

Monatsschr Kinderheilkd
<https://doi.org/10.1007/s00112-020-01033-4>
 Eingegangen: 18. Mai 2020
 Angenommen: 18. September 2020

© Der/die Autor(en) 2020

Redaktion

B. Koletzko, München
 T. Lücke, Bochum
 E. Mayatepek, Düsseldorf
 N. Wagner, Aachen
 S. Wirth, Wuppertal
 F. Zepp, Mainz



Jörg Bahm¹ · Christian Hagemann² · Thomas Becher³ · Richarda Böttcher⁴ ·
 Chakravarthy U. Dussa⁵

¹ Sektion Plexuschirurgie der Klinik für Plastische, Hand- und Verbrennungschirurgie, Universitätsklinikum RWTH Aachen, Aachen, Deutschland

² Abt. Kinderneurochirurgie, Altonaer Kinderkrankenhaus, Hamburg, Deutschland

³ Kinderneurologisches Zentrum Gerresheim, Sana Kliniken Düsseldorf, Düsseldorf, Deutschland

⁴ Schwerpunkt für rekonstruktive Chirurgie bei Plexusparese, Tetraplegie und Zerebralparese, BG Unfallkrankenhaus Berlin, Berlin, Deutschland

⁵ Orthopädische Kinderklinik, Aschau im Chiemgau, Deutschland

Chirurgische Therapieoptionen bei spastischen Bewegungsstörungen der Extremitäten

Einleitung

Spastik wird *definiert* als gesteigerter, geschwindigkeitsabhängiger Dehnungswiderstand der Skelettmuskulatur, der als Folge einer Läsion deszendierender motorischer Bahnen des Zentralnervensystems (ZNS; Großhirn, Hirnstamm, Rückenmark) auftritt und in der Regel mit anderen Symptomen wie Muskelparese, Verlangsamung des Bewegungsablaufs, gesteigerten Muskeleigenreflexen, pathologisch enthemmten Synergismen und spastischer Dystonie einhergeht, was zusammen auch als spastische Bewegungsstörung („spastic motion disorder“ [SMD]) bezeichnet werden kann [1] und damit ältere Definitionen ablöst [2, 3]. Bei Kindern wird entsprechend den Empfehlungen der Surveillance of Cerebral Palsy in Europe (SCPE, Initiative der Europäischen Union) zwischen ein- oder beidseitiger, ataktischer und dyskinetischer Spastik unterschieden [4].

Epidemiologie

Je nach Betrachtungszeitraum und -ort liegt die Inzidenz der Zerebralparese zwischen 0,9 und 1,96/1000 Lebendgeburten [5, 6].

Bei den Frühgeborenen ist die Inzidenz in den letzten 23 Jahren um 15% gesunken; diese Tendenz wird durch die

hohe Rate von 59/1000 Lebendgeburten bei Kindern, die vor der 28. Schwangerschaftswoche geboren werden, konträrkiert [6]. Stavsky et al. [5] berichten bei den extrem Frühgeborenen über einen Anstieg der Inzidenz von 33,7 auf 114,6/1000 Lebendgeburten. Im Langzeitverlauf zeigen die Daten der SCPE dagegen für den Zeitraum von 1980 bis 2003 für Europa und Australien eine sinkende Inzidenz [7].

Ursachen und Pathophysiologie

Auslöser sind Sauerstoffmangel unter der Geburt, Gehirnparenchymschädigung durch Ischämie, Blutung, Infektion, Trauma oder Tumor sowie bei degenerativen und Stoffwechselerkrankungen (■ **Tab. 1**).

Aus der Spastik resultieren Funktionseinschränkungen mit nachfolgenden Gelenkkontrakturen, Fehlwachstum und Schmerzen.

Das „Syndrom des ersten Motoneurons“ setzt sich zusammen aus Spastik, Parese und reduzierter motorischer Kontrolle. Die Spastik ist häufig das führende Symptom, das die Willkürmotorik des Muskels behindert. Durch die häufig auftretenden Kokontraktionen treten an der oberen Extremität typische Bewegungsmuster auf, die besonders bei motorisch anspruchsvollen Aufgaben oder bei schneller Aktivität sichtbar werden.

So führt beispielsweise die Aktivierung der Beugemuskulatur zu Inklination des Daumens, Beugung der Finger, Beugung und meist ulnarer Abweichung des Handgelenks, Beugung im Ellbogen sowie Adduktion und Innenrotation in der Schulter in einer typischen Kombinationsbewegung.

Das häufigste Gangbild bei bilateraler Spastik ist der Kauergang und bei unilateraler Spastik der Spitzfuß.

Folgen dauerhafter spastischer Fehlhaltungen sind zunehmende Wachstumsstörungen und Kontrakturen am Weichgewebe durch die Verkürzung von Muskeln, Sehnen und Bändern sowie Kapselschrumpfungen und Ankylosen der Gelenke. Das klinische Erscheinungsbild mit einer Kombination aus Spastik, Hypotonie, reduzierter motorischer Kontrolle und konsekutiven Folgen am Bewegungsapparat ist individuell sehr unterschiedlich.

Spastik kann sich in Abhängigkeit von Topographie und Ausdehnung des Hirnschadens in sehr unterschiedlichen Lähmungsmustern zeigen. Die häufigsten Formen sind eine einseitige Spastik bei kontralateralem Hirnschaden und die Tetraspastik mit Beteiligung aller vier Extremitäten. Bei Zerebralparese beschreibt man spastische, dyskinetische und ataktische Formen, beim Erwachsenen fokale bzw. multifokale, segmentale, Hemi- und generalisierte Spastik [8].

Tab. 1 Häufige Ursachen spastischer Bewegungsstörungen

Prä-, peri-, und postnataler hypoxischer Hirnschaden
Gehirnparenchymschädigung durch Ischämie, Blutung, Infektion, Trauma oder Tumor
Degenerative Erkrankung (beispielsweise M. Parkinson, multiple Sklerose)
Stoffwechselerkrankungen (beispielsweise Kernikerus, Glutaracidurie)
Hereditäre spastische Paraparese

Tab. 2 Folgen von Muskelspastik

Im spastischen Muskel selbst:	Verkürzung der Sarkomere
	Verfettung, Fibrose
	Muskel- und Sehnenverkürzung
Im Antagonisten:	Überdehnung und Schwächung
Am Gelenk:	Kapselschrumpfung mit Ankylose, ggf. Dysplasie und Arthrose
Am Knochen beim wachsenden Kind:	Metaphysenkompression, Achsenveränderung
An der globalen Haltung, dem Bewegungsmuster, den Alltagsverrichtungen	

Spastik betrifft durchaus auch Gesichts-, Hals- und Rumpfmuskulatur, verursacht Schluckstörungen, Blasenentleerungsstörungen und andere Symptome.

