro-ECRB
1914	Henze und Mayer, USA	Untersuchungen zu Sehnenadhäsionen, v. a. beim Gebrauch von alloplastischem-Material (Seidenzöpfe)
1916	Biesalski, Deutschland	Trizeps-Bizeps-Transfer
1916	Mayer, USA	Bizeps-Trizeps-Transfer
1916 1919/1920	Schmidt, Deutschland Lexner, Deutschland	Latissimus-Transfer als Bizepsersatz
1916	Biesalski, Deutschland Mayer, USA	»Die Physiologische Sehnenverpflanzung« – Techniken der Sehnentransposition, tendinöse und perostale Fixation
1916/21	Jones, England	Neue Techniken zum Sehnenersatz, vor allem PT-ECRB (heutige Standardoperation zum Handgelenkstreckersersatz)
1917 1918	Schulze-Berge, Deutschland	Pectoralis-major-Transfer zum Bizepsersatz
1918/1919	Steindler, USA	Bizepsersatz durch Proximalisierung der Unterarmmuskeln
1918	Perthes, Deutschland	»Viersehnenplastik« mit Extensorenodese am Handgelenk beim Radialisersatz
1921	Huber, Deutschland	Opponensplastik mit M. abductor digiti minimi – heute meist bei kindlicher Daumenhypoplasie verwendet
1922	Bunnell, USA	Atraumatische Technik, Blutleere mit Tourniquet, Sehnentransplantate (Palmaris longus, FDS, Zehenstrecker), Nervennaht/-rekonstruktion vor Muskelersatz, Fetttransplantate als Gleitlager, Sehnenumleitungen (Pulleys)
1922	Starr, USA	Grundregeln zur Sehnenverlagerung, Teilung von Spendermuskeln
1943	Sudeck, Deutschland	Simultane Nervenrekonstruktion und vereinfachter motorischer Ersatz (»Einsehnenplastik«) bei Radialislähmung (»innere Schiene«)
1944, 1948	Bunnell, USA	»Surgery of the Hand« – Grundlagen der modernen Handchirurgie, in 2. Auflage 1948 1. Funktionsrekonstruktion bei C6-Tetraplegie
1946	Merle d'Aubigné, Frankreich	Klassische Technik zum Radialisersatz (PT-ECRB, FCU-EDC, PL-EPL)

■ Tab. 2.3 (Fortsetzung)

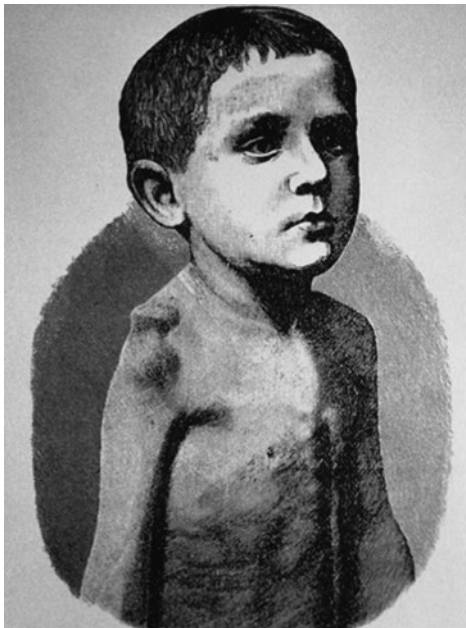
Jahr	Beschreiber, Herkunft	Werk, Technik
1949	Littler, USA	Funktionsrekonstruktion bei kombinierten Nervenläsionen an der Hand mit Sehnen-transfer und Arthrothese
1952	Brand, USA	»Reconstruction of the Hand in Leprosy« – motorische (und sensible) Ersatzoperationen bei Lepra
1956	Pulvertaft, England	Durchflechtungstechnik zur Sehnennaht
1957	Zancolli, Argentinien	Zancolli-Lasso-Plastik bei intrinsischer Handmuskellähmung
1960, 1962	Boyes, USA	Auswahl des Spendermuskels, zählt 58 verschiedene Methoden der Radialisersatzplastik, neue Idee: FDS 4-Verlagerung
1967	Saha, Indien	»Surgery of the Paralyzed and Flail Shoulder« – Wiederherstellung der gelähmten Schulterfunktion
1967	Zancolli, Argentinien	Versetzung des Ansatzes (Re-routing) der Biceps-Sehne zur Korrektur einer Supinationskontraktur
1968/1979	Zancolli, Argentinien	»Structural and Dynamic Bases of Hand Surgery« – Funktionsrekonstruktion bei peripherer Nerven- und Plexusläsion, Zerebralparese und Tetraplegie, z. B. Lasso-Plastik
1970	Tamai, Japan	Mikrochirurgische Transplantation von funktionellen Muskel-Sehnen-Einheiten
1985	Brand, USA	»Clinical Mechanics of the Hand« – Biomechanik der Muskelfunktion und -transposition, Einfluss der Muskelarchitektur auf Muskelerersatzoperationen
1979	Moberg, Schweden	»The Upper Limb in Tetraplegia« – Grundlagen der Rekonstruktion der Arm- und Handfunktion, Klassifikation, Internationales Treffen zur Tetraplegie-Chirurgie
1985	Steinau und Biemer, Deutschland	Muskuläre Ersatzoperationen nach extremitätenerhaltender Resektion von malignen Weichteiltumoren
1992	Lieber, USA	Einfluss der Muskelarchitektur von Unterarm- und Handmuskeln im Hinblick auf Muskelerersatzoperationen
1994	Ninkovic, Österreich	Simultaner neuro-muskulo-tendinöser Transfer (M. gastrocnemius-Transposition mit mikrochirurgischem Nervenanschluss an N. peroneus bei Fallfuß)
2002	Lieber, USA und Fridén, Schweden	Experimentelle Studien zur optimalen Muskelspannung (u. a. mit Laser-Disfraktion) und Einfluss der Muskelarchitektur
2010	Fridén, Schweden	Alphabet-Operation zur einzeitigen Rekonstruktion von aktiver Flexion und passiver Extension von Daumen und Fingern und intrinsischer Handfunktion bei Tetraplegie, Frühmobilisierung möglich nach besonders stabiler Seit-zu-Seit-Sehnennaht

typische Lähmungsmuster der Poliomyelitis, die Hauptursache der Lähmungen ist und nur selten bis zu den Armen aufsteigt. Der polnische Kinderarzt Drobniak überträgt diese Idee 1894 auf die obere Extremität und stellt die Streckfunktionen bei partieller Radialisparese (durch Polio) wieder her.

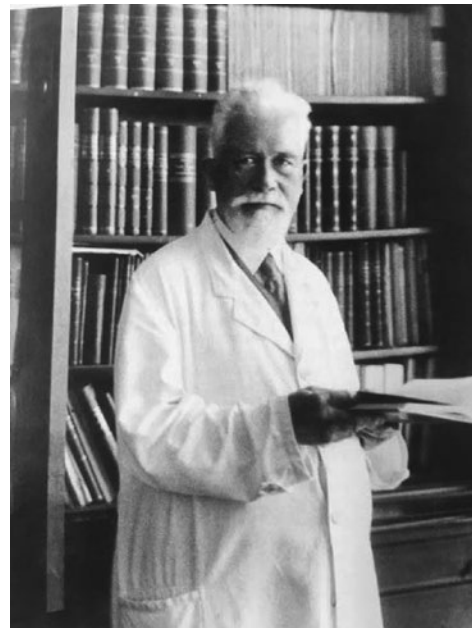
Der Chirurg **Felix Franke** (1860–1937) aus Braunschweig führt 1897 eine motorische Ersatzoperation bei kompletter Radialisparese durch. Er führt eine Transposition des M. flexor carpi ulnaris auf die Fingerstrecker und des M. flexor carpi radialis auf M. abductor pollicis und M. extensor carpi radialis brevis durch, zudem eine Tenodese beider radialer Handgelenksstrecker. Franke

»kann ... mit Recht behaupten, es gibt keine unheilbare Radialislähmung mehr, so lange wenigstens nicht der N. medianus bzw. der N. ulnaris gelähmt ist.« (Franke 1898).

Alessandro Codivilla (1861–1912), Direktor des orthopädischen Rizzoli-Instituts in Bologna, führt grundlegende Studien zu Sehnenrekonstruktion an unterer und oberer Extremität bei Poliomyelitis und Zerebralparese durch und erkennt wichtige Grundsätze, wie z. B. die Unterscheidung zwischen gelähmten und nur durch Inaktivität atrophischen Muskeln und das Ideal eines Gleichgewichts zwischen Agonisten und Antagonisten. Er beschreibt die erste Opponensplastik (mittels FDS 5) und



■ **Abb. 2.2** Typische Schlotterschulter als Folge von Poliomyelitis: »Werden nun diese Muskeln aus irgend einer Ursache functionsuntüchtig, so verliert die Kapsel ihre Spannung, der Arm aber sinkt, seiner Schwere und dem Zuge der Innenrotatoren folgend, soweit herab, als es die schlaaffe Kapsel erlaubt. Das Gewicht des Armes zieht nun beständig an der atonischen Kapsel und vermag diese dadurch in bedeutendem Maße zu dehnen. Damit ist aber die Function des Gelenkes vernichtet, es ist ein Schlottergelenk entstanden.« Und weiter: »Der ganze Arm baumelt nur noch so zu sagen an der schlaffen Kapsel. ... Ebenso ist durch die Hyperpronation des Vorderarmes der Gebrauch der Hand sehr eingeschränkt« (Hoffa 1891)



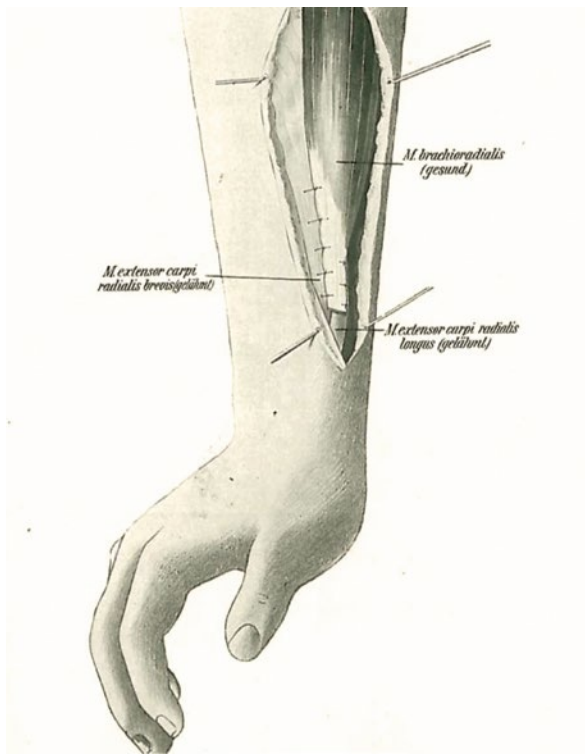
■ **Abb. 2.3** Oskar Vulpius (1867–1936) setzt sich schon um 1900 intensiv mit der Idee der Sehnentransposition bei Lähmungen an den Extremitäten, ihrer Operationstechniken und Nachbehandlung auseinander. Seinen mahnenden Worte gelten bis heute: »Wer zum Messer greift, um eine orthopädische Operation auszuführen, der übernimmt damit die moralische Verpflichtung, die Nachbehandlung in exakter Weise durchzuführen. Wer diese Forderung aus Mangel an spezieller Begabung, an Neigung, an Zeit nicht gerecht werden kann, wem die dazu nötigen Einrichtungen fehlen, der lasse korrekterweise die Hand vom Messer«. (Mit freundlicher Genehmigung des Archivs der Vulpius-Klinik Bad Rappenau)

empfiehlt postoperative Frühmobilisation der verlagerten Muskeln.

