

Aus dem Institut für Orthopädie und Unfallchirurgie, Centrum für
Muskuloskeletale Chirurgie
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Selektive Dorsale Rhizotomie - Studie zur Vorhersagbarkeit
des funktionellen Therapieerfolges an Hand der präoperativen
Assessmentparameter

zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Amelie Friederike Panthen

aus Berlin

Datum der Promotion: 5.3.2021

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	V
Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	IX
1 Zusammenfassung/ Abstract.....	14
1.1 Deutsch.....	14
1.2 Englisch	15
2 Einleitung.....	17
2.1 Definition und Klassifikation der Infantilen Zerebralparese.....	17
2.2 Pathogenese und Ätiologie.....	18
2.3 Pathophysiologie und Symptome der Infantilen Zerebralparese	19
2.3.1 Spastik.....	20
2.3.2 Schwäche.....	20
2.4 Diagnostik.....	21
2.5 Therapiemöglichkeiten	22
2.5.1 Konservative Therapiemethoden.....	23
2.5.2 Pharmakologische Methoden	23
2.5.3 Neurochirurgische Methoden	24
2.5.4 Orthopädische Methoden	25
2.6 Selektive dorsale Rhizotomie	26
2.7 Zielsetzung der Arbeit.....	27
3 Methoden.....	28
3.1 Studiendesign.....	28
3.2 Auswahl der SDR-geeigneten Patienten.....	28
3.3 Operationstechnik.....	29

3.4	Messinstrumente.....	30
3.4.1	Gross Motor Function Measure	31
3.4.2	Gross Motor Function Classification System.....	32
3.4.3	Messung der passive Gelenkbeweglichkeit.....	33
3.4.4	Kraftmessung.....	33
3.4.5	Modifizierte Ashworth-Skala.....	34
3.4.6	Body-Mass-Index	34
3.5	Statistische Analyse.....	35
4	Ergebnisse	37
4.1	Patienten.....	37
4.2	Modifizierte Ashworth-Skala	37
4.3	Gross Motor Function Measure	40
4.4	Gross Motor Function Classification System	43
4.5	Messung der passiven Gelenkbeweglichkeit	45
4.6	Kraftmessung	54
4.7	Body Mass Index (BMI).....	61
4.8	Korrelationsanalyse zwischen der Differenz des GMFM-G und Z postoperativ und den Parametern des Assessments	64
5	Diskussion	68
5.1	Zusammenfassung der Ergebnisse	68
5.2	Verwendete Methodik.....	68
5.2.1	Patientenkollektiv	68
5.2.2	Auswahl der Messinstrumente.....	69
5.2.2.1	GMFM-88	69
5.2.2.2	MAS	70
5.2.2.3	Passive Gelenkbeweglichkeit.....	71

5.2.2.4	Messung der groben Kraft	71
5.2.2.5	BMI	72
5.2.3	Statistische Analyse	72
5.2.4	Limitierungen	73
5.3	Ergebnisdiskussion.....	73
5.3.1	Ergebnis der Messung der Spastizität	73
5.3.2	Ergebnis der Messung der motorischen Fähigkeiten (GMFM).....	75
5.3.3	Gross Motor Function Classification System.....	77
5.3.4	Ergebnis der Messung der passiven Gelenkbeweglichkeit.....	78
5.3.5	Ergebnis der Messung der Kraft.....	80
5.3.6	BMI	81
5.3.7	Korrelationsanalyse.....	82
5.4	Zukunftsaussicht	87
6	Literaturverzeichnis	88
7	Eidesstattliche Versicherung	95
8	Lebenslauf.....	97
9	Publikationsliste	99
10	Danksagung	100

Abkürzungsverzeichnis

AB	Abduktion
AD	Adduktion
ADD	Adduktoren
AR	Außenrotation
BFMF	Bimanual Fine Motor Function
BMI	Body Mass Index
CFCS	Communication Function Classification System
DE	Dorsalextension
Diff	Differenz
EMG	Elektromyographie
EX	Extension
FL	Flexion
GABA-A/B	Gamma Aminobuttersäure
Gastro	Muskulus Gastrocnemius
GMAE	Gross Motor Ability Estimator
GMFCS	Gross Motor Function Classification System
GMFM-G	Gross Motor Function Measure Gesamt
GMFM-Z	Gross Motor Function Measure Zielbereich
HG	Hüftgelenk
ICF	International Classification of Functioning, Disability and Health
ICP	Infantile Zerebralparese
Ischio	Ischiocrurale Muskulatur
KG	Kniegelenk
M.	Muskulus
MAS	modifizierte Ashworth Skala
MFT	Muskelfunktionstest
MRT	Magnet Resonanztomographie
N	Anzahl