Parallel können bei allen Patienten kognitive Funktionen eingeschränkt sein und andere Begleiterkrankungen vorliegen, die die Rehabilitation und Behandlung insgesamt wesentlich beeinflussen. Störungen von Interaktions- und Kommunikationsfähigkeit, Konzentrationsminderung und individuelle Gefühlslagen erschweren die Compliance bei therapeutischen Maßnahmen [9, 10].

Spastizität wird nicht durch einen einzelnen defekten Mechanismus verursacht, sondern eher durch komplexe Veränderungen entlang verschiedener, voneinander abhängiger Steuerungspfade. Zusätzlich hängt die Ausprägung von Ätiologie, Lokalisierung und Zeitpunkt der Schädigung ab [3].

Diagnose anhand klinischer Symptome

Allgemein

Im Vordergrund steht der dauerhaft oder akzidentell erhöhte Muskeltonus der betroffenen Muskulatur. Muskeleigenreflexe sind gesteigert, pathologische Reflexe, Klonus und „catch“ sind auslösbar (Tardieu-Skala in **Tab. 5**). Aufgrund der Spastik verkrampfen die betroffenen Muskelgruppen und können nicht mehr aktiv entspannt werden. Der erhöhte Tonus schmerzt, die Antagonisten werden funktionell unwirksam, überdehnt und

damit zunehmend geschwächt. Neben diesen vormals als „Plus-Phänomenen“ bezeichneten sind auch die „Minus-Phänomene“ Muskelschwäche und eingeschränkte motorische Kontrolle bedeutsam.

Hinzu kommt eine Vielzahl morphologischer und funktionaler Folgen (**Tab. 2**) im Muskel selbst, seinem Antagonisten und am Gelenk [11, 12]. Beim wachsenden Kind kann es durch die Kompression der nahen Metaphysen zu verzögertem Knochenwachstum und durch asymmetrische Krafteinwirkung zu Knochendeformierungen an den Dia- und Epiphysen kommen. All dies beeinflusst die Haltung der betroffenen Extremität in Ruhe, die Bewegungsmuster und die daraus resultierenden Alltagsfunktionen (*Fehlhaltungen*). Zusätzlich können sich im Verlauf typische, nichtkorrigierbare *Fehlstellungen* (beispielsweise eine Skoliose) ausbilden.

Obere Extremität

Im Bereich der oberen Extremität imponiert häufig eine Adduktionskontraktur der Schulter, verbunden mit einer Flexions- und Pronationskontraktur der Ellenbeuge und des Unterarms mit Handgelenk. Der Daumen ist häufig adduziert und im Interphalangealgelenk überstreckt oder eingebeugt. An den Langfingern bestehen Knopfloch- oder Schwanenhalsdeformitäten, die gelegentlich auch an der gleichen Hand parallel auftreten können. Völlig andere Haltungsmuster mit extremer Supination des Unterarms, fixierter Extension

des Handgelenks oder zur Faust geschlossenen Fingern kommen ebenfalls vor.

Als klinisches Scoring-Instrument bieten sich die „bimanual fine motor function“ (BFMF, [13]) sowie das „manual ability classification system“ (MACS, [14]) an.

Untere Extremität

An der unteren Extremität beeindruckt das gestörte Gangbild aus dem Zusammenspiel zwischen Spastik, Muskelschwäche und insuffizienter Willkürmotorik sowie Muskel- und Gelenkkontrakturen und knöchernen Deformitäten. Das Gangbild wird auch wesentlich durch eine zentrale Störung der Balance und Koordination beeinflusst. Verschiedene Gangarten werden sowohl bei beidseitiger als auch einseitiger Spastik beschrieben [15, 16]. Das häufigste Gangbild bei bilateraler Spastik ist der Kauergang und bei unilateraler der Spitzfußgang. Die häufigsten Auswirkungen der Zerebralparese auf das muskuloskeletale System der unteren Extremitäten sind: Hüft-(Sub-)Luxation und Hüftpfannendysplasie, Coxa (valga und) antetorta, Kniebeugekontrakturen, Patella alta, Torsionsfehler des Unterschenkels, diverse Fußfehlstellungen wie z. B. Spitzfuß, Hohlfuß, Klumpfuß oder Knickplattfuß.

Außerdem bestimmen Beinlängendifferenz und Schmerzen im Rücken und der betroffenen Extremität das Krankheitsbild.

Bezüglich der Funktion wird die Stufe im „gross motor function classification system“ (GMFCS, **Tab. 3**, von I bis V) bestimmt.

Zusatzuntersuchungen

Da die der Spastik zugrunde liegenden Erkrankungen in ihrem natürlichen Verlauf sehr unterschiedlich sind (statisch wie z. B. die Zerebralparese, fortschreitend wie z. B. die hereditäre spastische Paraparese oder die Leukodystrophien) und damit auch unterschiedliche Zielsetzungen in der Behandlung erfordern [18], sind eine zerebrale Bildgebung, elektrophysiologische und ggf. eine ge-

netische Untersuchung zur Klärung der Ätiologie vor der symptomatischen konservativen oder chirurgischen Behandlung zwingend erforderlich.

Die Kraft wird nach dem British Medical Council [19] quantifiziert. Spastik und Bewegungsausmaß („range of motion“ [ROM]) können objektiv in Form von Skalen erfasst werden (■ Tab. 4 und 5). Prognostisch bedeutsam ist hier die Beurteilung nach dem GMFCS-Level [17].

Eine begleitende funktionelle Evaluation durch Physio- und Ergotherapeuten sowie ggf. durch Orthopädiemechaniker ergänzt die ärztliche Untersuchung und erlaubt eine umfassendere Orientierung bezüglich funktionaler Prioritäten oder möglicher Kontraindikationen, wie beispielsweise der fehlenden Compliance und des Verlusts wichtiger Ausgleichsbewegungen nach einem chirurgischen Eingriff.

Die Empfehlungen eines Cochrane-Review [23] zur Therapie der oberen Extremität bei unilateraler spastischer Zerebralparese sollten analog auch für chirurgische Eingriffe befolgt werden. Botulinumtoxin sollte nicht allein benutzt werden, sondern in Kombination mit geplanter Ergotherapie. Das Review fand hohe Evidenz für den Einsatz von Botulinumtoxin als zusätzliche Therapie für das Management der oberen Extremität bei Kindern mit spastischer CP. Sinnvolle Therapieziele ergeben sich aus der interdisziplinären Analyse der gewünschten, aber problematischen Alltagsaktivitäten mit den Schwierigkeiten des Patienten.