Oskar Vulpius aus Heidelberg (1867–1936) (■ Abb. 2.3) setzt sich in seinem 1902 erschienen Werk »Die Sehnenverpflanzung und ihre Verwertung in der Behandlung der Lähmungen« als einer der Ersten wissenschaftlich mit muskulären Ersatzoperationen auseinander. Liegt sein Fokus auch auf der Behandlung der Folgen der spinalen Kinderlähmung, die hauptsächlich die untere Extremität befällt, gibt er auch zahlreiche Fallbeschreibungen von Sehnentransplantationen an der oberen Extremität an. Es handelt sich um eine umfassende Darstellung der bis dahin publizierten Fälle, mit eigenen Erfahrungen und Kommentaren versehen. Vulpius beschreibt 12 Fälle von Sehnentranspositionen bei Verletzungen der Extensoren sowie 9 Fälle bei Verletzung der Flexoren der Hand, darunter 4 Fälle von Radialisparese. Interessanterweise verwendet er bereits eine Durchflechtungsnaht, die der wesentlich später von **Guy Pulvertaft** (1907–1986) beschriebenen Technik entspricht. Die Textstelle dazu zeigt sein tiefes Verständnis der Sehnenphysiologie: »Wo die Beanspruchung der Sehnen besonders stark

ist, wo eine genügend lange Ruhigstellung der operierten Extremität nicht gesichert ist, wenn die Beschaffenheit der Sehne ein Ausreißen der Sehnennähte befürchten lässt, kann man zwischen die Knopfnähte eine oder die andere durchschlungene Naht legen. Die sich kreuzenden Touren der Naht dürfen natürlich nur einen Teil der Sehne umfassen, um die Ernährung derselben nicht zu gefährden.«

Im Jahre 1913 (1. Teil 1911) veröffentlicht Vulpius mit seinem Oberarzt **Adolf Stoffel** (1880–1937) das über fast 40 Jahre konkurrenzlose Werk »Orthopädische Operationslehre« mit zahlreichen bis heute wertvollen Standardtechniken der Muskeltransposition bei bis heute aktuellen Lähmungsmustern (■ Abb. 2.4). Die zweite wichtige Grundlagenarbeit, mit experimentellen und klinischen Studien, wird schon im Sommer 1914 fertiggestellt, erscheint wegen Kriegsbeginn aber erst 1916 – »Die Physiologische Sehnenverpflanzung«, verfasst von Biesalski und seinem amerikanischen Assistenten **Leo Mayer** (1884–1972). Sie untersuchen experimentell und klinisch vor allem die verschiedenen Möglichkeiten der Sehnen-transposition und -fixation.



■ **Abb. 2.4** Erstbeschreibung der Wiederherstellung der Handgelenkstreckung durch Transposition des gesunden M. brachioradialis auf die gelähmten radialen Handgelenkstreckler, M. extensor carpi radialis longus et brevis. Heute wird diese Methode klassischerweise zur Rekonstruktion eines passiven Schlüsselgriffs bei hoher Tetraplegie (Funktionsgruppe 1) angewandt. (Aus: Vulpius u. Stoffel 1920)

2.3.2 Erster Weltkrieg

Durch die enormen Fallzahlen während des Ersten Weltkriegs gewinnen orthopädische Ersatzoperationen für die Therapie von Lähmungsfolgen nach Nervenverletzungen enorm an Bedeutung, wobei sich der Schwerpunkt von der unteren auf die obere Extremität verlagert.

Am Ende seines Buches berichtet Biesalski über »Klinische Erfahrungen nach Abschluss des Manuskripts«:

- » Da der Wortlaut des Buches schon im August 1914 fertiggestellt wurde, hat sich während der inzwischen verflossenen 2 Jahre natürlich reichlich Gelegenheit geboten, die physiologische Sehnenverpflanzung an dem großen Lähmungsmaterial meiner Klinik anzuwenden, in der bisher über 300 einzelne Sehnenverpflanzungen ausgeführt wurden. Vorbehaltlich einer späteren kritischen Veröffentlichung kann doch heute schon allgemein gesagt werden, dass die Erfolge sehr zufriedenstellend waren, ja zum Teil überraschend gut, und dass in den seltenen Fällen, wo Fehlschläge

eintraten, regelmäßig auch technische Versehen nachzuweisen waren. Auch bei spastischen Lähmungen wurden häufiger als früher Sehnenverpflanzungen mit gutem Erfolg vorgenommen ... Bei Kriegsverletzungen sind vielfach Sehnenverpflanzungen an der Hand vorgenommen worden ... (Biesalski u. Mayer 1916).

Muskel- und Sehnenverpflanzungen funktionieren noch besser als nach Poliomyelitis, da im Vergleich ein »ausgezeichnetes Ersatzmaterial« an nicht gelähmten Spendermuskeln zur Verfügung steht. Biesalski selbst übernimmt in Berlin eine Lazarettabteilung, wobei ihm für die Betreuung der 500 dort untergebrachten Soldaten ein einziger Assistent zur Seite gestellt wird. Nerven- und Sehnenplastiken, die Therapie infektiöser Komplikationen an Zentralnervensystem, Knochen und Gelenken nehmen dabei den größten Raum ein. Das mit bis zu 300 Betten belegte Zehlendorfer Lazarett wird bis zum Kriegseintritt der USA im Frühjahr 1917 durch Biesalskis Forschungsassistenten, den Amerikaner Leo Mayer, betreut (Osten 2004). Eine Vielzahl der heute noch angewendeten Operationstechniken werden im Zeitraum von 1914–1920 entwickelt (■ Tab. 2.3).

2.3.3 1920- bis 1930er Jahre

In vielen Ländern macht die Orthopädie durch die Behandlung der Kriegsverletzten enorme Fortschritte. Nach Kriegsende fasst Stoffel (1921) seine Erfahrungen zusammen:

- » Trotzdem die Kinderlähmung, die Hauptquelle der Sehnenoperationen im Frieden, dem Lazarett so gut wie niemals Arbeit macht, stehen Eingriffe am Muskelsehnenstraktus häufig auf der Liste des Operationssaales. ... Die neuheitlichen Kampfmittel verursachen oft außergewöhnlich schwere Weichteilverletzungen. Auf eine größere Strecke hin werden mehrere nebeneinanderliegende Sehnen und Muskeln zerrissen, oft zu einem Brei zertrümmert. Die bald einsetzende Eiterung vernichtet noch weitere Teile der Sehnensubstanz. Sind die ausgefallenen Funktionen hochwichtiger Natur, so müssen sie unbedingt ersetzt werden. Die jetzige Kampfweise bringt es mit sich, dass Verletzungen häufiger an der oberen als an der unteren Extremität beobachtet werden. Hierbei überwiegen noch Verletzungen der mit zahlreichen Sehnen ausgestatteten Hand und Finger, die wie kein anderes Glied kräftigste Hilfe verlangen. Eine brauchbare Arbeitshand zu schaffen, ist daher eine unserer dringlichsten Aufgaben.

Borchardt schreibt 1922 im Handbuch der ärztlichen Erfahrungen im Weltkrieg: »Ich halte es für einen Kunstfehler, wenn man die Verletzten auf die Möglichkeit operativer Heilung nicht aufmerksam macht«.

In Großbritannien erprobt **Sir Robert Jones** (1857–1933) neue Techniken zum Sehnenersatz, vor allem die heute klassische Methode zum Handgelenkstrecker-Ersatz bei Radialislähmung durch Transposition des M. pronator teres auf den M. extensor carpi radialis brevis (Jones 1916, 1921).

Sterling Bunnell (1882–1957), Captain des U.S. Army Medical Corps, behandelt an der Front in Frankreich unzähligen Kriegsverletzungen und konzentriert sein gesamtes Interesse auf die rekonstruktive Handchirurgie: Bahnbrechend und neu sind die von ihm durchgeführten Sehnen- und Nervenretransplantationen zur Defektüberbrückung nach schwerem Handtrauma, spezielle Ausziehdrahtnähte für die Sehnenrekonstruktionen und dynamische Schiene in der Nachbehandlung. Er propagiert in seinen Arbeiten 1918–1922 u. a. eine atraumatische Gewebebehandlung, Operationen in Blutleere mit Tourniquet, Verwendung von freien Sehnentransplantaten und primäre Nerven-naht und -rekonstruktion vor einem Muskelerersatz. Er legt so bereits die Grundlagen der modernen Handchirurgie, ehe 1944 sein Buch »Surgery of the Hand« erscheint, das auch die Erfahrungen des Zweiten Weltkrieges einschließt. Marc Iselin (1898–1937) aus Nanterre verfasst 1938 das später in mehrere Sprachen übersetzte Werk »Chirurgie de la Main«. Ab 1941 beschäftigt er sich fast ausschließlich mit Handchirurgie, inklusive der funktionellen Ersatzoperationen.

Wichtige Prinzipien bei Sehnentransposition nach Bunnell (veröffentlicht 1918–1922)

- Blutleere durch Tourniquet
- Atraumatische Operationstechnik
- Fettgewebe als Gleithilfe für Sehnen
- Bewahrung/Schaffung von Sehnenumlenkungen (Pulleys)
- Vermeidung von mittigen palmaren Inzisionen, um Kontrakturen zu vermeiden
- Freie Sehnentransplantate (Palmaris longus, FDS oder Zehenstrecker)
- Vorsichtig progressive Schienung, um Kontrakturen zu verbessern
- Vorbereitung des Wundbettes bei Vernarbung durch gestielte Gewebelappen
- Frühzeitige, aber nicht übertriebene Bewegungsübungen
- Opponensplastik mit Flexor carpi ulnaris als Spendermuskel (Umlenkung über Os pisiforme)

- Grundsatz »Eine Sehne – eine Funktion«
- Prinzipien der primären Nerven-naht und -rekonstruktion sind zu beachten
- (Epineurale Naht, feine Seidenfäden, deutlich bessere Ergebnisse bei distaler Nerven-naht)
- Beachtung der Sensibilität und ihrer Bedeutung für die Handfunktion

2.3.4 Zweiter Weltkrieg

Der 2. Weltkrieg verursacht erneut zahllose Schussverletzungen der oberen Extremität, vor allem des N. radialis. Von deutschen Autoren werden, ausgehend von der »Viersehnenplastik« nach Perthes (1918), mit Tenodese des Handgelenks und Kraftübertragung durch Muskelverpflanzung auf sämtliche Fingersehnen der Streckseite, verschiedene Varianten erprobt. Man versucht statt der die Handgelenksbeugung aufhebenden Tenodese die aktive Handstreckung durch Verlagerung des M. flexor carpi radialis, des M. brachioradialis oder des M. palmaris longus zu erreichen. Paul Sudeck (1866–1945) beschränkt sich 1943 auf eine »Einsehnenplastik« mit dem Flexor carpi ulnaris simultan mit der N.-radialis-Rekonstruktion, um dem Patienten durch »innere Schienung« ohne äussere Orthese sofort wieder Stabilität und Funktion zu geben – eine einfache und wirkungsvolle Technik, die sich bei besonderen Indikationen bis heute bewährt. 1944 erscheint Bunnells Buch, »Surgery of the Hand«, das zum offiziellen Lehrbuch der U.S. Army wird und weltweite Anerkennung findet.

2.3.5 Nachkriegszeit

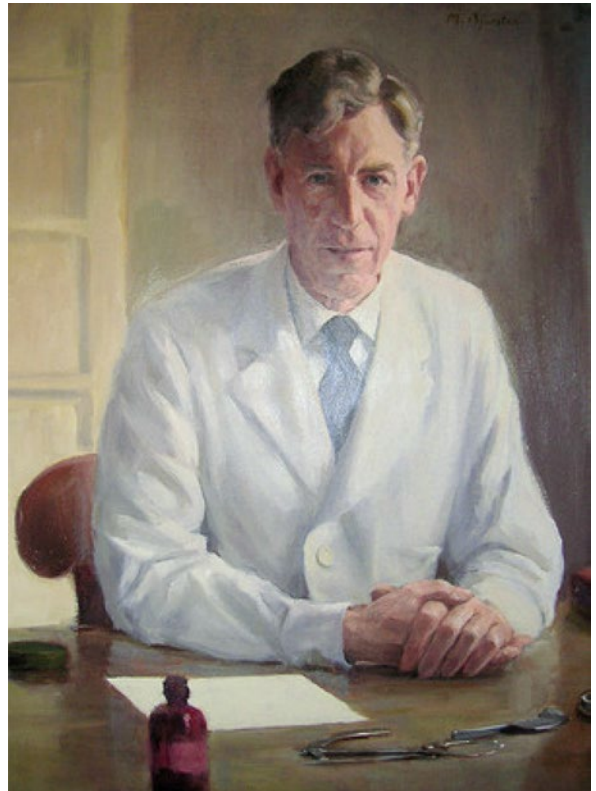
Nach dem 2. Weltkrieg werden durch Pioniere wie **Marc Iselin** (1898–1987), **Robert Merle d'Aubigné** (1900–1989) und **Raoul Tubiana** (1915–2013) in Frankreich, **Guy Pulvertaft** (1907–1986), **Douglas Lamb** (1921–2001) in Großbritannien und **Paul Brand** (1914–2003), **William Littler** (1915–2005), **Daniel Riordan** (1917–2002) in den USA eine Vielzahl unterschiedlicher Techniken entwickelt. **Joseph Boyes** (1905–1995) sammelt 1960 alle 58 bis dahin beschriebenen Techniken der Radialisplastik und trägt selbst eine neue Standardtechnik bei, Spender ist die FDS 4-Sehne. Trotz dieser enormen Vielzahl lässt sich bei den am häufigsten verwendeten Techniken ein muskuläres Verteilungsmuster erkennen, das jedoch im internationalen Vergleich der verschiedenen »Schulen« Unterschiede zeigt. Die Handgelenkstreckung wird in der Regel durch Verlagerung des N.-medianus-innervierten M. pronator

teres auf den M. extensor carpi radialis brevis wiederhergestellt (nach Jones 1916). Die Handgelenkstenodese nach Perthes hält sich in Deutschland jedoch bis nach dem Zweiten Weltkrieg, ehe die Vorteile einer aktiven Beweglichkeit gewürdigt werden. In Deutschland und Frankreich ist die Operation nach Merle d'Aubigné bis heute die häufigste Basistechnik. Hierbei wird zur Rekonstruktion der Fingerstreckung die Sehne des M. flexor carpi ulnaris transponiert. Nach dem Rat von Brand, den FCU als Handgelenksstabilisator zu erhalten, wird hingegen in den USA hierzu häufiger der M. flexor carpi radialis eingesetzt.