OP	Operation
PF	Plantarflexion
Post	nach
Prae	vor
ROM	Range of Motion
SCPE	Surveillance of Cerebral Palsy in Europe
SD	Standard Abweichung
SDS	Standard Deviation Score
SG	Sprunggelenk
WHO	World Health Organisation

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: International Classification of Functioning, Disability and Health.....	31
Abbildung 2: Veränderung der Spastizität gemessen mittels MAS (modifizierte Ashworth-Skala) über die drei Zeitpunkte M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP) und M3 (24 Monate post OP) in den Adduktoren (ADD), der Ischiokruralen Muskulatur (Ischio) und dem M. Gastrocnemius (Gastro).	40
Abbildung 3: Veränderung des GMFM-G (Gross Motor Functio Measure Gesamt) von präoperativ (M1) und postoperativ nach 12 Monaten (M2) und 24 Monaten (M3).....	42
Abbildung 4: Veränderung des GMFM-Z (Gross Motor Function Measure Zielbereich) von präoperativ (M1) und postoperativ nach 12 Monaten (M2) und 24 Monaten (M3)....	42
Abbildung 5: Anzahl der Kinder mit einer Veränderung im GMFM-G (Gross Motor Function Measure Gesamt) über 6% und unter 6%.	43
Abbildung 6: Anzahl der Kinder mit einer Veränderung im GMFM-Z (Gross Motor Function Measure Zielbereich) über 6% und unter 6%.	43
Abbildung 7: Passives Bewegungsausmaß (ROM) des Hüftgelenks (HG) in die Extension (EX) im post-operativen Verlauf. M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP).....	46
Abbildung 8: Passives Bewegungsausmaß (ROM) im Hüftgelenk (HG) in die Abduktion (AB) vor der Operation (M1) und nach 12 Monaten (M2) und 24 Monaten (M3).....	48
Abbildung 9: Passives Bewegungsausmaß (ROM) im Hüftgelenk (HG) in die Außenrotation (AR) vor der Operation (M1) und nach 12 Monaten (M2) und 24 Monaten (M3) post-operativ.....	49
Abbildung 10: Passives Bewegungsausmaß (ROM) des Kniegelenks (KG) in die Extension (EX) vor der Operation (M1) und nach 12 Monaten (M2) und 24 Monaten (M3) post-operativ.....	51
Abbildung 11: Passives Bewegungsausmaß (ROM) im oberen Sprunggelenk (SG) in die Dorsalextension (DE) bei gleichzeitiger Kniegelenk-Extension (KG-EX) vor der Operation (M1) und nach 12 Monaten (M2) und 24 Monaten (M3) post-operativ.....	53
Abbildung 12: Kraftmessung (MFT) vor der Operation in den Sprunggelenk-Dorsalextensoren (SG-DE), Sprunggelenk-Plantarflexoren (SG-PF), Kniegelenk-Extensoren (KG-EX), Hüftgelenk-Extensoren (HG-EX) und Hüftgelenk-Abduktoren (HG-AB) für das rechte (re) und linke (li) Bein.....	61

Abbildung 13: Kraftmessung (MFT) nach 24 Monaten post-operativ in den Sprunggelenk-Dorsalextensoren (SG-DE), Sprunggelenk-Plantarflexoren (SG-PF), Kniegelenk-Extensoren (KG-EX), Hüftgelenk-Extensoren (HG-EX) und Hüftgelenk-Abduktoren (HG-AB) für das rechte (re) und linke (li) Bein.....	61
Abbildung 14: Verlauf des BMI (Body Mass Index) über die drei Zeitpunkte M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP) und M3 (24 Monate post OP).....	63
Abbildung 15: BMI (Body Mass Index) Perzentilen für Jungen.	63
Abbildung 16: BMI (Body Mass Index) Perzentilen für Mädchen.	64
Abbildung 17: Boxplot für die Darstellung des Zusammenhangs zwischen der Veränderung im GMFM-Z nach OP über 6% und GMFM-Z vor OP und Testung Signifikanz (p-Wert). GMFM-Z (Gross Motor Function Measure Zielbereich), OP (Operation).....	66
Abbildung 18: Boxplot für die Darstellung des Zusammenhangs zwischen der Veränderung im GMFM-G nach OP über 6% und dem GMFM-G vor OP und Testung auf Signifikanz (p-Wert). GMFM-G (Gross Motor Function Measure Gesamt), OP (Operation).....	67