Therapie

Basistherapie

Um dem multimodalen Therapiekonzept gerecht zu werden, erfolgt in der Regel die Anbindung der kleinen Patienten an ein sozialpädiatrisches Zentrum. Hier können interdisziplinäre Diagnostik, differenzialtherapeutische Abwägungen und die Koordinierung der Therapieverfahren erfolgen. Basis der Therapie sind eine dauerhafte, oft lebenslange Krankengymnastik und Ergotherapie. Wesentlich ist die Erreichung physiologischer Entwicklungsschritte, „motor mile stones“ [24]. Außerdem muss man Kontrakturen und

Monatsschr Kinderheilkd <https://doi.org/10.1007/s00112-020-01033-4>
© Der/die Autor(en) 2020

J. Bahm · C. Hagemann · T. Becher · R. Böttcher · C. U. Dussa

Chirurgische Therapieoptionen bei spastischen Bewegungsstörungen der Extremitäten

Zusammenfassung

Hintergrund. Schäden des 1. Motoneurons führen zu spastischen Lähmungen an den Extremitäten, die bei Kindern und Erwachsenen einschneidende Veränderungen der Bewegungsfähigkeit zur Folge haben und Lebensqualität sowie -teilhabe durch Funktionsverlust und Schmerzen einschränken.

Methode. Auf Grundlage eigener Behandlungserfahrungen in Verbindung mit einer PubMed-Literaturrecherche werden aktuelle Diagnose- und Behandlungsverfahren sowie deren Kombinationen vorgestellt.

Ergebnisse. Prinzipiell stehen Physio- und Ergotherapie mit vereinbarten alltagsrelevanten Therapiezielen, Medikamente

(Botulinumtoxin und Baclofen) und Orthetik im Vordergrund. Chirurgische Maßnahmen an Muskeln, Sehnen, Gelenken und Knochen können dem betroffenen Patienten zu verbesserter Beweglichkeit, Wachstumskorrektur und vereinfachter Alltagsbewältigung verhelfen. Die selektive Neurektomie bei fokaler Spastik erlebt derzeit eine Renaissance. Die intrathekale Baclofentherapie kann bei entsprechend hoher Katheterlage auch eine Tonusreduktion an der oberen Extremität erreichen.

Schlüsselwörter

Spastik · Zerebralparese · Lähmung · Kontraktur · Tonus

Surgical treatment options for spastic movement disorders of the extremities

Abstract

Background. Lesions of the first motor neuron lead to spastic palsy of the extremities, affecting both children and adults. They give rise to severe movement impairment, reduced participation and quality of life due to the loss of function and presence of pain.

Methods. Based on a PubMed literature search and own treatment experiences, the current evidence-based diagnostic and therapeutic procedures and their stepwise indications are presented.

Results. Principally, physiotherapy and occupational therapy with agreed treatment goals relevant to everyday life, medication (botulinum toxin and baclofen) and orthosis

are prioritized. Surgical measures addressing muscles, tendons, joints and bones enable individual patient improvement concerning mobility, correction of growth and easier coping with activities of daily life. Hypersensitive neurectomy is currently undergoing a revival in focal spasticity. Intrathecal baclofen given through an appropriately high catheter position can achieve a reduction in the tone of the upper extremity.

Keywords

Spasticity · Cerebral palsy · Palsy · Contracture · Muscle tone

ungünstigen, dem spastischen Grundmuster folgenden Fehlhaltungen und Bewegungsmustern vorbeugen. Gleichzeitig sollen Alltagsfunktionen geübt werden, die trotz der Einschränkungen Eigenständigkeit und Gestaltungsfähigkeiten ermöglichen. Hierzu werden geeignete Hilfsmittel wie angepasste Griffe von Besteck und Stiften, Tischauflagen usw. erforderlich.

Orthesen in kindgerechtem Design helfen, die Stabilität zu verbessern. Diese können mit zusätzlichen Funktionen wie einer Uhr versehen werden, um die

Akzeptanz zu verbessern. Für die untere Extremität werden spezielle Geh- und Sitzhilfen (Rollstuhl) eingesetzt.

Orale antispastische Medikation

Die Wirkung dieser in der Regel anticholinergen Medikamente ist generalisiert, sodass zur Vermeidung unerwünschter Effekte (wie z. B. bei Müdigkeit) eine sorgfältige Dosisanpassung erforderlich ist; insgesamt ist die rein orale antispastische Therapie in der Regel nicht erfolgreich, u. a. aufgrund der vergleichsweise

Tab. 3 GMFCS Level (Palisano et al. [17])

Stufe I	Gehen ohne Einschränkung; Einschränkung der höheren motorischen Fähigkeiten
Stufe II	Freies Gehen ohne Gehhilfen; Einschränkung beim Gehen außerhalb der Wohnung und auf der Straße
Stufe III	Gehen mit Gehhilfen; Einschränkung beim Gehen außerhalb der Wohnung und auf der Straße
Stufe IV	Selbstständige Fortbewegung eingeschränkt; Kinder werden geschoben oder benutzen einen E-Rollstuhl für draußen
Stufe V	Selbstständige Fortbewegung selbst mit elektrischen Hilfsmitteln stark eingeschränkt

Tab. 4 Modifizierte Ashworth-Skala (Rutz et al. [20])

Grad	Beschreibung
0	Kein erhöhter Tonus
1	Leichte Tonuserhöhung („catch and release“) oder minimaler Widerstand am Ende des Bewegungsausmaßes
1+	Leichte Tonuserhöhung („catch“), gefolgt von einem minimalen Widerstand
2	Stärker ausgeprägte Tonuserhöhung durch die meisten Anteile des Bewegungsweges, die betroffenen Gliedmaßen sind aber leicht beweglich
3	Erhebliche Erhöhung des Muskeltonus, passive Bewegung ist schwierig
4	Keine passive Bewegung

Tab. 5 Tardieu-Skala (Park und Owen [21], Haugh et al. [22])

Stufe	Beschreibung
0	Kein Widerstand während der passiven Bewegung durch das volle Bewegungsausmaß
1	Leichter Widerstand ohne „Anschlag“
2	Klarer Stopp („catch“) in einer bestimmten Winkelstellung, der die passive Bewegung unterbricht, aber dann nachlässt
3	Erschöpflicher Klonus in einer bestimmten Winkelstellung, der kürzer als 10 s dauert, wenn die Position gehalten wird
4	Unerschöpflicher Klonus in einer bestimmten Winkelstellung, länger als 10 s, wenn die Position gehalten wird
5	Bewegung nicht möglich

zur intrathekalen Applikation geringen Wirkstoffkonzentration.

Intrathekale Baclofentherapie

Bei generalisierter Spastik wird auch die intrathekale Baclofentherapie mittels Medikamentenpumpe eingesetzt [25–30]. Bei hoher Katheterlage werden auch die Arme detonisiert [26–28]. Die intrathekale Baclofentherapie ist in ausgesuchten Fällen auch schon im Säuglingsalter möglich.

Botulinumtoxin

Die Injektion von Botulinumtoxin A in betroffene spastische Muskelgruppen hat in den letzten 20 Jahren zunehmend Anwendung gefunden. Dabei erfolgt die Injektion in der Regel aus therapeutischen Gründen unter elektro-

physiologischer oder sonographischer Kontrolle an 2 oder mehr Stellen direkt in den oder die spastischen Zielmuskeln. Therapeutische Injektionen können auch im Zusammenhang mit operativen Eingriffen erfolgen, um Antagonisten zu schwächen oder eine übermäßige spastische Belastung neuer Sehnen- und Muskelnähte zu vermeiden. Eine weitere Anwendungsmöglichkeit ergibt sich aus differenzialdiagnostischen Erwägungen, wenn Spastik und Kontraktur klinisch nicht sicher zu differenzieren sind. Für die obere Extremität gibt es in Deutschland nur eine Zulassung für Erwachsene nach Schlaganfall (ansonsten eigenverantwortlicher „Off-label“-Gebrauch), bei Zerebralparese nur für Teile der unteren Extremität bei Kindern älter als 2 Jahre.