Durch medizinischen Fortschritt (Impfungen ab 1962) verschwindet die Poliomyelitis, die Indikationen zur Muskellersatzoperation weiten sich allerdings auf andere Patientengruppen aus, bei denen irreparable Funktionsverluste vorliegen, z. B. infolge Plexus-brachialis-Läsion, Rückenmarkverletzungen (Tetraplegie), spastischer Lähmung, rheumatoider Arthritis oder Nervenenerkrankungen wie Lepra. Entscheidend ist auch hier der Einsatz von innovativ denkenden Einzelpersonen, denen ihre Zeitgenossen nicht selten mit Skepsis oder sogar Widerstand begegneten. Zwei Beispiele illustrieren dies eindrucksvoll:

Der schwedische Chirurg **Erik Moberg** (1905–1993) (■ Abb. 2.5) widmet sich erst nach seiner Pensionierung vollkommen der Funktionsrekonstruktion an Armen und Händen von Tetraplegikern, für die er vorher nicht ausreichend Zeit gehabt habe. Durch weltweite Kontakte und unermüdliche Aufbauarbeit gelingt es ihm dieses nach Fehlschlägen der 1950er- bis 1960er Jahre »verbotene Feld« international neu zu erschließen. Die von Moberg konzipierte internationale Klassifikation und sinnvolle Richtlinien stehen am Anfang einer bis andauernden Entwicklung der spezialisierten Tetraplegie-Handchirurgie (Moberg 1979; Fridén 2005; Fridén u. Gohritz), die bis heute Tausenden Betroffenen mehr Eigenbestimmung, Mobilität, Privatsphäre und Unabhängigkeit schenkt.

Der britische Handchirurg **Paul Brand** (1914–2003) weist nach, dass bei Hansen-Erkrankung (Lepra) Verletzungen, Geschwüre und Gliedmaßenverlust infolge fehlender Schutzsensibilität durch bakteriell-bedingte Neuropathie entstehen - und nicht, wie zuvor angenommen, als unmittelbare Folge der Erkrankung selbst. Er wird berühmt durch seine Sehnenverpflanzungen an den Händen und plastisch-chirurgische Wiederherstellung der Gesichtsformen von Leprakranken. Seine Erfahrungen beruhen auf der chirurgischen Behandlung von Opfern des Bombenkriegs in London und der Behandlung von Poliopatien während des Zweiten Weltkriegs. Zur Forschung, Rehabilitation und erleichterten Reintegration von Leprakranken gründet er 1950 in Vellore, Indien das New Life Center mit Werkstätten und Hütten, in denen die Patienten wohnen und neue Fertigkeiten erlernen. Später überträgt er seine Studien und Therapiekonzepte zum



■ **Abb. 2.5** Erik Moberg (1905–1993) wird 1958 in Göteborg Leiter der ersten selbständigen Abteilung für Hand- und Extremitätenchirurgie Europas. Nach seiner Emeritierung 1970 widmet er sich schwerpunktmäßig der chirurgischen Rekonstruktion der Arm- und Handfunktion bei Tetraplegikern und erreicht durch sein Engagement einen weltweiten Erfahrungsaustausch, der zu einer bis heute gültigen Klassifikation und anerkannten Therapiegrundsätzen auf diesem Gebiet führt. Ein von ihm 1978 erstmalig ins Leben gerufenenes internationales Treffen findet weiterhin alle 3 Jahre statt

Schmerzempfinden (»The Gift of Pain«) auch auf andere Neuropathien, z. B. bei Diabetikern. Seine Forschungen zur Biomechanik der Muskelfunktion an Unterarm und Hand, insbesondere auch hinsichtlich von Muskelverlagerungen, werden zum Grundwissen für Handchirurgen und Physiotherapeuten (Brand 1952, 1985).

2.3.6 1970er Jahre bis heute

Die verstärkte Motorisierung in der Nachkriegszeit erhöht die Anzahl von Armplexusverletzungen, insbesondere durch Motorradunfälle. Mit der Etablierung der Mikrochirurgie treten Muskellersatzoperationen jedoch in den Hintergrund, ja geraten teilweise in Vergessenheit. Patienten mit komplexen Nervenausfällen, bei denen mikrochirurgische Rekonstruktionsversuche scheitern, bleiben nicht selten sich selbst überlassen. Das einsetzende

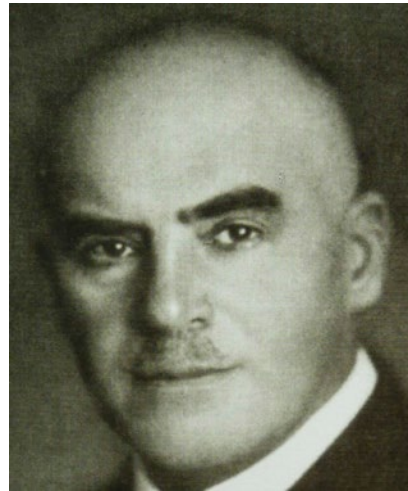
Bewusstsein um die nicht selten verbleibenden Restdefekte nach mikrochirurgischer Rekonstruktion – vor allem bei proximalen Läsionen – führen jedoch zu einer Rückbesinnung auf muskuläre Ersatzoperationen in den 1980er Jahren. Auch Patienten mit Extremitätenerhalt bei malignen Weichteiltumoren profitieren oft durch Muskelerersatzoperationen, die Gebrauchsfähigkeit eines Arms oder Beines auch nach onkologischer Resektion ganzer Muskelgruppen entscheidend verbessern (Steinau u. Biemer 1985). Lieber und Fridén (2002) klären durch experimentelle und klinische Studien, welche wichtige Rolle die Architektur und Spannung des Spendermuskels auf Exkursion und Kraftentwicklung bei Muskeltranspositionen spielt. Sie messen hierzu mittels Laser-Disfraktion die intraoperativen Längenunterschiede des Sarkoms, der kleinsten kontraktile Muskeleinheit.

2.4 Geschichtliche Entwicklung der peripheren Nerven Chirurgie und nervalen Ersatzoperationen

2.4.1 Anfänge

Parallel zur Entwicklung der Sehnervenverpflanzung entwickelten sich die Chirurgie der peripheren Nerven und die Nervenersatzoperationen (■ Tab. 2.4). Voraussetzung für nervale Ersatzoperationen ist ein verbessertes Verständnis der Anatomie, Physiologie und Pathologie des peripheren Nervensystems. Die Vorgänge der Nervengeneration und -regeneration liegen von der Antike bis zu den Arbeiten von Augustus Waller (1856–1922) und Santiago Ramon y Cajal (1852–1934) zum Ende des 19. Jahrhunderts weitgehend im Dunklen (■ Tab. 2.4). Falsche Vorstellungen über die Vorgänge der Nervenregeneration sind oft Grund für widersinnige Behandlungsdogmen, irrtümliche Techniken und schlechte klinische Ergebnisse. Beispiele sind Instrumente zur exzessiven Nervenverlängerungen oder Nervenlappen mit dem Ziel der Defektüberbrückung.

Der heute in Vergessenheit geratene orthopädische Chirurg **Adolf Stoffel** (1880–1937) (■ Abb. 2.6) erkennt bereits 1909, dass Nerven nicht »seilartige Strukturen« wie Sehnen sind, sondern ihre »Topographie« aus funktionell unterschiedlichen motorischen und sensorischen Fasern besteht. Basierend auf Nervenquerschnitts-Studien entwickelt er Techniken zur Neurotomie und Nervenverpflanzung an der oberen und unteren Extremität. Stoffel arbeitet am Universitäts-Institut für Anatomie in Heidelberg, bevor er seine orthopädische chirurgische Ausbildung bei Vulpius aufnimmt, der seine anatomischen Studien über die Topographie motorischer und sensorischer Fasern in peripheren Nerven fördert.



■ **Abb. 2.6** Adolf Stoffel (1880–1937) nimmt als Pionier der faszikulären Nerven Anatomie, selektiven Neurektomie und Nervenverpflanzung in seinen Arbeiten viele erst in den letzten Jahrzehnten wiederentdeckte Ideen proximaler und distaler Nervenverlagerungen vorweg

Im Jahr 1911 entwickelt Stoffel eine Operation zur selektiven Neurotomie bei spastischen Extremitätenlähmungen, die bis heute seinen Namen trägt. Sie erlebt als »partielle Neurektomie« in den letzten Jahren bei Spastiken an Arm und Hand eine Renaissance (Parot u. Leclercq 2016). Die mit Vulpius verfasste »Orthopädische Operationslehre« enthält eine Vielzahl von selektiven Nervenverpflanzungen an der oberen und unteren Extremität (■ Tab. 2.5). Diese werden teilweise erst 80 Jahre später »neu« entdeckt, z. B. die Reanimation des gelähmten N. axillaris durch Nervenfaszikel des N. radialis (zum Caput longum und mediale) oder die Verpflanzungen von Fasern des N. peroneus auf den N. tibialis (■ Tab. 2.5). Stoffel verwendete für diese Operationen intraoperativ elektrische Nervenstimulation, um motorische Spenderfaszikel auf Höhe des Empfängers sicher identifizieren und verlagern zu können (■ Abb. 2.7 und ■ Abb. 2.8). Bereits 1910 prophezeit er: »Vergleichen wir heute prüfend Grad und Sicherheit der Erfolge mittels Sehnervenverpflanzung und Nervenplastik, so stellt sich freilich die erstere als Goliath dar. Aber es lässt sich ahnen, dass ihr in der Nervenverpflanzung ein sieghafter David ersteht« (Vulpius u. Stoffel 1910).

2.4.2 Erster Weltkrieg

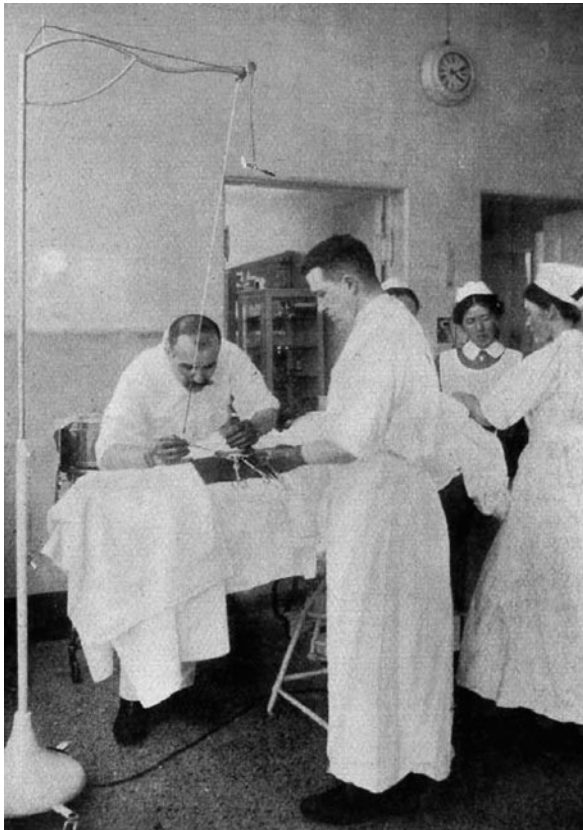
Die Behandlung peripherer Nervenverletzungen wandelt sich dramatisch durch die massenhaften anfallenden Schussverletzten des 1. Weltkrieges, mit denen die Lazarette ab 1914 überschwemmen. Allein vom französischen

Tab. 2.4 Entwicklung der peripheren Nerven Chirurgie und nervalen Ersatzoperationen