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einteilung der Reflexantwort der intraoperativen Elektromyographie Messung. Tabelle nach Turner (42).	30
Tabelle 2: Stufeneinteilung des Gross Motor Function Classification System. Voraussichtliches Ausmaß der Mobilität im Alter von 6-12 Jahren.	32
Tabelle 3: Einteilung der Kraftgrade des Muskelfunktionstest.....	34
Tabelle 4: Abstufungen der modifizierten Ashworth Skala zur Bewertung der Spastizität.	34
Tabelle 5: Median der Messung der Spastizität mittels MAS (modifizierte Ashworth- Skala) zu den Zeitpunkten M1 (prae OP) und M2 (12 Monate post OP), p-Wert der Differenz.....	39
Tabelle 6: Median der Messung der Spastizität mittels MAS (modifizierte Ashworth- Skala) zu den Zeitpunkten M1 (prae OP) und M3 (24 Monate post OP), p-Wert der Differenz.....	39
Tabelle 7: Median der Messung der Spastizität mittels MAS (modifizierte Ashworth- Skala) zu den Zeitpunkten M2 (12 Monate post OP) und M3 (24 Monate post OP), p- Wert der Differenz.....	39
Tabelle 8: Mittelwert und Standardabweichung (SD) des GMFM-G zu den drei Messzeitpunkten M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP). GMFM-G (Gross Motor Funktion Measure Gesamt), N (Anzahl).....	41
Tabelle 9: Mittelwert und Standardabweichung (SD) des GMFM-Z zu den drei Messzeitpunkten M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP). GMFM-Z (Gross Motor Function Measure Zielbereich), N (Anzahl).	41
Tabelle 10: Signifikanzen der Messzeitpunktdifferenzen des GMFM-G zwischen den drei Zeitpunkten M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP). GMFM-G (Gross Motor Function Measure Gesamt), N (Anzahl).....	41
Tabelle 11: Signifikanzen der Messzeitpunktdifferenzen des GMFM-Z zwischen den drei Zeitpunkten M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP). GMFM- Z (Gross Motor Function Measure Zielbereich), N (Anzahl).	41
Tabelle 12: Vergleich der Differenzen des GMFM-G der drei Messzeitpunkte zwischen den GMFCS-Leveln 1, 2 und 3. GMFM-G (Gross Motor Function Measure Gesamt), GMFCS (Gross Motor Function Classification System), N (Anzahl), SD	

(Standardabweichung), Diff (Differenz), M1 (präoperativ), M2 (12 Monate postoperativ), M3 (24 Monate postoperativ).....	44
Tabelle 13: Mittelwert und Standardabweichung (SD) der Hüftgelenk-Extension (HG-EX) zu den drei Messzeitpunkten. M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).....	45
Tabelle 14: Mittelwert und Standardabweichung (SD) der Differenzen zwischen den Messzeitpunkten für die Hüftgelenk-Extension (HG-EX) und p-Wert für das linke Bein. M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).....	46
Tabelle 15: Mittelwert und Standardabweichung (SD) der Differenzen zwischen den Messzeitpunkten für die Hüftgelenk-Extension (HG-EX) und p-Wert für das rechte Bein. M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).....	46
Tabelle 16: Mittelwert und Standardabweichung (SD) der Hüftgelenk-Abduktion (HG-AB) zu den drei Messzeitpunkten. M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).....	47
Tabelle 17: Mittelwert und Standardabweichung (SD) der Differenzen zwischen den Messzeitpunkten für die Hüftgelenk-Abduktion (HG-AB) und p-Wert für das linke Bein. M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).....	47
Tabelle 18: Mittelwert und Standardabweichung (SD) der Differenzen zwischen den Messzeitpunkten für die Hüftgelenk-Abduktion (HG-AB) und p-Wert für das rechte Bein. M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).....	47
Tabelle 19: Mittelwert und Standardabweichung (SD) der Hüftgelenk-Außenrotation (HG-AR) zu den drei Messzeitpunkten. M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).....	48
Tabelle 20: Mittelwert und Standardabweichung (SD) der Differenz zwischen den drei Messzeitpunkten für die Hüftgelenk-Außenrotation (HG-AR) und p-Wert für das linke Bein. M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).....	49
Tabelle 21: Mittelwert und Standardabweichung (SD) der Differenzen zwischen den drei Messzeitpunkten für die Hüftgelenk-Außenrotation (HG-AR) und p-Wert für das rechte Bein. M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).....	49
Tabelle 22: Mittelwert und Standardabweichung (SD) der Kniegelenk-Extension (KG-EX) zu den drei Messzeitpunkten. M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).....	50