Chirurgische Therapie

Die *chirurgische Indikationsstellung* ist sehr individuell und muss vorrangig der Patienten-Compliance *in allen Altersgruppen* angepasst werden. Im Wesentlichen bekommt sie dann eine Rolle, wenn mit Botulinumtoxin und Orthesen alleine keine ausreichende funktionelle Therapie und Alltagsbewältigung mehr möglich ist.

Prinzipiell verfolgt ein chirurgischer Eingriff vorrangig funktionsverbessernde Ziele (willkürliche, zielgerichtete Nutzung der Agonisten und Antagonisten in biomechanisch logischer und alltags-tauglicher Weise), beinhaltet aber auch hygienische und ästhetische Aspekte: Eine spastisch gefaustete Hand, bei der die eingegrabenen Fingernägel in der Hohlhand zu Hautläsionen und Infektionen führen, muss rein zum Gewebeschutz behandelt werden.

Manche Knochenkorrektur verbessert die Biomechanik und macht die Extremitätenhaltung ergonomischer, aber auch optisch unauffälliger.

Die Muskelansatzlösung oder verlängernde Tenotomie bezweckt eine Spannungsentlastung des spastischen Muskels, wobei hierbei postoperative, sekundäre Vernarbungen und Adhäsionen funktionsmindernd sein können, woher auch entsprechende Raten an Rezidiven herrühren.

Periphere Nerven Chirurgie: die selektive Neurotomie

Relativ neu in der Evaluation, aber alt in der Beschreibung der Operationstechnik, bereits 1913 durch Adolf Stoffel [31], und v. a. funktionell logisch sind die partiellen selektiven motorischen Endastneurektomien [32, 33]. Hierbei werden etwa 80 % der einfließenden motorischen Fasern durchtrennt, um den Muskeltonus zu verringern. Dabei wird nicht nur

Tab. 6 Arten möglicher rekonstruktiver Eingriffe

Am Nerven :	selektive partielle Endastneurektomie eines spastischen Muskels
Am Muskelsansatz :	Lösung („slide“)
An der Sehne :	Verlängerung (im Sehnen-Muskel-Übergang, an der Sehne selbst), ggf. Sehnen-Muskel-Verlagerung
Am Gelenk :	Kontrakturlösung durch Kapsulotomie, Arthrolyse, Gelenkversteifung
Am Knochen :	Korrekturosteotomie
Topographisch:	
Obere Extremität:	<i>Schulter:</i> Auflösung der Adduktionskontraktur, Verbesserung der aktiven Außenrotation <i>Ellenbogen:</i> Korrektur der Beugekontraktur <i>Unterarm:</i> Korrektur der Pronationskontraktur <i>Handgelenk:</i> Korrektur der Beugekontraktur <i>Finger:</i> Korrektur der statischen und dynamischen Fehlstellungen an Daumen und Langfingern
Untere Extremität:	„Single event multi level surgery“ (SEMLS)

der motorische Zufluss verringert, sondern durch die begleitende Durchtrennung der sensiblen Afferenzen aus den Muskelspindeln auch der sensorische Input gemindert, was die Spastik durch Beeinflussung des spinalen Interneuronen-Pools verringern kann. Der Eingriff fixiert den vorübergehenden Effekt von Botulinumtoxin und sollte vorab auch durch eine präoperative Gabe getestet werden, da es sich ja um eine irreversible destruktive Technik handelt. Auch ist die vorherige Probebehandlung des Zielmuskels durch Toxingabe unabdingbar, weil dadurch für Patienten und Angehörige der therapeutische Effekt einer selektiven partiellen Neurektomie simuliert werden kann.

Der orthopädische Ansatz

Aufgrund des dynamischen Knochenwachstums bei Kindern sollten zum einen die wachstumsbehindernden Faktoren reduziert werden, andererseits bei einer Gelenkversteifung das Osteosynthesematerial die Wachstumszone

aussparen und auch kurzfristig (z. B. nach 6 Monaten) wieder entfernt werden. Ebenso muss präoperativ geprüft werden, ob der Patient nicht synergistische Tenodeseeffekte ausnutzt, die durch eine Gelenkeinsteifung zunichte gemacht würden.

Umsetzungen von Muskelsansätzen oder Sehnenplastiken können dazu beitragen, durch eine spastische Lähmung bedingte Komplikationen zu vermeiden und Lagerung, Hygiene und motorische (Rest-)Funktion zu verbessern. Bei halsmarksgeschädigten spastisch gelähmten Menschen mit Querschnittsyndrom [34] kann durch diese Umsetzungen eine aktive Handbewegung verbessert werden. Prinzipiell kann anstelle eines Sehnentransfers heute auch ein selektiver Nerventransfer auf den motorischen Nervenast des Zielmuskels erfolgen, falls dieser noch reinnervierbar und von guter morphologischer Qualität ist.

Spezifische Eingriffe der unteren Extremität

Hier werden präventive und therapeutische Eingriffe unterschieden. Ein Beispiel für eine präventive Operation ist die Adduktorenentotomie. Sie kann gefährdete Hüften vor der Luxation bewahren [35, 36]. In gleicher Indikation werden bei Kindern häufig die Myofasziotomie und die Epiphysiodese angewandt.

Ziele der therapeutischen Operationsverfahren sind, die Deformitäten zu korrigieren, Gelenke zu stabilisieren und Hebelarme für die Muskulatur zu verbessern.

„Single event multi level surgery“

Die Single event multi level surgery (SEMLS) hat neuerdings weite Verbreitung gefunden und führt zu verbesserter Muskelfunktion und einem verbesserten Gangbild [20, 37–40]. Bei diesem Verfahren werden alle Deformitäten des Beins oder der Beine vollständig in einer Sitzung korrigiert. Dabei werden verschiedene Operationstechniken an den Knochen und Gelenken wie Osteotomien oder Arthrodesen zusammen mit Weichteiltechniken wie intramuskuläre Sehnenverlängerungen, Sehnenverlagerungen, -verkürzungen und -augmen-

tationen kombiniert. Jedoch wird der Begriff der SEMLS-Chirurgie in der Literatur unterschiedlich ausgelegt und gewertet ([41, 42]; **Tab. 8**).