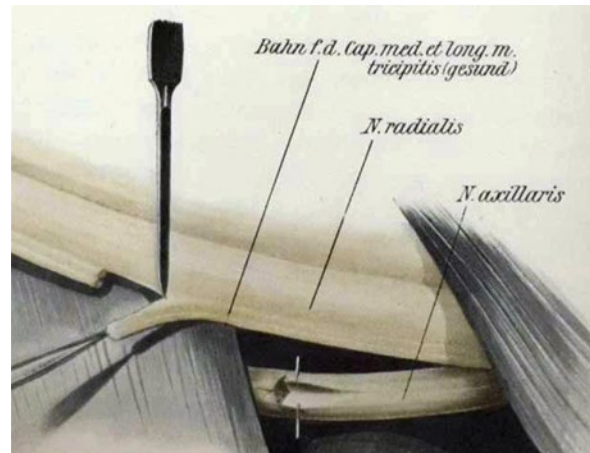
Jahr/Zeitraum	Protagonist, Herkunftsland	Ereignis/Beschreibung
Altes Testament, Bibel (ca. 1500 v. Chr.)	Jakob, Israel	Erstbeschreibung einer Nervenläsion – vermutlich N.-ischiadicus-Läsion beim Kampf mit abtrünnigem Engel (Genesis 32: 25–33): »... und er hinkte an seiner Hüfte«
Antike, ca. 400 v. Chr.	Hippokrates (460–377 v. Chr.), Griechenland	Keine Behandlung von Nervenverletzung, Furcht vor Komplikationen (Konvulsion und Tod)
Ca. 300 v. Chr.	Herophilus (325–255 v. Chr.), Griechenland	Größter Anatom der Antike, unterscheidet Sehnen und Nerven (sensible und motorische Anteile)
1608	Ferrara, Italien	Erste Naht nach Nervendurchtrennung
1828	Fluorens (Italien)	Nerventransposition von Beuger- auf Strecker am Hühnerflügel
1851	Waller, UK	Degeneration und Regeneration von Nerven nach Durchtrennung
1863/70	Phillipeaux/Vulpian, Frankreich	Nerveninterposition (N. hypoglossus/N. lingualis)
1864	Nélaton, Frankreich	Sekundäre Nervennaht
1871	Hueter, Deutschland	Primäre epineurale Nervennaht
1873	Létiévant, Frankreich	Nervenplastik, z. B. End-zu-Seit-Neuorrhaphie
1875	Albert, Österreich	Klinische Anwendung von (xenogenem) Nerveninterponat
1882	Vanlair, Frankreich	Erfolgreiche Nerventubulation (Knochen) für 3 cm N. ischiadicus
Seit 1890	Ramon y Cajal, Spanien	Histologie peripherer Nerven, Nachweis axonaler Aussprossung nach Nervendurchtrennung
1910, 1912	Stoffel, Deutschland	Nervenquerschnittstudien, Topographie sensibler und motorischer Fasern, selektive Neurektomie bei Spastik (Stoffel-Operation 1911)
1915	Hofmann, Deutschland Tinel, Frankreich	Klopffzeichen bei Nervenschädigung/-regeneration
1914	Heineke, Erlacher, Deutschland	Direkte Muskelneurolisation (Implantation eines Nervenstumpfes)
1914–20	Foerster, Deutschland	Spezielle Symptomatologie und Therapie von mehr als 4000 Schussverletzungen peripherer Nerven – Basis für moderne Techniken der Nervennaht, Rekonstruktion mit Interponaten und Verlagerung (zusammengefasst 1929)
1939	Bunnell und Boyes, USA	»Cable grafting« (Kabelinterponate) zur Nervenüberbrückung
1940	Young und Medawar, England	Fibrinkleber zur Nervenkoaptation (N. accessorius und ulnaris)
1943	Seddon, England	Klassifikation der Nervenverletzung in 1. Neuropraxie, 2. Axonotmesis und 3. Neurotmesis
1948	Lurje, Russland	Nerventranspositionen an Schulter und Oberarm
1951	Sunderland, Australien	5 Grade der Nervenläsionen (auf Basis der Seddon-Klassifikation)
1960	Jacobsen, USA	Operation unter dem Mikroskop bei Extremitätenverletzungen
1962	Millesi, Österreich	Spannungsfreie faszikuläre Nervennaht und Nerveninterposition
1964	Smith, USA	Mikrochirurgie peripherer Nerven
1965	Benassy, Frankreich	1. Nerventransfer bei Tetraplegie (Brachialis-Ast auf N. medianus)
1968, 1978	Sunderland, Australien	»Nerves and Nerve Injuries«: v. a. Studien zur Nerventopographie
1972	Seddon, UK	»Disorders of the Peripheral Nerves«, Pathologie der Nervenschädigung
1976	Taylor und Ham, Australien	Freie vaskularisierte Nerventransplantate
1988	Mackinnon und Dellon, USA	»Surgery of the Peripheral Nerve«, Zusammenfassung des Kenntnisstandes, v. a. Mikrochirurgie, Nervendekompression, Schmerzbehandlung (Neurome) und Sensibilitätsmessung, Unterteilung der Nervenverletzungen in 6 Grade

■ Tab. 2.4 (Fortsetzung)

Jahr/Zeitraum	Protagonist, Herkunftsland	Ereignis/Beschreibung
1988	Lundborg, Schweden	»Nerve Injury and Repair« – Nervenrekonstruktion und -regeneration
1992	Millesi, Österreich	»Chirurgie der peripheren Nerven« – Anatomie und Operationstechniken
1994	Oberlin, Frankreich, Leechavengvongs, Thailand u. a.	Proximale Nervenfaszikeltranspositionen zur Rekonstruktion von Bizeps- und Schulterfunktion, v. a. bei oberer Plexusläsion
2004	Kuiken, Dumanian, USA	»Targeted muscle reinnervation« (gezielte Nerventranspositionen zur gedanklichen Steuerung bionischer Prothesen nach Arm- und Beinamputation)
2004	Lundborg, Schweden	»The Nerve and the Brain« – Zusammenspiel von Hand und Gehirn – Gehirnplastizität
2010 bis heute	Bertelli, Brasilien, Mackinnon, USA u. a.	Proximale und distale Nerventranspositionen bei Verletzung des Plexus brachialis, distaler Stammnerven und Tetraplegie
2011	Xu, China	Kontralaterale C7-Reinnervation bei spastischer Hemiplegie



■ Abb. 2.7 Adolf Stoffel bei intraoperativer Nervenstimulation während einer operativen Exploration der Fasern des N. ischiadicus in der Kniekehle



■ Abb. 2.8 Selektive Nerventransposition von motorischen Axonen des N. radialis auf den N. axillaris zur Wiederherstellung der Schulterabduktion (M. deltoideus) nach Stoffel, farbige illustriert von seiner Frau Edda (Vulpius u. Stoffel 1920)

Service de Santé werden schätzungsweise 30.000, auf britischer Seite bis 1918 mindestens genauso viele Nervenverletzten versorgt. Geschätzt weisen 20 % aller »Schwerverletzten« auch Nervenverletzungen auf. In spezialisierten Lazaretten, in Großbritannien geleitet von Sir Robert Jones (1857–1933) und in den USA von Gorgas und Frazier, werden Forschungslabore und ein Register für Periphere Nervenverletzungen eingerichtet (Hanigan 2010).

Tab. 2.5 Adolf Stoffels Techniken der (faszikulären) Nerventransposition (1920)

Spendernerven	Empfängernerv
Obere Extremität	
Faszikel zu Caput longum/mediale M. triceps des N. radialis	N. axillaris
Faszikel des N. radialis	N. musculocutaneus/N. medianus
N. subscapularis (Ast zum M. teres major)	N. axillaris
Faszikel des N. medianus	N. ulnaris (intrinsische Handfunktion)
Untere Extremität	
Spendernerven	Empfängernerv
Faszikel des N. ischiadicus	Nn. gluteales (M. gluteus maximus, medius und minimus)
N. obturatorius	N. femoralis
N. tibialis	N. peroneus profundus et superficialis

Hervorragend auf deutscher Seite wirkt der Neurologe und autodidaktische Nervenchirurg **Otfried Foerster** (1867–1942 (Abb. 2.9), der von 1914–20 insgesamt 4.787 Schussverletzungen peripherer Nerven behandelt, von denen er selbst 745 selbst operiert. Foerster erfasst Symptomatologie, Therapie und Verlauf seiner Patienten minutiös und schafft so wichtige Grundlagen zur modernen Rekonstruktion, Transplantation und Transposition peripherer Nerven. Konfrontiert mit Tausenden von Schussverletzungen – und dem Desinteresse und miserablen Ergebnissen seiner chirurgischen Kollegen – entscheidet er 1914 als Neurologe selbst zu operieren, obwohl er nie eine chirurgische Ausbildung erhalten hat. Er begründet dies folgendermaßen: »Ich musste die Diagnose stellen, den Patienten in den Operationssaal bringen, dem Chirurgen sagen, wo er operieren soll, ihm sagen was er tun soll, wenn er drin ist. Und dann starben alle Patienten – ich entschied, dass ich es nicht schlechter machen könnte« (Gohritz et al. 2013).

Foerster führt erfolgreich Neurolysen und Nervenrekonstruktionen mittels Interposition entbehrlicher sensibler Nerven (N. suralis ab 1916) durch, ebenso intraplexale Neurotisationen und zahlreiche Nervenverlagerungen an den oberen und unteren Gliedmaßen. Bei Nervennähten achtet er auf feinste und spannungsfreie Technik. Er legt größten Wert auf die postoperative Rehabilitation mit Hilfe von Elektrostimulation und Physiotherapie, um die auch über die Plastizität des Gehirns die Ergebnisse nach nervaler Regeneration zu



Abb. 2.9 Otfried Foerster (1867–1942) bei der Untersuchung des sensiblen Versorgungsgebietes des Nervus suralis, den er wahrscheinlich als Erster seit 1916 zur Überbrückung zahlreicher motorischer Nervendefekte nach Schussverletzungen des Ersten Weltkrieges einsetzte

optimieren. Sein langjähriger Schüler, **Sir Ludwig Guttman** (1899–1980), der nach seiner Emigration im Zweiten Weltkrieg zum Vater der modernen Behandlung von Querschnittsgelähmten wird, sieht diese überaus sorgfältigere und systematische Nachbehandlung als Hauptgrund für Foersterns Erfolg trotz widriger Bedingungen: »Mit anderen Worten ein besseres Verständnis der Rehabilitation« (Gohritz et al. 2013).

Foersterns Prinzipien und Techniken bei der Funktionswiederherstellung bei peripheren Nervenläsionen (1929)

- Komplette Entfernung von Narbengewebe, um neue Koaptation zu ermöglichen
- Superfeines Nahtmaterial (dünnste Seidenfäden oder Frauenhaar)
- Naht nur des Perineuriums
- Sorgfältige Blutstillung
- Strenge Antisepsis
- Mobilisation der Nervenstümpfe/Relaxation durch adaptierte Gelenkstellung
- Überbrückung von Nervendefekten mittels sensibler Nervenkel
- Direkte Nerv-Muskel-Implantation, wenn Naht unmöglich (N. musculocutaneus, N. radialis, N. medianus, N. peroneus profundus)
- Nerventransposition (»Nervenpfropfung«) bei Plexus-brachialis-Läsionen (Spendernerven: Nn. pectorales, N. subscapularis, N. thoracicus longus, N. thoracodorsalis)

2.4.3 1920er- bis 1930er Jahre

Nach dem Krieg ist eine sorgfältige Nachuntersuchung in vielen Zentren problematisch, weil Aufzeichnungen verloren gehen und die Patienten aus der Beobachtung entlassen wurden. Das Fehlen eines standardisierten Beurteilungssystems beeinträchtigt die Möglichkeit, klinische Veränderungen zu dokumentieren und Ergebnisse miteinander zu vergleichen (Hanigan 2010). Im Gegensatz dazu ist Foerster in der Lage, den Verlauf der meisten seiner Patienten persönlich zu verfolgen. Er kann die postoperative Entwicklung mehrere Jahre postoperativ mit Muskel- und sensorischen Tests, Fotografien und Filmen und Färbungen der Schweißproduktion dokumentieren, um die Funktionswiederkehr zu beweisen. Als persönlicher Arzt von Lenin nach seinem Schlaganfall verbringt Foerster fast zwei Jahre in Sibirien und verdichtet dort seine Erfahrungen und Dokumente in zwei Bänden, die 1929 veröffentlicht werden. Leider sind diese Meisterwerke nie aus dem Deutschen übersetzt und daher nicht allgemein bekannt geworden (Gohritz et al. 2013). Die Forschung zur Nervenregeneration intensiviert sich in den 1930er Jahren in Erwartung eines bevorstehenden globalen Konflikts. Bunnell und Boyes veröffentlichten 1939 das Konzept des »cable grafting« zur Überbrückung von Nervendefekten.