Tabelle 23: Mittelwert und Standardabweichung (SD) der Differenzen zwischen den drei Messzeitpunkten für die Kniegelenk-Extension (KG-EX) und p-Wert für das linke Bein. M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).	50
Tabelle 24: Mittelwert und Standardabweichung (SD) der Differenzen zwischen den drei Messzeitpunkten für die Kniegelenk-Extension (KG-EX) und p-Wert für das rechte Bein. M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).	50
Tabelle 25: Mittelwert und Standardabweichung (SD) der Sprunggelenk-Dorsalextension (SG-DE) mit gleichzeitiger Kniegelenk-Flexion (KG-FL) zu den drei Messzeitpunkten. M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).	51
Tabelle 26: Mittelwert und Standardabweichung (SD) der Differenz zwischen den drei Messzeitpunkten für die Sprunggelenk-Dorsalextension (SG-DE) mit Kniegelenk-Flexion (KG-FL) und p-Wert für das linke Bein. M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).	52
Tabelle 27: Mittelwert und Standardabweichung (SD) der Differenzen zwischen den drei Messzeitpunkten für die Sprunggelenk-Dorsalextension (SG-DE) mit Kniegelenk-Flexion (KG-FL) und p-Wert für das rechte Bein. M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).	52
Tabelle 28: Mittelwert und Standardabweichung (SD) der Sprunggelenk-Dorsalextension (SG-DE) mit gleichzeitiger Kniegelenk-Extension (KG-EX) zu den drei Messzeitpunkten M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).	52
Tabelle 29: Mittelwert und Standardabweichung (SD) der Differenzen zwischen den drei Messzeitpunkten für die Sprunggelenk-Dorsalextension (SG-DE) mit Kniegelenk-Extension (KG-EX) und p-Wert für das linke Bein. M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).	53
Tabelle 30: Mittelwert und Standardabweichung (SD) der Differenzen zwischen den drei Messzeitpunkten für die Sprunggelenk-Dorsalextension (SG-DE) mit Kniegelenk-Extension (KG-EX) und p-Wert für das rechte Bein. M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).	53
Tabelle 31: p-Wert der Differenzen (Diff.) der Kraft in den Hüftgelenk-Extensoren (HG-EX) des linken Beines zwischen den Zeitpunkten M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP) und M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).	54

Tabelle 32: p-Wert der Differenzen (Diff.) der Kraft in den Hüftgelenk-Extensoren (HG-EX) des rechten Beines zwischen den Zeitpunkten M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP) und M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).....	55
Tabelle 33: p-Wert der Differenzen (Diff.) der Kraft der Hüftgelenk-Flexoren (HG-FL) des linken Beines zwischen den Zeitpunkten M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP) und M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).....	55
Tabelle 34: p-Wert der Differenzen (Diff.) der Kraft der Hüftgelenk-Flexoren (HG-FL) des rechten Beines zwischen den Zeitpunkten M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP) und M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).....	55
Tabelle 35: p-Wert der Differenzen (Diff.) der Kraft der Hüftgelenk-Abduktoren (HG-AB) des linken Beines zwischen den Zeitpunkten M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP) und M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).	56
Tabelle 36: p-Wert der Differenzen (Diff.) der Kraft der Hüftgelenk-Abduktoren (HG-AB) des rechten Beines zwischen den Zeitpunkten M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP) und M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).	56
Tabelle 37: p-Wert der Differenzen (Diff.) der Kraft der Hüftgelenk-Adduktoren (HG-AD) des linken Beines, zwischen den Zeitpunkten M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP) und M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).	57
Tabelle 38: p-Wert der Differenzen (Diff.) der Kraft der Hüftgelenk-Adduktoren (HG-AD) des rechten Beines zwischen den Zeitpunkten M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP) und M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).	57
Tabelle 39: p-Wert der Differenzen (Diff.) der Kraft der Kniegelenk-Extensoren (KG-EX) des linken Beines zwischen den Zeitpunkten M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP) und M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).	57
Tabelle 40: p-Wert der Differenz (Diff.) der Kraft der Kniegelenk-Extensoren (KG-EX) des rechten Beines zwischen den Zeitpunkten M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP) und M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).	58
Tabelle 41: p-Wert der Differenz (Diff.) der Kraft der Kniegelenk-Flexoren (KG-FL) des linken Beines zwischen den Zeitpunkten M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP) und M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).....	58
Tabelle 42: p-Wert der Differenzen (Diff.) der Kraft der Kniegelenk-Flexoren (KG-FL) des rechten Beines zwischen den Zeitpunkten M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP) und M3 (24 Monate pos OP), N (Anzahl).	58