Bei allen Therapiebesprechungen und bei der Indikationsstellung ist der interdisziplinäre Ansatz unabdingbar, einerseits zwischen Neurologen, Orthopäden und Chirurgen verschiedener Disziplinen, andererseits zwischen Ärzten und Therapeuten. Außerdem bedarf es einer funktionszielgerichteten Strategie, deren (postoperativer) Erfolg dann auch entsprechend evaluiert werden soll, nach dem Prinzip des „goal attainment scaling“ (GAS, [43, 44]).

Der zentrale neurochirurgische Ansatz

Basierend auf einer klaren Diagnose und guten ätiologischen Zuordnung, zusammen mit der zerebralen Bildgebung (und bei fehlendem Korrelat der Genetik) können die verschiedenen Therapiemöglichkeiten und insbesondere die Rhizotomie indiziert werden [18]:

Selektive dorsale Rhizotomie

Bei der selektiven dorsalen Rhizotomie (SDR), die destruktiv und irreversibel ist, werden durch Laminektomie und Eröffnung des Duraschlauchs die Hinterwurzeln der unteren Extremitäten unter Neuromonitoring partiell durchtrennt. Zuerst von Ottfried Foerster 1911 publiziert und durch Peacock in Südafrika und Park in den USA ab den 1980er-Jahren bei der Behandlung von klassischen Zehenspitzengängern angewandt (bilaterale Spastik mit GMFCS Level 2) [21, 45–48], wird sie auch in deutschen Kliniken in modifizierter Technik erfolgreich eingesetzt [49]. Die besten Ergebnisse sind bei Kindern unter 6 Jahren beschrieben, bei denen noch keine kontrakten Spitzfüße und ausreichende Muskelkraft bestehen, also bei Fällen, bei denen die Spastik nicht funktionell zum Tragen des Körpergewichts beim Gang genutzt wird. Bei ausgeprägter Schwäche sollte die SDR aufgrund ihres irreversiblen Charakters nicht ausgeführt werden, da die Kinder sonst vom Zehenspitzen- in den Kauergang wechseln. Die Indikation sollte interdisziplinär und unter Zuhilfe-

Tab. 7 Studien obere Extremität

Autoren	Anzahl Patienten	Modus	Effekte	Studiendesign	FU	Komplikationen	Fazit
Hoare [23]	–	Botulinumtoxin, intramuskuläre Anwendung	Bessere Ergebnisse in Kopplung mit Physiotherapie	Cochrane-Review, 10 eingeschlossene Fallserien	–	Einzelfälle von Botulismus	Botox plus Physiotherapie wirkt besser als Physiotherapie alleine
Albright [25]	17	Lumbalpunktion mit Baclofen vs. Placebo bei Zerebralparese	1–2 Punkte Detonisierung auf der Ashworth-Skala	Doppelt verblindet, randomisiert	–	2 temporäre Überdosierungen	ITB ist effektiv
Hagemann [26]	17 <6 Jahre	ITB bei Zerebralparese	Detonisierung auch bei Alter <1 Jahr	Retrospektive Kohorte	1–11 Jahre	4 Revisionen, 2 temporäre Überdosierungen	ITB wirkt bei Säuglingen und Kleinkindern
Leclercq [32]	–	SN	Selektive Detonisierung durch muskelnahere Neurektomie am Endast	Review, 10 eingeschlossene Fallserien	–	Nicht ausgewiesen	SN ergibt lang anhaltende, partielle Detonisierung
Brunelli [33]	–	SN	Detonisierung nur lang anhaltend bei Neurektomie von mindestens >50 % der Fasern zum Zielmuskel	Fallbeschreibungen	–	Rebound-Spastik bei Neurektomie <50 % der Fasern innerhalb weniger Monate	SN muss teilweise nach 6 Monaten wiederholt werden
Gohritz [34]	–	Sehnenverlängerung, -verlagerung und SN	Verbesserte Funktion und Position	Erfahrungsbericht des Schweizer Paraplegiker Zentrums	–	Nicht ausgewiesen	Verbesserte Funktion und Position verhindert Kontrakturen
House [53]	165 Prozeduren bei 56 Patienten	Arthrolyse, Muskeltransfer und/oder Gelenkstabilisierung	Verbesserte Handfunktion	Retrospektive Kohorte	6–14 Jahre	Nicht ausgewiesen	Verbesserte Handfunktion kann vorhergesagt werden, allerdings unabhängig vom IQ
Gschwind [54]	32	Muskeltransfer oder Slide bei Pronationskontraktur	Mehr passive und aktive Supination	Retrospektive Kohorte	–	Nicht ausgewiesen	Mehr passive und aktive Supination
Gilmartin [55]	51, davon 44 implantierte Pumpen	ITB bei Zerebralparese	Reduktion um 1–2 Punkte gemäß Ashworth-Skala	Multizenter, doppelt verblindet, randomisiert	39 Monate	6 Revisionen, 2 Meningitis, 42 temporäre Überdosierungen	–
Wissel [56]	204	Botulinumtoxin für fokale Spastik	Signifikante Verbesserung (Patientenselbsteinschätzung)	Retrospektive Kohorte	–	Keine systemischen NW	–
Smeulders [57]	234	Arthrolyse, Muskeltransfer und/oder Gelenkstabilisierung	Verbesserte Handfunktion und Hygiene	Cochrane-Review, 9 eingeschlossene Studien	–	Nicht ausgewiesen	Es gibt keine standardisierte operative Methode

ITB Intrathekale Baclofentherapie, ROM „range of motion“, SDR Selektive dorsale Rhizotomie, SN Selektive Neurektomie, FU Follow-Up

nahme eines Ganglabors erfolgen. Viele von den mit SDR behandelten Patienten benötigen später eine operative orthopädische Behandlung [21, 50]. Einige Studien empfehlen SDR als eine effektive Alternative zur intrathekalen Baclofen-Pumpen-Therapie bei GMFCS 2 und 3, ggf. sogar 5 [51, 52].

Mögliche Komplikationen dieser neuroorthopädischen Eingriffe umfassen

übliche Probleme der Wundheilungsstörung und Infektion, Kraftverlust bei Eingriffen am spastischen Muskel und Rezidive der Fehlstellungen und Kontrakturen.

Die verschiedenen Verfahren zählt [Tab. 6](#), strategisch und topografisch geordnet, auf.

Eine Übersicht der wesentlichen Verlaufsstudien mit Beurteilung der Studienqualität ist in den [Tab. 7 und 8](#) gegeben.

Global ist eine Evaluation der Interventionen in den Domänen Struktur und Funktion der International Classification of Function and Disability (ICF) der WHO möglich, ebenso der Auswirkungen auf Aktivitäten und Teilhabe.