2.4.4 Zweiter Weltkrieg (1939–1945)

Während des Zweiten Weltkrieges beherrschen in der US Army Neurochirurgen das Gebiet der peripheren Nerven Chirurgie, im Vereinigten Königreich sind es die orthopädische Chirurgen. Neurologen tragen sehr wertvolle Neuerungen zur Diagnostik und Beurteilung von Nervenverletzungen und ihrer Behandlungsergebnisse bei, so veröffentlichten 4 renommierte Neurologen des British Medical Research Council eine wichtige Broschüre, die eine quantitative Bewertung der Muskelkraft beschreibt und in einem Atlas mit Diagrammen zeigt, wie die Schlüssel-muskeln mit ihrer Innervation und die wichtigsten sensiblen Dermatome klinisch geprüft werden.

Die chirurgische Erfahrung des Zweiten Weltkrieges führt zu einer neuen Klassifizierung von Nervenverletzungen und einem verfeinerten Timing für chirurgische Eingriffe. Führend ist hier die Forschungsgruppe aus Oxford, wo **Herbert Seddon** (1903–1977), Professor für Orthopädische Chirurgie, von einem Team herausragender junger Chirurgen und Neurowissenschaftler unterstützt wird. Seddon klärt wichtige Aspekte der Pathologie peripherer Nervenverletzungen und definiert 3 Schädigungsgrade (Neurapraxie, Axonotmesis, Neurotmesis), für die er das jeweilige Management vorschlägt (Seddon 1943, 1972). Die australischen Streitkräfte überweisen ab 1941 sämtli-

che peripheren Nervenverletzungen an das Allgemeine Krankenhaus in Heidelberg bei Melbourne, das von dem Professor für Anatomy und Experimentelle Neurologie, **Sidney Sunderland** (1910–1993), geleitet wird. Bis 1945 studiert Sunderland anhand von klinischen Parametern und Laboruntersuchungen die Behandlungsergebnisse Hunderter peripherer Nervenverletzungen.

2.4.5 Nachkriegszeit

Nach 1945 werden Nachuntersuchungsdaten von mehr als 7.000 Nervenverletzungen aus Zentren in Großbritannien und den USA verfügbar, es zeigen sich jedoch oft schlechte Ergebnisse nach peripherer Nerven naht und Nerven transfer, besonders entmutigend sind die Resultate nach Plexus-brachialis-Verletzungen. Die Forschung der Nachkriegszeit beschäftigt sich daher mit den Zielen einer verbesserten Technik zur Nerventransplantation, intraoperativen Diagnoseverfahren und Strategien zur Funktionsrekonstruktion nach Plexus-brachialis-Verletzungen. Sunderlands Fähigkeit, klinische, anatomische und pathologische Befunde zu kombinieren verleiht ihm über einen langen Zeitraum große Autorität. 1968 veröffentlicht er sein monumentales Buch, »Nerves and Nerve Injuries« (2. Auflage 1978). Er leistet hervorragende Untersuchungen zur inneren Topographie der peripheren Nerven, die besondere Relevanz gewinnen, als in den 1960er Jahren mit neuen mikrochirurgischen Methoden versucht wird, die Ergebnisse durch eine faszikuläre Nervenrekonstruktion zu optimieren.

2.4.6 Ära der Mikrochirurgie (seit 1960er Jahren)

Die medikamentöse Antikoagulation und das Operationsmikroskop sind die technologische Voraussetzungen für den Durchbruch der Mikrochirurgie von Gefäßen mit einem Durchmesser von unter 1 mm. Parallel zur Etablierung der Mikrogefäßchirurgie durch Replantation (eines komplett abgetrennten Daumens 1965 durch Komatsu und Tamai) sowie spätere Gewebetransplantationen in den 1970 und 1980er Jahren entwickelt sich die periphere Nerven Chirurgie. Die »spannungsfreie« Technik bei der Direktnaht oder Überbrückung mit autologen Interponaten wird vor allem durch **Hanno Millesi** (*1927) aus Wien zum anerkannten Goldstandard.

Die erstaunlich guten klinischen Erfolge werden zunächst nicht selten angezweifelt. Millesi veröffentlicht mit seinen Mitarbeitern Meissl und Berger in Wien weltweit beachtete Erfolgsserien nach spannungsfreier Nerven naht an den oberen Stammnerven. Eines Tages ruft der berühm-

te schwedische Handchirurg Erik Moberg bei ihm an und kündigt sich für die folgende Woche an, um persönlich eine Anzahl von Patienten nachzukontrollieren. Überzeugt wird der skeptische Moberg durch eine Patientin mit mittel-mäßiger Funktionsrückkehr nach Ulnaris-Neurolyse – erst nach Hinweis des Operators bemerkt er, dass zusätzlich ein 12 cm langer Defekt des N. radialis rekonstruiert worden war (Mackinnon 2015; Millesi 2016). Millesi beweist, dass »völliges Fehlen der Spannung an der Nahtstelle als wichtigster Faktor für eine erfolgreiche Nervenreparatur« anzusehen ist und die gezielte interfaszikuläre Nervenrekonstruktion zu einer besseren Funktionswiederkehr führt. Trotz anfänglicher Begeisterung können sich freie vaskularisierte Nerventransplantate (Taylor u. Ham 1976) in der Klinik nicht durchsetzen. Die Forschungen der folgenden Jahrzehnte bis in die Jetztzeit konzentrieren sich auf Verfeinerung der grundlegenden Operationstechniken, ein tieferes Verständnis der Nervenbiologie und -anatomie (Gleitgewebe), besseres Nahtmaterial und biologische Implantate zum Nervenersatz, inklusive Allografts und Heterotransplantation (Millesi 1990, 2004).

2.4.7 21. Jahrhundert

Ein moderner Forschungsschwerpunkt wird die zentrale Reorganisation oder »Gehirnplastizität« nach peripheren Nervenverletzung, deren gezielte Beeinflussung funktionelle Verbesserungen ermöglicht (Lundborg 2004). Die Transposition entbehrlicher Spenderaxone erlebt auch bei Patienten mit Halsrückenmarkschädigung (Tetraplegie) eine Renaissance und ergänzt die klassischen Methoden. Zur Wiederherstellung einer aktiven Handöffnung empfiehlt Bertelli die Verlagerung der Supinator-Äste auf den N. interosseus posterior (S-PIN-Operation) sowie Axontransfers zur Wiederherstellung der Ellenbogenstreckung und Beugerfunktion der Hand (Bertelli et al. 2016). In manchen Fällen wird die Nervenretransposition mit klassischen Muskelverlagerungen und Gelenkstabilisierungen auch kombiniert (Fridén u. Gohritz 2015). Bahm rekonstruiert mittels Nervenverlagerungen wichtige Armfunktionen bei Arthrogryposis multiplex (Bahm et al. 2015). Seit einigen Jahren kontrollieren Armamputierte ihre bionische Prothesen mittels gezielter Muskelreinnervation (»targeted muscle reinnervation«). Mit der gleichen Technik ist es möglich, sehr schwache Nervenimpulse durch transplantierte Muskeln zu amplifizieren und komplett funktionslose Hände nach Unterarm-Amputation durch gedankengesteuerte Prothesen zu ersetzen (Aszmann et al. 2015). Bei Patienten mit Hemiplegie kann durch Reinnervation aus der kontralateralen C7-Nervenwurzel eine Reduktion der Spastik und Verbesserung der Extremitätenfunktion erzielt werden (Xu et al. 2011).

2.5 Behandlung von Verletzungen des Plexus brachialis

2.5.1 Von weltgeschichtlicher Bedeutung?

Die historische Entwicklung von Verletzungen des Armnervengeflechts (Plexus brachialis) soll extra dargestellt werden (■ Tab. 2.6) – nicht zuletzt, weil ihr weltgeschichtliche Wichtigkeit zugesprochen wird (Ober 1992): Der berühmteste Plexuspatient ist der letzte deutsche **Kaiser Wilhelm II** (1859–1942) (■ Abb. 2.10). Zahlreiche Zeitgenossen und später Historiker und Psychologen sehen den Schlüssel zum Verständnis dieser geschichtlichen Unglücksgestalt in seinem lebenslangen Kampf gegen die Schwäche seiner körperlichen Behinderung und dem kompensatorischen Wunsch nach Dominanz und Stärke. Wilhelm selbst ist überzeugt: »... ein Engländer hat meinen Arm verkrüppelt« und meint damit den von seiner Großmutter Queen Victoria geschickten Geburtshelfer.

Die damaligen Therapieversuche der berühmtesten Kapazitäten erscheinen heute wie eine »grauenvolle Kindesmisshandlung« (Röhl 2008) (■ Tab. 2.7). Neben ständigen kalten Bädern, Massagen und Bewegungsübungen muss sich der Prinz ab dem Alter von einem halben Jahr zweimal wöchentlich »animalischen Bädern« unterziehen, d. h. der linke Arm wird für jeweils für eine halbe Stunde in ein noch warmes, frisch geschlachtetes Kaninchen gesteckt. Um die Benutzung des gelähmten



■ **Abb. 2.10** Der letzte deutsche Kaiser Wilhelm II. (1859–1942) als Kind. Sein vermutlich durch geburts-traumatische Plexusläsion gelähmter und (im Erwachsenenalter um ca. 15 cm) verkürzter linker Arm ist optisch durch einen Handschuh verlängert. (Mit freundlicher Genehmigung des Archivs des Hauses Hessens)

Tab. 2.6 Entwicklung der Behandlung von Plexus-brachialis-Läsionen

Jahr	Autor, Herkunft	Beschreibung/Erkenntnis
Antike Ca. 700–800 v. Chr.	Homer, Ilias, Griechenland	Erstbeschreibung einer Armlähmung nach Plexus-brachialis-Verletzung (durch Speerstich und Steinschlag im Schulterbereich)
Ca. 1505	Dürer, Deutschland	Bild »Madonna mit Kind« zeigt typische Anzeichen oberer Plexusläsion
1768	Smellie, Schottland	Erste englischsprachige Beschreibung einer Plexus-brachialis-Läsion nach Zangen- geburt (1746)
1827	Flaubert, Frankreich	Neurovaskuläre Traktionsverletzungen des Plexus brachialis (mit Ausriss von C6–Th1 und A. axillaris) bei Reduktion veralteter Schulterdislokationen
1861	Duchenne, Frankreich	Begriff der »obstetrischen Plexusläsion« anhand von 4 Neugeborenen
1872	Mitchell, USA	Schmerzsyndrom nach Plexus-brachialis-Läsion im Amerikanischen Bürgerkrieg (»causalgia«) - nur Dekompression, keine Naht durchgeführt
1875	Erb, Deutschland	Erbscher Punkt (Punctum nervosum), obere Plexusläsion (C5–6, Typ Erb)
1877	Seeligenmüller, Deutschland	Komplette (totale) geburtstraumatische Plexusläsion
1885	Augusta Klumpke, USA, Frankreich	Untere Plexus-brachialis-Läsion (C7–Th1, Typ Klumpke) mit Horner-Syndrom
1885	Sécretan, Frankreich	Studie von 24 Fällen von Plexusläsion in der deutschen, französischen und engli- schen Literatur
1898 1899	Duval und Guillain, Frankreich Horsley, UK	Experimentelle Studien ergeben, dass bei geschlossenen Plexusläsionen entweder Elongation (spontane Besserung) oder Wurzelaustriss (Therapie unmöglich) vorliegt
1900	Thoburn, UK	Erste chirurgische Behandlung des Plexus brachialis 7 Monate nach schwerem Traktionsschaden (teilweise Funktionswiederkehr) – hellsichtige Analyse des chirur- gischen Problems
1903	Kennedy, Schottland	Chirurgische Neurom-Resektion und Direktnaht der Nervenstümpfe nach ge- burtstraumatischer Plexusläsion
1903	Harris und Low, UK	Intraplexuale Neurotisation (»cross-union«) bei zervikalem Wurzelaustriss infolge Geburtstrauma
1913	Tuttle, UK	Neurotisation aus Plexus cervicalis und intraplexalen Wurzeln bei Plexus-brachialis- Läsion
1913	Fairbanks, USA	Subluxation und Innenrotation der Schulter als Plexuslähmungsfolge
1914–1920	Foerster, Deutschland	Erfolgreiche Operation von 64 Plexus-brachialis-Verletzungen während und nach dem 1. Weltkrieg (zusammengefasst 1929)
1916, 1918	Sever, USA	36-seitige Monographie über Plexus-brachialis-Läsion, Untersuchung von mehr als 1100 Fällen: Skepsis gegenüber Nervenoperation, Physiotherapie und Muskelumla- gerung empfohlen
1916, 1917	Sharpe und Wyeth, USA	Auswertung von 81 kindlichen Plexusoperationen – Intervention im 1. Lebensmonat empfohlen
1920	Taylor, USA	Vergleich von 70 operierten und 130 nicht operierten Fällen von Plexuslähmung – oft erstaunliche Besserung nach Operation, nur 1 % spontane Erholung
1934	Stevens, USA	Sofortige Revision bei Plexusläsion empfohlen, aber Operation bei Traktionsverlet- zung mit Wurzelruptur sei »verlorene Hoffnung«
1936	Bonola, Italien	Bericht über zunehmende Plexusverletzungen durch Motorradunfälle
1934, 1939	L' Episcopo, USA	Operationen zur sekundären Rekonstruktion, v. a. zur Schulteraußenrotation
1942	Scaglietti, Italien	Mehrere Hundert Fälle von Neurolysen und Direktnähten bei Plexusläsionen
1961/63	Seddon, UK	Interkostalis-Transfer zum Bizepsersatz mit Interponat – nur bescheidener Erfolg
Seit 1964	Millesi, Österreich	Beginn mit mikrochirurgischen Plexus-brachialis-Operationen, v. a. Neurolyse und Rekonstruktionen mit spannungsfreier interfaszikulärer Naht und Interposition