Tabelle 43: p-Wert der Differenzen (Diff.) der Kraft der Sprunggelenk-Plantarflexoren (SG-PF) des linken Beines zwischen den Zeitpunkten M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP) und M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).....	59
Tabelle 44: p-Wert der Differenzen (Diff.) der Kraft der Sprunggelenk-Plantarflexoren (SG-PF) des rechten Beines zwischen den Zeitpunkten M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP) und M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).....	59
Tabelle 45: p-Wert der Differenzen (Diff.) der Kraft der Sprunggelenk-Dorsalextensoren (SG-DE) des linken Beines zwischen den Zeitpunkten M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP) und M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).....	60
Tabelle 46: p-Wert der Differenzen (Diff.) der Kraft der Sprunggelenk-Dorsalextensoren (SG-DE) des rechten Beines zwischen den Zeitpunkten M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP) und M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).....	60
Tabelle 47: Mittelwert und Standardabweichung (SD) des BMI (Body Mass Index) der Jungen zu den drei Messzeitpunkten. M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).....	62
Tabelle 48: Mittelwert und Standardabweichung (SD) des BMI (Body Mass Index) der Mädchen zu den drei Messzeitpunkten. M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).....	62
Tabelle 49: Darstellung des Zusammenhangs zwischen der Veränderung um GMFM-G und Z (Gross Motor Function Measure Gesamt und Zielbereich) und den Parametern des Assessments mit Hilfe des Korrelationskoeffizienten (r) und der Testung auf Signifikanz (p-Wert). OP (Operation), PVL (Periventriculäre Leukomalazie), BMI (Body Mass Index), SDS (Standard Deviation Score), MAS (Modifizierte Ashworth Skala), ADD (Adduktoren), Ischio (Ischiokrurale Muskulatur), Gastro (Muskulus Gastrocnemius), MFT (Muskelfunktionstest), HG (Hüftgelenk), EX (Extensoren), ABD (Abduktoren), KG (Kniegelenk), SG (Sprunggelenk), DE (Dorsalextensoren), PF (Plantarflexoren). Teile der Tabelle aus der Arbeit der Gruppe Funk et al. (48).....	64

1 Zusammenfassung/ Abstract

1.1 Deutsch

2-3 Kinder auf 1000 Lebendgeburten sind von einer Infantilen Zerebralparese (ICP) betroffen. Ungefähr 55% der Kinder zeigen das Bild einer spastischen Diparese. Damit ist die ICP die häufigste Behinderung im Kindesalter. Seit 2008 wird auch in Deutschland, die bereits international verbreitete selektive dorsale Rhizotomie (SDR) als Therapieoption aus dem Bereich der Kinderneurochirurgie angeboten. Ziel der Operation ist die Reduktion der Spastizität und Verbesserung der Motorik der Kinder.

Ziel dieser Studie war es den versprochenen Effekt der Operation auf Spastizität und Motorik zu überprüfen. Darüber hinaus sollten mögliche prädiktive Parameter des verwendeten Assessments identifiziert werden, um den Selektionsprozess der Kandidaten und vor allem die Beratung der Patientenelementern über den zu erwartenden Erfolg nach OP zu optimieren.

Um den Erfolg der Operation auf der Ebene Körperstruktur und Funktion zu messen wurde bei den Patienten vor OP und 12 und 24 Monate post OP die Spastizität mit Hilfe der Modifizierten Ashworth Skala, die Kraft durch die Muskelfunktionstestung und das passive Bewegungsausmaß der Gelenke mittels Goniometer gemessen und auf Veränderungen untersucht. Die Bereiche Aktivität und Teilhabe wurden mit dem Gross Motor Function Measure (GMFM-88) gemessen und ebenfalls auf Veränderungen untersucht. Anschließend wurde eine Korrelationsanalyse durchgeführt, um die Zusammenhänge zwischen der motorischen Verbesserung der Kinder und den Parametern der Studie zu untersuchen.