Tab. 8 Studien untere Extremität

Autoren	Anzahl Patienten	Modus	Effekte	Studiendesign	FU	Komplikationen	Fazit
Terjesen [35]	78	Adduktorennotomie	Verbesserung oder Verschlechterung (<10%) der Migration Prozent (MP) gut – 51 Patienten schlecht – 12 unsicher – 15	Retrospektive	Bis zur Hüft-Op.	Keine	Die Operation wird bei MP <50 % empfohlen
Takeuchi [36]	13	Adduktorennotomie	Keine Verbesserung bei schwerer Dysplasie	Retrospektive	5,2J	Keine	Bei schwerer Dysplasie wird keine Verbesserung beobachtet
Kokavec [37]	228	SEMLS	68 % exzellente oder gute Ergebnisse	Retrospektive vergleichende	9J	–	SEMLS, unterstützt von guter Physiotherapie, gibt bessere Ergebnisse als Single level surgery
Putz [38]	37	SEMLS	Verbesserung der Kinematik von Hüfte, Knie und Sprunggelenk	Retrospektive	1,7J	3 orthopädisch relevante Komplikationen	Deutliche Verbesserung des Gangbilds bei Erwachsenen nach SEMLS
Thomason [39]	19	SEMLS	Verbesserung des GPS- und GMFCS-Scores	RCT	5J	–	Klinische und statistische Verbesserung des Gangbilds und der Funktion nach SEMLS
Svehlik [40]	39	SEMLS	Verbesserung des GDI	Retrospektive	10J	–	GMFCS III Kinder zw. 10 und 12 Jahren zeigten nachhaltige Verbesserung nach SEMLS
Rutz [20]	107	SEMLS	Verbesserung des GPS	Retrospektive	5J	–	Verbesserung des Gangbilds und der Gehfunktion
Park [21]	–	SDR	Reduktion der Spastik und Verbesserung des Gangbilds bei Op. <6 Jahren	Review, 10 eingeschlossene Fallserien	–	Nicht ausgewiesen	SDR reduziert den Tonus und kann orthopädische Spätkomplikationen verhindern
Peacock [45]	25	SDR	Reduktion der Spastik und Verbesserung des Gangbilds	Retrospektive Kohorte	–	2 Zystitis durch Katheter	SDR reduziert Tonus und erhöht die ROM
Bolster EA [50]	29	SDR bei I–III	Nur 6 Kinder zeigten eine Verbesserung des GMFC-Score. Die anderen zeigten einen unveränderten GMFCS-Level	Prospektive Kohorte	10J	2 – Komplikationen an der Wirbelsäule 16 Kinder benötigten weitere orthopädische Operationen	Anwendung der Selektionskriterien zur Indiktion der SDR Weitere orthopädische Operationen sind oft nötig
D'Aquino [51]	54	SDR bei GMFCS IV und V	Reduktion der Spastizität (Ashworth-Skala [58])	Retrospektive Studie mit einer prospektiven Datensammlung	1,2J	–	In dieser Patientengruppe könnte SDR eine alternativ zur Baclofenpumpe sein
Ingale [52]	10	SDR bei GMFCS IV und V bei liegender Baclofenpumpe	Reduktion der Spastizität (Ashworth-Skala [58])	Retrospektive	–	–	SDR effektiver als die Baclofenpumpe und billiger

FU Follow-Up, MP Migration Prozent, SEMLS „single event multi level surgery“, GPS „gait profile score“, GMFCS „gross motor function classification scale“, GDI „gait deviation index“, SDR selektive dorsale Rhizotomie, ROM „range of motion“

Handchirurgisch hat sich v. a. die Einteilung nach House [53, 59] bewährt.

In der deutschsprachigen Literatur finden sich v. a. Arbeiten zur Behandlung mit Botulinumtoxin [56] und zur Chirurgie der spastischen unteren Extremität (■ Tab. 8); wobei in internationalen, v. a. handchirurgischen Kreisen, die Chirurgie der „spastischen Hand“ schon lange innerhalb eines allumfassenden, schlüssigen Konzepts beschrieben und verfeinert wird [54, 59–61].

Der aktuellen AWMF-Leitlinie zur Spastik [1] entnehmen wir, dass es für die operative Korrektur eines so speziellen Problems, wie der „Thumb-in-palm“-Deformität, ein Cochrane-Review gibt. Die Autoren beschreiben einen von Patienten und Chirurgen festgestellten positiven Effekt, weisen aber auf die hohe Anzahl unterschiedlicher Interventionen und Messparameter hin, sodass eine konkrete, evidenzbasierte Beurteilung dieser Behandlung nicht möglich scheint [57].

Schlussfolgerungen

Spastische Lähmungen sind ein komplexes funktionsbeeinträchtigendes Problem, das heutzutage vielfältig rekonstruktiv und mit „destruktiven“ Methoden zur Tonusreduktion angegangen werden kann. In erster Linie zählen Physio- und Ergotherapie mit vereinbarten alltagsrelevanten Therapiezielen, kombiniert mit Orthesen, sowie die selektive Behandlung spastischer Muskeln mit Botulinumtoxin. Verschiedene chirurgisch-rekonstruktive und teils auch palliative Verfahren kommen dann zum Einsatz, wenn es keinen konservativen Behandlungsansatz gibt (Fehlwachstum, komplexes Muskelungleichgewicht, Schmerzen, Hygiene- und Pflegeproblematik) oder konservative Maßnahmen nicht mehr ausreichen.

Jeder chirurgische Eingriff muss an seinem potenziellen Benefit für alltagsrelevante Ziele des Patienten (Domäne Aktivität der ICF) unter Vermeidung von kurz- und langfristigen Einschränkungen gemessen werden und braucht auch postoperativ eine spezifische Nachbehandlung, oft in Form einer stationären Rehabilitation, um die therapeutisch

optimierte Biomechanik im Sinne des motorischen Lernens optimal zu nutzen.

Fazit für die Praxis

- Eine spastische Bewegungsstörung beruht auf einer Schädigung des 1. Motoneurons mit vielfältigen Ursachen und hat multiple Auswirkungen auf die Extremitätenfunktion und deren Entwicklung beim Heranwachsenden.
- Diagnostisch ist neben der im Vordergrund stehenden klinischen Untersuchung und Einteilung in Funktionsschweregrade mittels Scores die ätiologische Zuordnung (und damit die Kenntnis über den Langzeitverlauf) Grundlage für eine erfolgreiche Indikationsstellung und für den Erfolg aller Behandlungsverfahren mitentscheidend.
- Konservative Maßnahmen stehen immer an erster Stelle und beinhalten neben Physio- und Ergotherapie die Versorgung mit Orthesen und den Einsatz von Botulinumtoxin.
- Chirurgische Verfahren setzen entweder am Nerv (selektive Neurotomie) oder am Muskel (Ansatzlösung, Fasziotomie) an bzw. korrigieren knöcherne oder Gelenkfehlstellungen. Die Evidenzlage chirurgischer Korrekturingriffe ist aufgrund der alleinigen Verfügbarkeit retrospektiver Kohortenstudien zwar gering, allerdings der Erkrankungskomplexität, den individuell unterschiedlichen funktionellen Bedürfnissen der Patienten sowie der Beurteilung der Behandlungsergebnisse entsprechend.
- Die Prognose ist individuell, Scoring-Systeme wie insbesondere die Gross motor function classification scale (GMFCS) helfen bei der einheitlichen Analyse der therapeutischen Verfahren. Der interdisziplinäre Ansatz ist und bleibt sehr wichtig bei der Betreuung dieser komplexen und multifaktoriellen Problematik.