■ Tab. 2.6 (Fortsetzung)

Jahr	Autor, Herkunft	Beschreibung/Erkenntnis
1966	SICOT (Société Internationale de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique)	Internationale Sitzung in Paris mit Beschluss, die Behandlung von Traktionsverletzungen des Plexus brachialis sei nicht sinnvoll, Empfehlung: Amputation und Prothesenversorgung
Seit Mitte 1960er	Narakas, Schweiz (Litauen)	Etablierung mikrochirurgischer Operationen am Plexus brachialis, Klassifikation, internationales Treffen zur Plexus-brachialis-Chirurgie
1972	Tsyuyama und Hara	Direkter Intercostalis-Transfer (ohne Interponate) – bessere Ergebnisse
1980	Wynn Parry, UK	Serie von 275 Patienten zeigt Schmerzsyndrome v. a. bei Wurzelausrissen
1981	Narakas, Schweiz (Litauen)	Chirurgische Therapie kann Auftreten von Schmerz erheblich reduzieren
1977	Millesi, Österreich	Mikrochirurgische Rekonstruktion bei 56 Patienten, 70 % mit Funktionsbesserung nach >5 Jahren
1984	Gilbert und Tassin, Frankreich	Überzeugende Ergebnisse nach frühzeitiger mikrochirurgischer Primärrekonstruktion des kindlichen Plexus brachialis in 180 Fällen
1987	Narakas, Schweiz (Litauen)	Klassifikation der (kindlichen) Plexusparese: Typ II (C5–6), II (C5–7), III (C5–Th1), IV (C5–Th1 mit Horner-Syndrom)
1989	Narakas, Schweiz (Litauen)	Weltweite chirurgische Erfahrung bei >4000 Fällen von Plexusläsionen
1989	Gu, China	Neurotisation des Plexus brachialis mit kontralateraler C7-Wurzel
1994	Oberlin, Frankreich Mackinnon, USA u. a.	Proximale Nerven(faszikel)transpositionen bei Plexus-brachialis-Läsionen
2010 – heute	Bertelli, Brasilien Mackinnon, USA u. a.	Distale Nerventranspositionen bei Stammnervenschädigungen
2015	Aszmann, Österreich	Unterarm-Amputation und Ersatz der funktionslosen Hand mittels bionischer (durch selektive Nerventranspositionen gesteuerter) Prothese

■ Tab. 2.7 Behandlungsmethoden der (vermuteten) Plexus-brachialis-Lähmung von Kaiser Wilhelm II. (1859–1941) während seiner Kindheit

Beginn	Therapieformen
Ab ersten Lebensmonaten	Kalte Bäder in den ersten Monaten, regelmäßige Meerwasser-Duschen
Ab 4. Lebensmonat	Passive Bewegungsübungen (3-mal täglich)
Ab 1. Lebensjahr	Regelmäßige Elektrostimulationen (Wechselstrom und Galvanisation)
Ab 6. Lebensmonat	Forcierter Gebrauch des gelähmten linken Armes (gesunder Arm täglich stundenweise auf Rücken gebunden), dadurch als Kleinkind häufig Sturz aufs Gesicht »Animalische Bäder«: 2-mal wöchentlich für 30 min Einlage des linken Armes in noch warmes, frisch geschlachtetes Kaninchen
Ab dem 4. Lebensjahr	Torticollis-Behandlung mit schmerzhaften Streck-Geräten und mehrfache Operationen
Ab dem 8. Lebensjahr	Regelmäßiges Einspannen des gelähmten Armes in eine Streckmaschine

Armes anzuregen, wird der gesunde auf dem Rücken festgebunden, was im Stadium des Laufens dazu führt, dass Wilhelm ständig schmerzhaft aufs Gesicht fällt. Zusätzlich wird der linke Arm regelmäßig mit Elektroschocks behandelt, seit seinem achten Lebensjahr muss er dreimal täglich eine »Armstreckmaschine« anlegen.

Ob hier die Ursache für Wilhelms Hass auf England liegt, der möglicherweise den Lauf der Geschichte beein-

flusst hat (Ober 1992), kann nur vermutet werden. Dass diese äußerst schmerzhaft und vollkommen erfolglose Behandlung eine nachhaltige Störung der Persönlichkeitsentwicklung des Prinzen auslöst, erscheint nachvollziehbar (Röhl 2008). Die Hilflosigkeit seiner Ärzte wird eher verständlich, wenn man sich vergegenwärtigt, wie gering das Wissen über komplexe Nervenverletzungen zur damaligen Zeit ist.

2.5.2 Erste medizinische Beschreibungen (1746–1861)

Zwar beschreibt schon Homer vor fast 3000 Jahren in seiner »Ilias« schlaffe Armlähmungen infolge Speerstich und Steinschlag im Schulterbereich und Albrecht Dürer (1471–1528) stellt um 1505 auf seinem Bild »Madonna mit Kind« das Jesuskind mit typischen Merkmalen einer oberen Plexuslähmung dar (■ Abb. 2.11). Erst 1768 erscheint jedoch der erste medizinische Bericht eines schottischen Geburtshelfers namens Smellie (1697–1763), der 1746 eine bilaterale Plexus-brachialis-Läsion nach Zangengeburt beobachtet. Der Vater des berühmten französischen Schriftstellers Gustave Flaubert (1821–1880), Achille-Chleophas (1784–1846), dokumentiert in Rouen 1827 in Autopsiebefunden zwei katastrophale Traktionsverletzungen des Plexus brachialis bei Erwachsenen. Der Versuch, durch Zug von bis zu 8 Männern veraltete Schulterdislokationen einzurenken, endet für beide Patienten tödlich. Die Obduktion zeigt starke Einblutungen und Wurzelaurisse von C6–Th1 (C5 ist intakt), im einen Fall ist die A. axillaris gerissen.

Der französische Arzt Guillaume Benjamin Armand Duchenne (1806–1875) prägt erst 1861 – also 2 Jahre nach Kaiser Wilhelms Geburt – anhand der Untersuchung von 4 Neugeborenen den Begriff der »obstetrischen Plexuslähmung« und benennt als Ursache übermäßige Zugkräfte am Arm beim Geburtsvorgang. Die Schwere der Lähmung versucht er durch Elektrodiagnostik (ähnlich einem Elektromyogramm) zu bewerten. Er interessiert sich auch bereits für prognostische und therapeutische Behandlungsaspekte (Robotti et al. 1995).

2.5.3 Einteilung in verschiedene Läsionstypen (1875–1885)

Der deutsche Neurologe **Wilhelm Heinrich Erb** (1840–1921), Gründer der Deutschen Zeitschrift für Neurologie und der Deutschen Gesellschaft für Neurologie, weist 1875 durch anatomische Beobachtungen und Elektrostimulation nach, dass Plexusschädigungen am häufigsten im Bereich der Wurzeln C5 und C6 vorkommen, heute bekannt als Erb-Punkt. Die obere Plexuslähmung vom Typ Erb trägt seinen Namen.

Zwei Jahre später dokumentiert Seeligenmüller eine komplette (totale) geburts-traumatische Plexuslähmung (C5–Th1), ehe Augusta Klumpke (1859–1927) 1885 die untere Plexus-brachialis-Läsion (C7–Th1, Typ Klumpke) untersucht. Sie ist die erste Frau, die an der medizinischen Fakultät der Sorbonne in Paris eine vollwertige Ausbildungsstelle bekommt. Mit ihrem Professor und späteren Ehemann, dem Neurologen Joseph Jules Dejerine



■ **Abb. 2.11** Das Bild »Madonna mit Kind am Fenster« (um 1498) des Nürnberger Renaissance-Malers Albrecht Dürer (1471–1528) zeigt den kleinen Jesus mit typischen Merkmalen einer oberen Plexus-brachialis-Läsion links: Innenrotation und Adduktion der Schulter, Extension des Armes und Flexion des Handgelenks – heute »waiter's tip« oder Trinkgelddeformität genannt

(1849–1917), stellt sie fest, dass Schädigungen des unteren Plexus nicht nur Funktion und Empfindung an Unterarm, Handgelenk und Hand schädigen, sondern auch Pupillenverengung (Miosis) und hängendes Augenlid (Ptosis) verursachen, wie bereits 1869 vom Schweizer Augenarzt Georg Johann Friedrich Horner (1831–1886) beobachtet.

2.5.4 Chirurgische Behandlungspremieren (um 1900)

Erst 15 Jahre später wird die erste chirurgische Therapie einer Nervenkoaptation bei einer geschlossenen Plexuslähmung bekannt, die **William Thoburn**, Assistant Surgeon an der Royal Infirmary in Manchester am 13. April 1896 ausführt (Thornburn 1900). Er legt bei einer 16-jährigen Mühlenarbeiterin 7 Monate nach schwerem Traktionsschaden den Plexus brachialis transklavikulär frei und führt eine – angeblich spannungsfreie – Direktnaht der Nerven mit feinsten Seide durch. Bei der Kontrolluntersuchung 4 Jahre später zeigt die Patientin zwar nur geringe Schulterkontrolle und fast keine Ellenbogenstre-

ckung und Handfunktion, aber nützliche Ellenbogen- und Handgelenksbeugung.

Thoburn gibt seinen begrenzten Erfolg ehrlich zu und folgert erstaunlich hellsichtig: »Mit der hier gewonnenen Erfahrung kann kein Zweifel bestehen, dass veraltete Verletzungen des Plexus brachialis, wenn sie zugänglich sind, einer Operation zugeführt werden und nicht als hoffnungslos verdammt werden – eine Einstellung, die sogar zur Amputation geführt hat, um eine nutzlose Belastung zu entfernen. Nur in den Fällen, in denen der Plexus vom Rückenmark weggerissen ist, ist eine Operation unmöglich.« Auch Kennedy gelingt 1903 in Schottland eine chirurgische Neuromresektion und primäre Direktnaht der Nervenstümpfe nach geburtsraumtischer Plexusläsion. Im gleichen Jahr führen die britischen Neurologen Harris und Low erstmals eine intraplexuale Neurotisation (»cross-union«) zur Umgehung eines Wurzelausrisses infolge Geburtstrauma aus, 1913 erfolgt durch Tuttle die Neurotisation aus Plexus cervicalis und intraplexalen Wurzeln.

2.5.5 Konservative Primär- und operative Sekundärrekonstruktion (bis 1970er Jahre)

Trotz dieser chirurgischen Hoffnungsschimmer besteht die Behandlung von Plexusläsionen viele Jahrzehnte meist nur in Physiotherapie – in Erwartung spontaner Regeneration oder bleibendem komplettem Funktionsausfall. Operationen finden nur ausnahmsweise statt, die erreichten Ergebnisse sind bescheiden, größeren Patientenserien selten. Auch später werden speziell bei Traktionsverletzungen trotz Nerveninterponaten meist unbefriedigende Resultate erzielt, sodass bei geburtsassoziierten Läsionen meist nur konservative Maßnahmen angewendet werden. James W. Sever (1878–1964) stellt 1925 eine 36-seitige Monographie über Plexus-brachialis-Läsion zusammen, die mehr als 1.100 Fällen einschließt. Er empfiehlt primär Physiotherapie und sekundär Muskelumlagerungen und bestätigt die Skepsis gegenüber Nervenoperationen, aufgrund meist schlechter Ergebnisse. Joseph B. L'Episcopo (1890–1947) veröffentlicht 1934 und 1939, angelehnt an Sever, klassische Operationstechniken zur Wiederherstellung der Muskelbalance an der Schulter. Ziel ist es durch Muskelumsetzung und -release die Abduktion und Außenrotation zu verstärken (Sever-L'Episcopo-Operation).

In der Zeit zwischen den beiden Weltkriegen scheinen Operationen am Plexus brachialis fast in Vergessenheit zu geraten. Selten Ausnahmen sind z. B. die Arbeiten von Otfried Foerster, der in Breslau während des Ersten Weltkrieges 64 Läsionen teilweise mit bewundernswerten

Resultaten rekonstruiert (Foerster 1929). Taylor stellt 1920 einen interessanten Vergleich zwischen 70 operierten und 130 nicht operierten Fällen von Plexuslähmungen vor: Operationen bringen oft erstaunliche Besserungen, eine vergleichbare Spontanerholung bei konservativer Therapie tritt nur in nur 1 % auf. Während des Zweiten Weltkrieges behandelt der italienische orthopädische Chirurg Oscar Scaglietti (1906–1993) mehrere Hundert Fälle von Schussverletzungen des Plexus brachialis, hauptsächlich durch Neurolysen und Direktnähte.

Die Einstellung gegenüber der chirurgischen Primärversorgung bleibt lange Zeit pessimistisch, obwohl neue diagnostische Methoden eine genauere Untersuchung, Graduierung und Therapieplanung ermöglichen: 1947 wird die zervikale Myelographie, 1948 die Elektromyographie, 1949 die Aufzeichnung von Nervenaktionspotentialen und 1954 der Histamin-Test (zur Unterscheidung zwischen prä- und postganglionärer Nervenschädigung) eingeführt. Seddon untersucht seit 1943 im Auftrag der britischen Regierung periphere Nervenverletzungen bei Soldaten und Zivilisten und entwickelt mit seinen Mitarbeitern zahlreiche Strategien zur autologen Rekonstruktion. Er präsentiert 1963 die Transposition von Interkostalnerven auf den N. musculocutaneus zur Wiederherstellung der Bizepsfunktion.

Die Ergebnisse sind oft enttäuschend und 1966 behaupten Seddon und Robert Merle d'Aubigné im Rahmen einer internationalen Tagung der SICOT in Paris, dass trotz chirurgischer Behandlung bei kompletten Lähmungen ein befriedigendes Ergebnis praktisch ausgeschlossen sei. Die Behandlung von Traktionsverletzungen sei sinnlos, die chirurgische Plexusexploration, speziell infraklavikulär, bringe diagnostisch keinen Nutzen, die chirurgische Reparatur sei oft unmöglich und selbst nach Operation könne kein nützlicher Effekt garantiert werden. Mehrere Autoren amputieren ihren Patienten folglich den gelähmten Arm auf Oberarmniveau und veranlassen eine Prothesenversorgung (Fletcher 1969). Diesem therapeutischen Nihilismus stellen sich nur wenige Chirurgen entgegen.

2.5.6 Ära der Mikrochirurgie (1960 bis heute)

Die Perspektive ändert sich aber grundlegend zum Ende der 1960er und Anfang der 1970er-Jahre infolge des Aufkommens mikrochirurgischer Techniken. Durch Präparation unter dem Mikroskop können externe und interfaszikuläre Neurolysen erfolgreich durchgeführt und die Nervenregeneration in Gang gesetzt oder beschleunigt werden. Die mikrochirurgische Nervenrekonstruktion erlaubt spannungsfreie Defektüberbrückungen und exakte Naht bei Nervenverletzungen.

Der wegweisende Pionier ist auch hier **Hanno Millesi** aus Wien, der sich seit 1958 mit peripherer Nerven- und seit 1964 mit Hilfe eines geliehenen Zeiss-Mikroskops intensiv mit der nervalen Mikrochirurgie und der Plexuschirurgie beschäftigt. Er entwirft mehrstufige Behandlungsalgorithmen. Diese zielen zunächst auf mikrochirurgische Neurolyse oder Nerven-Transplantation und im weiteren Verlauf auf teils bewährte, teils neue Methoden des Muskeltransfers, um auch bei ausgedehnten Lähmungsmustern ein optimales Ergebnis zu erzielen. So kann er beispielsweise selbst bei vorher als aussichtslos geltenden Wurzelläsionen in über 80 % befriedigende Ergebnisse hinsichtlich der Ellbogenbeugung erzielen (Millesi 1977, 2003).

Ein zweiter Pionier ist durch seinen Lebensweg besonders vorbereitet auf seine Aufgaben als Plexuschirurg. **Algimantas Otonas Narakas** (1927–1993) aus Litauen erleidet als 11-jähriger beim Spielen mit Munition eine tiefe Hüftwunde, aus der sich eine Knocheninfektion und Hüftarthrose entwickeln. Für eine Kur in der Schweiz verlässt er 1938 seine Heimat, in die er auch nach dem Zweiten Weltkrieg nicht mehr zurückkehren kann. Bis Antibiotika seine Osteomyelitis kurz nach 1945 heilen, verbringt er viele Jahre größtenteils im Bett, lernt Sprachen, liest und beschäftigt sich mit feinmotorischen Tätigkeiten, z. B. Modellbau. Als Staatenloser kann er zwar 1957 sein Medizinstudium abschließen, aber nicht als Arzt arbeiten und setzt daher seine Ausbildung in den verschiedensten chirurgischen Bereichen fort, einschließlich der Neurochirurgie, Orthopädie und Extremitätenchirurgie.

Diese Arbeit macht ihn mit allen wichtigen Aspekten von Plexus-brachialis-Verletzungen vertraut, die er sich ab 1966 – nach Erhalt der Schweizer Staatsbürgerschaft – in bis zu 19 Stunden dauernden Operationen versorgt. Seine Operationszeichnungen erweisen sich als wertvolles Werkzeug zum Verständnis komplexer Verletzungsmuster. Er entwirft eine Klassifikation, auf deren Grundlage vier Kategorien mit entsprechender Therapie und voraussichtlicher Prognose gebildet werden (Narakas 1987) und ruft ein Treffen (Narakas-Club) ins Leben, auf dem bis heute alle zwei Jahre an der Plexuschirurgie Interessierte ihre Erfahrungen austauschen.

Bei den geburts-traumatischen – heute sachlicher »geburtsassoziierten« – Plexusläsionen verändert sich die Sichtweise ebenso zu Beginn der 1980er Jahre. Gilbert und Tassin (1984) legen anhand von 180 Patienten überzeugende Ergebnisse nach primär mikrochirurgischer Behandlung vor und andere wie Autoren bestätigen diese Herangehensweise. Die Arbeitsgruppe um Gu aus Shanghai macht 1989 die Neurotisation mit kontralateralen C7-Wurzel zu einer Ausweichmöglichkeit bei ausgedehnten einseitigen Schädigungen. Im Jahr 1993 erweitert Oberlin das Behandlungsspektrum bei C5–7-Läsionen. Er erzeugt mittels eines einfachen oder doppelten Faszikel-

transfers aus dem N. ulnaris und N. medianus direkt auf den Bizeps- oder Brachialis-Ast des N. musculocutaneus mit hoher Wahrscheinlichkeit eine gute Ellenbogenbeugung. In der Folge wird – gut 100 Jahre nach Adolf Stoffels Pionierarbeit – durch Autoren wie Jayme Bertelli (Florianopolis, Brasilien) oder Susan Mackinnon (St. Louis, USA) eine Vielzahl innovativer proximaler und später distaler Faszikelaustausch-Operationen entwickelt. Diese beschleunigen und verbessern die Funktionswiederkehr sowohl im Schulter- und Oberarmbereich als auch an Unterarm und Hand erheblich.

2.6 Schlussfolgerungen

Die Rückschau auf die Entwicklung der muskulären und nervalen Ersatzoperationen schenkt uns einen faszinierenden Einblick in die Anfänge der orthopädischen und chirurgischen Fachgebiete und die Pionierleistungen unserer Vorgänger, die bis heute gültigen Prinzipien dieser Eingriffe begründeten. Die daraus resultierende Erkenntnisse lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Anatomische Studien sind Voraussetzung für klinischen Wissensfortschritt und dadurch verbesserte chirurgische Behandlungsmethoden, da Struktur und Funktion nicht voneinander getrennt werden können.
- Die technische Weiterentwicklung wird maßgeblich durch gesellschaftlich-soziale Veränderungen und zeitgeschichtliche Ereignisse beeinflusst, vor allem die Polio-Epidemien seit ca. 1880, die Einführung von Versicherungssystemen den Ersten und Zweiten Weltkrieg.
- Entscheidend ist jedoch oft der unermüdliche Einsatz von Einzelpersonen, die ihrer Zeit weit voraus denken, auch wenn ihnen ihre Zeitgenossen nicht selten mit Skepsis oder sogar Widerstand begegnen.
- Viele Innovationen werden zum Zeitpunkt ihrer Erstbeschreibung in ihrer Bedeutung nicht adäquat erkannt, geraten in Vergessenheit und werden erst viel später wiederentdeckt. Eine sorgfältige Untersuchung der alten Gedanken unserer Vorgänger bestätigt nicht nur unser heutiges Handeln, sondern bietet auch die Chance, manche dieser Ideen in unserem zeitlichen und technologischen Zusammenhang »neu« zu bewerten und sie nutzbringend anzuwenden.
- Die historische Analyse der Anfänge der motorischen und nervalen Ersatzoperationen zeigt uns vor dem Hintergrund einer äußerst ereignisreichen Zeit beispielhaft Erfindergeist, Ausdauer und Genauigkeit unserer Vorgänger, die uns als Inspiration und Vorbild bei der täglichen Arbeit und beim Blick in die Zukunft der funktionellen Wiederherstellungschirurgie dienen können.