Korrespondenzadresse

Jörg Bahm, MD PhD

Sektion Plexuschirurgie der Klinik für Plastische, Hand- und Verbrennungschirurgie, Universitätsklinikum RWTH Aachen, Pauwelsstraße 30, 52074 Aachen, Deutschland
jbahm@ukaachen.de

Funding. Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. J. Bahm, C. Hagemann, T. Becher, R. Böttcher und C. U. Dussa geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden von den Autoren keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Open Access. Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

1. Platz T et al Therapie des spastischen Syndroms, S2k-Leitlinie. www.dgn.org/leitlinien (in: Deutsche Gesellschaft für Neurologie (Hrsg.). Leitlinien für Diagnostik und Therapie in der Neurologie). Zugriffen: 1.6.2020
2. Lance JW (1980) Pathophysiology of spasticity and clinical experience with baclofen. In: Lance JW, Feldman RG, Young RR, Koella WP (Hrsg.) Spasticity: Disordered Motor Control. Year Book, Chicago, S 185–204
3. Bar-On L, Molenaers G, Aertbelien E et al (2015) Spasticity and its contribution to hypertonia in cerebral palsy. *Biomed Res Int* 317047. <https://doi.org/10.1155/2015/317047>
4. McManus V, Guillem P, Surman G, Cans C (2006) SCPE work, standardization and definition—an overview of the activities of SCPE: a collaboration