Literatur

- Ackerknecht E (1967) Kurze Geschichte der Medizin. Thieme, Stuttgart
- Aszmann OC, Roche AD, Salminger S, Paternostro-Sluga T, Herceg M, Sturma A, Hofer C, Farina D (2015) Bionic reconstruction to restore hand function after brachial plexus injury: a case series of three patients. *Lancet* 30;385(9983): 2183–9
- Bahm J (2013) Arguments for a neuroorthopaedic strategy in upper limb arthrogryposis. *J Brachial Plex Peripher Nerve Inj* 17;8:9
- Biesalski K, Mayer L (1916) Die physiologische Sehnervenverpflanzung. Springer, Berlin Heidelberg New York
- Bismarck O (1924/1935) Gesammelte Werke (Friedrichsruher Ausgabe), Band 9, S.195/196
- Borchardt F (1922) Nervenverletzungen. In: Schjerning (Hrsg) Handbuch der ärztlichen Erfahrungen im Weltkrieg, Barth, Leipzig
- Boyes JH (1960) Tendon transfer for radial palsy. *Bull Hosp Jt Dis* 21: 97–105
- Boyes JH (1962) Selection of a donor muscle for tendon transfer. *Bull Hosp Jt Dis* 23: 1–4
- Boyes JH (1976) On the shoulders of Giants. Notable Names in Hand Surgery. Lippincott, Philadelphia
- Brand P (1974) Biomechanics of tendon transfer. *Orthop Clin North Am* 5: 205–230
- Braun A (1997) Oscar Vulpius – Leben und Werk. Verlag Brigitte Gunderjahn, Heidelberg
- Bunnell S (1948) Surgery of the hand, 2nd ed. Lippincott, Philadelphia
- Cajal RS (1928) Degeneration and Regeneration of the Nervous System. Oxford University Press, London
- Codivilla A (1903) Meine Erfahrungen über Sehnervenverpflanzungen. *Verh Deutsch Orthop Ges* 2: 221–251
- Codavilla A (1899) Sui trapianti tendinei nella pratica orthopedia. *Archivo Orth* 16: 225
- Dellon AL (2004) History of Peripheral Nerve Surgery. In: Winn HR (ed) Youman's neurological surgery. 5th ed.: WB Saunders, Philadelphia, pp 3798–3808
- Duchenne GB (1872) Du l'électrisation localisée et de son application à la pathologie et à la thérapeutique par courants induits et par courants galvaniques interrompus et continus. Baillière et fils, Paris
- Drobnik T (1896) Über die Behandlung der Kinderlähmung mit Funktionsteilung und Funktionsübertragung der Muskeln. *Dtsch Z Chir* 43
- Erb WH (1874) Über eine eigenthümliche Lokalisation von Lähmungen des Plexus brachialis. *Verhdl naturhist-med Vereins zu Heidelberg* 2: 130–6
- Erlacher P (1914) Ueber die motorischen Nervendigungen. *Z Orthop Chir* 34:561
- Erlacher P (1914) Hyperneurotisation; muskuläre Neurotisation; freie Muskeltransplantation. *Zentr Mbl. f. Chirurg.* Bd. 15
- Fletcher I (1969) Traction lesions of the brachial plexus. *Hand* 1: 129
- Foerster O (1929) Die Therapie der Schussverletzungen der peripheren Nerven. In: Bumke Foersters Handb. Neurol. (Lewandowsky) 3: 1509–1720
- Franke F (1898) Ueber operative Behandlung der Radialislähmung nebst Anmerkungen über die Sehnervenüberpflanzung bei spastischen Lähmungen. *Arch Klin Chir* 57: 763
- Fridén J, Lieber RL (2002) Mechanical considerations in the design of surgical reconstructive procedures *J Biomechanics* 35: 1039–1045
- Fridén J (2005) Tendon transfers in Reconstructive Hand Surgery. Taylor & Francis, London
- Fridén J, Gohritz A (2015) Update on tetraplegia management. *J Hand Surg* 40:2489–500
- Friedman AH (2009) An eclectic review of the history of peripheral nerve surgery. *Neurosurgery* 65: A3–8
- Gilbert A, Tassin JL (1984). Réparation chirurgicale du plexus brachial dans la paralysie obstétricale. *Chir* 110: 70–75
- Gohritz A, Dellon AL, Guggenheim M, Spies M, Steiert A, Vogt PM (2013) Otfried Foerster – self-taught neurosurgeon and innovator of peripheral nerve surgery. *J Reconstr Microsurg* 29: 33–43
- Hahn P, Braun AC, Unglaub F (2112) Oscar Vulpius und die Sehnentranspositionen an der Hand. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 44: 187–188
- Hanigan W: The development of military medical care of peripheral nerve injuries during World War I. *Neurosurg Focus*. 2010; 28: E24
- Hoffa A (1891) Lehrbuch der orthopädischen Chirurgie. Enke, Stuttgart.
- Hohmann G (1918) Ersatz des gelähmten Bizeps brachii durch den Pectoralis major. *Münch Med Wochenschr* 45: 1132–1133
- Hörner JF (1869): Über eine Form von Ptosis. *Klin Monatsbl Augenheilk* 7: 193–198
- Hua XY, Qiu YQ, Li T, Zheng MX, Shen YD, Jiang S, Xu JG, Gu YD, Xu WD (2015) Contralateral peripheral neurotization for hemiplegic upper extremity after central neurologic injury. *Neurosurgery* 76:187–95
- Heineke D (1914) Die direkte Einflanzung des Nerven in den Muskel. *Zentralb Chir* 41:465
- Huber E (1921) Hilfsoperationen bei Medianuslähmung, *Dtsche Zeitschr Chir* 162: 271–275
- Jain V, Sebire NJ, Talbert DG (2005) Kaiser Wilhelm syndrome: obstetric trauma or placental insult in a historical case mimicking Erb's palsy. *Med Hypotheses* 65: 185–191
- Jones R (1921) Tendon transplantation in cases of musculoskeletal injuries not amendable to suture. *Am J Surg* 35: 333–335
- Klumpke A (1885) Paralyties radiculaires de plexus brachiale: Paralyties radiculaires totales. Paralyties radiculaires inferieures. De la participation des filets sympathiques oculo-pupillaires dans ces paralyties. *Rev Med Paris* 5: 739
- Kuiken TA, Dumanian GA, Lipschutz RD, Miller LA, Stubblefield KA (2004) The use of targeted muscle reinnervation for improved myoelectric prosthesis control in a bilateral shoulder disarticulation amputee. *Prosthet Orthot Int* 28:245–53
- L'Episcopo JB (1934) Tendon transplantation in obstetrical paralysis. *Am J Surg* 25: 122
- Lange F (1900) Über periostale Verpflanzung. *Münch Med Wochenschr* 15
- Lange F (1903) Die Sehnervenverpflanzung. *Verh Dtsch Orthop Ges* 2: 16–44 38
- Lange F (1928) Lehrbuch der Orthopädie, 3. Aufl. Gustav Fischer, Stuttgart
- Lanska D (2009) Historical Perspective: Neurological Advances from Studies of War Injuries and Illnesses. *Ann Neurol* 66: 444–459
- Leechavengvongs S, Witoonchart K, Uerpaiojkit C, Thuvassethakul P, Ketmalarisi W (1998) Nerve transfer to biceps muscle using a part of the ulnar nerve in brachial plexus injury (upper type): A report of 32 cases. *J Hand Surg* 23A: 711–716
- Lexer E (1931) Die Gesamte Wiederherstellungschirurgie, Barth, Leipzig
- Lieber RL, Jacobson MD, Fazeli BM, Abrams RA, Botte MJ (1992) Architecture of selected muscles of the arm and forearm: anatomy and implications for tendon transfer. *J Hand Surg* 17A: 787–798
- Littler JW (1949). Tendon transfers and arthrodeses in combined median and ulnar nerve paralysis. *J Bone Joint Surg* 31A: 225–234
- Mackinnon SE, Dellon AL (1988) Surgery of the Peripheral Nerve. Thieme, New York

- Mackinnon SE (2015) Nerve Surgery. Thieme, New York
- Mayer L (1916) The physiological method of tendon transplantation. *Surg Gynecol Obstet* 22: 182–197
- Mayer L (1929) Transplantation of the trapezius for paralysis of abductors of the arm. *J Bone Joint Surg* 11: 80–88
- Medical Research Council (1954). Methods of investigating nerve injuries. In: Seddon HJ (ed) *Peripheral nerve injuries*, Part 1. Her Majesty's Stationery Office, London
- Merle d'Aubigné R, Lange P (1946) Transplantations tendineuses dans le traitement des paralysies radiales post-traumatiques. *Sem Hop Paris* 22: 1666–1680
- Millesi H (1962) Klinische und experimentelle Untersuchungen bei der Wiederherstellung peripherer Nervenläsionen. *Langenbecks Arch Chir* 301: 893–7
- Millesi H (1977) Surgical management of brachial plexus injuries. *J Hand Surg* 25: 367–379
- Millesi H (1990) Progress in Peripheral Nerve surgery. *World J Surg* 14: 733–47
- Millesi H (2004) Chirurgie traumatischer Plexus brachialis-Läsionen. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 36: 29–36
- Millesi H (2016) Persönliche Mitteilung
- Naff NJ, Ecklund JM (2001) History of peripheral nerve surgery techniques. *Neurosurg Clin N Am* 2001; 12: 197–209
- Narakas AO (1979) Traumatic brachial plexus injuries. In: Lamb D (ed) *The Paralyzed Hand*, pp. 100–115
- Narakas AO (1979) Obstetrical brachial plexus injuries. In: Lamb D (ed) *The Paralyzed Hand*, pp 116–135
- Narakas AO, Hentz VR (1988) Neurotization in brachial plexus injuries. *Clin Orthop Rel Res* 237: 43–56
- Nicoladoni C (1881) Nachtrag zum Pes calcaneus und zur Transplantation der Peronealsehnen. *Arch Klin Chir Berlin* 27: 660
- Ninković M, Sućur D, Starović B, Marković S (1994) A new approach to persistent traumatic peroneal nerve palsy. *Br J Plast Surg* 47: 185–189.
- Ober WB (1992) Obstetrical events that shaped Western European history. *Yale J Biol Med* 65: 201–210
- Oberlin C, Beal D, Leechavengvongs S, Salon A, Dauge MC, Sarcy JJ (1993) Nerve transfer to biceps muscle using a part of ulnar nerve for C5–C6 Avulsion of the brachial plexus: Anatomical study and report of four cases. *J Hand Surg* 19A: 232–237
- Osten P (2004) Über den Aufbau einer »modernen Krüppelfürsorge« 1905–1933, Mabuse, Frankfurt/Main
- Parot C, Leclercq C (2016) Anatomical study of the motor branches of the median nerve to the forearm and guidelines for selective neurectomy. *Surg Radiol Anat* 38:597–604
- Perthes O (1918) Über Sehnenoperationen bei irreparabler Radialislähmung. *Beitr Klin Chir* 113: 289–296
- Perthes O (1922) Die Funktionellen Ergebnisse der Sehnenoperationen bei irreparabler Radialislähmung. *Klein Wochenschr* 3: 127–129
- Pulvertaft RG (1956) Tendon grafts for flexor tendon injuries in the fingers and thumb: a study of technique and results. *J Bone Joint Surg* 38B:175–194
- Ray WZ, Chang J, Hawasli A, Wilson TJ, Yang L (2016) Motor Nerve Transfer: A comprehensive Review. *Neurosurgery* 78:1–26
- Robotti E, Longhi P, Verna G, Bocchiotti (1995) Brachial Plexus Surgery – An Historical Perspective. *Hand Clin* 11: 517–53
- Röhl JCG: Wilhelm II (2008) Die Jugend des Kaisers, 3. Aufl. 1859–1888. Beck, München
- Seddon HJ (1943) Three types of nerve injury. *Brain* 66: 237–288
- Seddon HJ (1954) Peripheral nerve injuries. Medical Research Council Special Report Series No. 282. London: Her Majesty's Stationary Office
- Seddon HJ (1972) *Surgical Disorders of the Peripheral Nerves*. Churchill Livingstone, Edinburgh, UK:
- Simpson D (2009) From Lanfranc to Sunderland: the surgery of peripheral nerve. *ANZ J Surg* 79: 930–5
- Smith RJ (1987) History of Tendon Transfers. In: Smith RJ, ed. *Tendon transfers of the hand and forearm*. Little, Brown, Boston
- Spitz H (1904) Die Bedeutung der Nervenplastik für die Orthopädie. *Verh Dtsch Orthop Ges* 3: 94–123 47
- Starr C (1922) Army experiences with tendon transference. *J Bone Joint Surg (Am)* 4: 3–21
- Steinau HU, Biemer E (1985) Plastisch-chirurgische Rekonstruktionsmöglichkeiten bei gliedmaßenhaltender Resektion maligner Weichteiltumoren der Extremitäten. *Chirurg* 56: 741–745
- Steindler A (1918) Orthopaedic reconstruction work on hand and forearm. *New York Med J* 108: 1117–9
- Stoffel A (1912) Zum Bau und zur Chirurgie der peripheren Nerven. *Verh Dtsch Orthop Ges* 11: 177–189 50
- Stoffel A (1921) Muskel- und Sehnenoperationen nach Kriegsverletzungen, Enke, Stuttgart
- Sudeck P (1943) Gedanken zur Radialislähmung. *Chirurg* 15: 665
- Sunderland S (1951). A classification of peripheral nerve injuries producing loss of function. *Brain* 74: 491–516
- Sunderland S (1991) Nerve injuries and their repair. A critical Appraisal. Melbourne: Churchill Livingstone
- Tamai S, Komatsu S, Sakamoto H, Sano S, Sasauchi N (1970) Free muscle transplants in dogs with microsurgical neurovascular anastomoses. *Plast Reconstr Surg* 46: 219–225
- Taylor IG, Ham FJ (1976) The free vascularized nerve graft. *Plast Reconstr Surg* 57: 413–426
- Thoburn W (1900) Secondary suture of brachial plexus. *Br Med J* 1: 1073–1075
- Thomann KD (2000) Geschichte der Reichskrüppelzählung von 1906. *Orthopäde* 29: 1055–1066
- Thomann KD, Rauschmann M, Heine MC (2001) Die Deutsche Orthopädische Gesellschaft von 1918–1932. Entwicklungen und Strömungen. *Orthopäde* 30: 685–711
- Tuttle H (1913) Exposure of the brachial plexus with nerve transplantation. *JAMA* 61: 15
- Vulpus O (1902) Die Sehnenüberpflanzung und ihre Verwertung in der Behandlung der Lähmungen, Veit & Comp, Leipzig
- Vulpus O (1910) Die Behandlung der spinalen Kinderlähmung. Thieme, Leipzig
- Vulpus O, Stoffel A (1910) Orthopädische Therapie. In: Lewandowsky M (Hrsg.) *Handbuch der Neurologie*, Bd. I, Teil 2, S. 1299–1321
- Vulpus O, Stoffel A (1913, 1920, 1924) Orthopädische Operationsschule, Enke, Stuttgart
- Wirth CJ, Rühmann O (1997) Historische Entwicklung der Ersatzoperationen bei Armplexuslähmung. *Orthopäde* 26: 626–629
- Wood MB, Murray PM (2007) Heterotopic nerve transfers: recent trends with expanding indication. *J Hand Surg Am* 32:397–408
- Xu WD, Hua XY, Zheng MX, Xu JG, Gu YD (2011) Contralateral C7 nerve root transfer in treatment of cerebral palsy in a child: case report. *Microsurgery* 31: 404–8
- Zancolli EA (1957) Claw-hand caused by paralysis of the intrinsic muscles: a simple surgical procedure for its correction. *J Bone Joint Surg Am* 39: 1076–1080
- Zancolli E (1968) Structural and dynamic bases of hand surgery. Lippincott, Philadelphia
- Zülch KJ (1966) *Otfrid Foerster – Arzt und Naturforscher 1873–1941*. Springer, Berlin Heidelberg New York

Bewegungsstörungen der oberen Extremität bei
Kindern

Konservative und operative Therapie

Bahm, J. (Hrsg.)

2017, XVIII, 340 S. 364 Abb. in Farbe., Hardcover

ISBN: 978-3-662-50425-3