- of European CP Registers. *Zhongguo Dang Dai Er Ke Za Zhi* 8(4):261–265
5. Stavsky M, Mor O, Mastrolia SA, Greenbaum S, Than NG, Erez O (2017) Cerebral palsy—trends in epidemiology and recent development in prenatal mechanisms of disease, treatment, and prevention. *Front Paediatr* 5:1–10
 6. Himmelmann K, Uvebrant P (2018) The panorama of cerebral palsy in Sweden shows that patterns changed in the birth years 2007–2010. *Acta Paediatr* 107:462–468
 7. Sellier E, Platt MJ, Andersen GL, Krägeloh-Mann I, De La Cruz J, Cans C (2016) Surveillance of Cerebral Palsy Network: decreasing prevalence in cerebral palsy: a multi-site European population-based study, 1980 to 2003. *Dev Med Child Neurol* 58(1):85–92
 8. Wissel J et al (2009) European consensus table on the use of botulinum toxin A in adult spasticity. *J Rehab Med* 41(1):13–25
 9. Döderlein L (2007) *Infantile Zerebralparese: Diagnostik, konservative und operative Therapie*. Steinkopff-Springer, Heidelberg
 10. Bahm J (2017) *Bewegungsstörungen der oberen Extremität bei Kindern: Konservative und operative Therapie*. Springer, Heidelberg
 11. Lieber RL, Fridén J (2002) Spasticity causes a fundamental rearrangement of muscle-joint interaction. *Muscle Nerve* 25(2):265–270
 12. Pontén E, Gantelius S, Lieber RL (2007) Intraoperative muscle measurements reveal a relationship between contracture formation and muscle remodeling. *Muscle Nerve* 36(1):47–54
 13. Elvrum AKG, Andersen GL, Himmelmann K, Beckung E, Öhrvall AM, Lydersen S, Vik T (2016) Bimanual Fine Motor Function (BFMF) Classification in children with cerebral palsy: aspects of construct and content validity. *Phys Occup Ther Pediatr* 36(1):1–16
 14. Eliasson AC, Krumlinde Sundholm L, Rösblad B, Beckung E, Arner M, Öhrvall AM, Rosenbaum P (2006) The Manual Ability Classification System (MACS) for children with cerebral palsy: scale development and evidence of validity and reliability. *Dev Med Child Neurol* 48:549–554
 15. de Moraes Filho MC, Kawamura CM, Lopes JAF, Lins Neves D, de Oliveira Cardoso M, Brandão Caiafa J (2014) Most frequent gait patterns in diplegic spastic cerebral palsy. *Acta ortop bras* 22(4):197–201
 16. Tsitlakidis S, Horsch A, Schaefer F, Westhauser F, Goetze M, Hagmann S, Klotz MCM (2019) Gait classification in unilateral cerebral palsy. *J Clin Med* 8(1652):1–9
 17. Palisano R, Rosenbaum PL, Walter S et al (1997) Development and reliability of a system to classify gross motor function in children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol* 39(4):214–223
 18. Grunt S, Fieggan AG, Vermeulen RJ, Becher JG, Langerak NG (2014) Selection criteria for selective dorsal rhizotomy in children with spastic cerebral palsy: a systematic review of the literature. *Dev Med Child Neurol* 56(4):302–312
 19. Medical Research Council. Aids to the examination of the peripheral nervous system, Memorandum no. 45, Her Majesty's Stationery Office London 1981
 20. Rutz E, Tirosh O, Thomason P, Barg A, Graham HK (2012) Stability of the Gross Motor Function Classification System after single-event multilevel surgery in children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol* 54(12):1109–1113
 21. Park TS, Owen JH (1992) Surgical management of spastic diplegia in cerebral palsy. *N Engl J Med* 326(11):745–749
 22. Haugh AB, Pandyan AD, Johnson GR (2006) A systematic review of the Tardieu Scale for the measurement of spasticity. *Disabil Rehabil* 28(15):899–907
 23. Hoare BJ, Wallen MA, Imms C, Villanueva E, Rawicki HB, Carey L (2010) Botulinum toxin A as an adjunct to treatment in the management of the upper limb in children with spastic cerebral palsy (update). *Cochrane Database Syst Rev* 1:CD3469
 24. Strobl W et al (2015) Best clinical practice in botulinum toxin treatment for children with cerebral palsy. *Toxins (basel)* 11(7(5)):1629–1648
 25. Albright AL, Cervi A, Singletary J (1991) Intrathecal baclofen for spasticity in cerebral palsy. *JAMA* 265(11):1418–1422
 26. Hagemann C, Schmitt I, Lischetzki G, Kunkel P (2020) Intrathecal baclofen therapy for treatment of spasticity in infants and small children under 6 years of age. *Childs Nerv Syst* 36(4):767–773
 27. Flack SH et al (2010) Cerebrospinal fluid and spinal cord distribution of hyperbaric Bupivacaine and Baclofen during slow intrathecal infusion in pigs. *Anesthesiology* 112(1):165–173
 28. Grabb PA et al (1999) Midthoracic catheter tip placement for intrathecal baclofen administration in children with quadriparetic spasticity. *Neurosurgery* 45(4):833–836 (discussion 836–7)
 29. Skalsky AJ, Fournier CM (2015) Intrathecal baclofen bolus dosing and catheter tip placement in pediatric tone management. *Phys Med Rehabil Clin N Am* 26(1):89–93
 30. Westbom L, Hägglund G, Lundkvist A, Nordmark E, Strömblad LG (2003) New therapeutic methods for spasticity and dystonia in children with cerebral palsy require multidisciplinary team work. *Comprehensive approach yields good results. Lakartidningen* 100(3):125–130
 31. Vulpius O, Stoffel A (1913) *Orthopädische Operationslehre*. Enke, Stuttgart
 32. Leclercq C (2018) Selective neurectomy for the spastic upper extremity. *Hand Clin* 34(4):537–545
 33. Brunelli G, Brunelli F (1983) Partial selective denervation in spastic palsies (hyponeurotization). *Microsurgery* 4:221–224
 34. Gohritz A, Friden J (2018) Management of spinal cord injury-induced upper extremity spasticity. *Hand Clin* 34:555–565
 35. Terjesen T, Lie GD, Hyldmo AA, Knaus A (2005) Adductor tenotomy in spastic cerebral palsy. *Acta Orthop* 76:1:128–137
 36. Takeuchi R, Mutsuzaki H, Shimizu Y, Mataka Y, Kamada H (2017) Soft-tissue release for hip subluxation and dislocation in cerebral palsy. *J Rural Med* 12(2):120–125
 37. Kokavec M (2006) Long-term results of surgical treatment of patients suffering from cerebral palsy. *Bratisl Lek Listy* 107(11–12):430–434
 38. Putz C, Wolf SI, Mertens EM, Geisbüsch A, Gantz S, Braatz F, Döderlein L, Dreher T (2017) Effects of multilevel surgery on a flexed knee gait in adults with cerebral palsy. *Bone Joint J* 99-B(9):1256–1264
 39. Thomason P, Selber P, Graham HK (2013) Single Event Multilevel Surgery in children with bilateral spastic cerebral palsy: a 5 year prospective cohort study. *Gait Posture* 37(1):23–28
 40. Švehlík M, Steinwender G, Lehmann T, Kraus T (2016) Predictors of outcome after single-event multilevel surgery in children with cerebral palsy: a retrospective ten-year follow-up study. *Bone Joint J* 98-B(2):278–281
 41. Novak I, McIntyre S, Morgan C, Campbell L, Dark L (2013) A systematic review of interventions for children with cerebral palsy: state of the evidence. *Dev Med Child Neurol* 55(10):885–910
 42. Thomason P, Graham HK (2014) A systematic review of interventions for children with cerebral palsy: the state of the evidence. *Dev Med Child Neurol* 56(4):390–391
 43. Hoare B, Imms C, Villanueva E, Rawicki HB, Matyas T, Carey L (2013) Intensive therapy following upper limb Botulinum Toxin A injection in young children with unilateral cerebral palsy: a randomized trial. *Dev Med Child Neurol* 55(3):238–247
 44. McMorran D, Robinson LW, Henderson G, Herman J, Robb JE, Gaston MS (2016) Using a goal attainment scale in the evaluation of outcomes in patients with diplegic cerebral palsy. *Gait&Posture* 44:168–171
 45. Peacock WJ, Staudt LA (1991) Functional outcomes following selective posterior rhizotomy in children with cerebral palsy. *J Neurosurg* 74(3):380–385
 46. Aquilina K, Graham D, Wimalasundera N et al (2015) Selective dorsal rhizotomy: an old treatment re-emerging. *Arch Dis Child* 100(8):798–802
 47. Rumberg F, Bakir MS, Taylor WR, Haberl H, Sarpong A, Sharankou I, Lebek S, Funk JF (2016) The effects of selective dorsal rhizotomy on balance and symmetry of gait in children with cerebral palsy. *PLoS ONE* 11(4):e0152930. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152930>
 48. Munger ME, Aldahondo N, Krach LE, Novack TF, Schwartz MH (2017) Long-term outcomes after selective dorsal rhizotomy: a retrospective matched cohort study. *Dev Med Child Neurol* 59(11):1196–1203
 49. Funk JF, Haberl H (2016) Monosegmental laminoplasty for selective dorsal rhizotomy—operative technique and influence on the development of scoliosis in ambulatory children with cerebral palsy. *Childs Nerv Syst* 32(5):819–825
 50. Bolster EA, van Schie PE, Becher JG, van Ouwkerk WJ, Strijers RL, Vermeulen RJ (2013) Long-term effect of selective dorsal rhizotomy on gross motor function in ambulant children with spastic bilateral cerebral palsy, compared with reference centiles. *Dev Med Child Neurol* 55(7):610–616
 51. D'Aquino D, Moussa AA, Ammar A, Ingale H, Vloeberghs M (2018) Selective dorsal rhizotomy for the treatment of severe spastic cerebral palsy: efficacy and therapeutic durability in GMFCS grade IV and V children. *Acta Neurochir (wien)* 160(4):811–821
 52. Ingale H, Ughratdar I, Muquit S, Moussa AA, Vloeberghs MH (2016) Selective dorsal rhizotomy as an alternative to intrathecal baclofen pump replacement in GMFCS grades 4 and 5 children. *Childs Nerv Syst* 32(2):321–325
 53. House JH, Gwathmey FW, Fidler MO (1981) A dynamic approach to the thumb-in palm deformity in cerebral palsy. *J Bone Joint Surg Am* 63:216–225
 54. Gschwind C, Tonkin M (1992) Surgery for cerebral palsy: Part 1: Classification and operative procedures for pronation deformity. *J Hand Surg Br* 17:391–395
 55. Gilmartin R, Bruce D, Storrs BB, Abbott R, Krach L, Ward J, Bloom K, Brooks WH, Johnson DL, Madsen JR, McLaughlin JF, Nadel J (2000) Intrathecal baclofen for management of spastic cerebral palsy: multicenter trial. *J Child Neurol* 15(2):71–77
 56. Wissel J, Müller J, Heinen F, Mall V, Sojer M, Ebersbach G, Poewe W (1999) Safety and tolerance of single-dose botulinum toxin Type A treatment in 204 patients with spasticity and localized

- associated symptoms. Austrian and German botulinum toxin A spasticity study group. *Wien Klin Wochenschr* 111(20):837–842 (Erratum in: *Wien Klin Wochenschr* 1999; 111(24): 1051)
57. Smeulders M, Coester A, Kreulen M (2005) Surgical treatment for the thumb-in-palm deformity in patients with cerebral palsy. *Cochrane Database Syst Rev* 4:CD4093
58. Lee KC, Carson L, Kinnin E, Patterson V (1989) The Ashworth scale: a reliable and reproducible method of measuring spasticity. *Neurorehabil Neural Repair* 3:205–209
59. Bhardwaj P, Sabapathy R (2011) Assessment of the hand in cerebral palsy. *Indian J Plast Surg* 44(2):348–356
60. Wallen M, Stewart K (2016) Grading and quantification of upper extremity function in children with spasticity. *Semin Plast Surg* 30(1):5–13
61. Adkinson JM (2018) Management of spastic conditions of the upper extremity. *Hand Clin* 34(4)