Die Kinder der Berliner Studiengruppe zeigten eine signifikante Senkung der Spastizität über einen Zeitraum von 24 Monaten post OP. Ebenfalls verbesserten sich die Werte im GMFM-88 signifikant und blieben über 24 Monate erhalten. Eine klinisch relevante Verbesserung im GMFM-G (Gesamt) über 6% zeigten dabei vor allem die Kinder mit einem signifikant niedrigeren GMFM-G Ausgangswert als die Kinder, die sich weniger als 6% verbesserten. Der Ausgangswert lag im Mittel bei 68%. In der Korrelationsanalyse ließen sich das Alter der Patienten bei OP, der GMFM-G/Z vor OP,

die Kraft der Dorsalextensoren im Sprunggelenk vor OP und der Nachweis einer Periventrikulären Leukomalazie in der präoperativen Magnetresonanztomographie (MRT) als mögliche prädiktive Parameter identifizieren.

In Zukunft könnten die prädiktiven Parameter besonders in die Formulierung der individuellen Ziele der Patienten und Eltern im Beratungsgespräch zur OP eingeschlossen werden. Die Auswertung der Langzeitergebnisse nach SDR und der Fragebögen zum Thema Veränderung der Lebensqualität der Patienten nach SDR sind darüberhinaus von großem Interesse.

1.2 Englisch

Out of 1000 births 2-3 children suffer from cerebral palsy. 55% of those show a bilateral spastic cerebral palsy. Therefore cerebral palsy is amongst the most common disabilities in childhood. Selective dorsal rhizotomy has been internationally offered as a neurosurgical treatment of spasticity caused by CP. Since 2008 selective dorsal rhizotomy is also performed in Germany. The main goal of SDR is the reduction of spasticity and thereby the progression in motor-function.

This study wants to prove the effect of SDR on spasticity and motor-function and identify possible positive predictors out of the study assessment in order to optimise the selection process of candidates.

In order to show the effect of surgery on bodystructure and function spasticity was measured with the modified Ashworth scale before surgery and 12 and 24 months after surgery. Strength was measured using manual muscle function testing. Range of motion in the joints of the lower limb was measured with a goniometer. To show changes in activity and participation children were tested with the gross motor function measure 88. To investigate the relationship between functional change after SDR and different parameters of the assessment an analysis of correlations was performed.

In this study the significant reduction of spasticity 24 months after SDR could be shown. There was a significant progress in GMFM-G results 24 months after SDR. A relevant change in the GMFM-G score over 6% was reached by children with a significantly lower GMFM-G score before SDR in comparison to children with a change in the GMFM-G score less than 6%. The mean score of these children was 68% before SDR. There were correlations found between the age of patients when undergoing SDR, the

GMFM-G/Z score before SDR, strength in the dorsiflexor of the foot before SDR and the finding of a periventricular leukomalacia in the MRI. Those were identified as possible predictors of a positive outcome after SDR.

In the future positive predictors could be used to optimise the selection of candidates and defining a patients (and his parents) goal when undergoing SDR. The evaluation of longterm outcomes of Berlins study group will be of major interest in this context. Also the upcoming evaluation of the questionnaire concerning patients life quality after SDR will add valuable information.

2 Einleitung

2.1 Definition und Klassifikation der Infantilen Zerebralparese

Die Infantile Zerebralparese (ICP) ist die häufigste Ursache für eine Behinderung im Kindesalter (Krageloh-Mann and Cans, 2009). Insgesamt sind 2-3 von 1000 lebend geborenen Kindern von einer ICP betroffen (Surveillance of Cerebral Palsy in, 2000). Über lange Zeit existierte keine einheitliche internationale Definition für dieses Krankheitsbild. 1998 bildete sich die Arbeitsgruppe Surveillance of Cerebral Palsy in Europe (SCPE) mit dem Ziel, eine gemeinsame Datenbank für Kinder mit ICP zu erstellen. Diese Arbeitsgruppe definiert die ICP wie folgt:

„Cerebral Palsy is a group of disorders. It is an umbrella term; it is permanent but not unchanging; it involves a disorder of movement and/or posture and of motor function; it is due to a non-progressive interference/ lesion/ abnormality; this interference/ lesion/ abnormality is in the developing/ immature brain.“(Surveillance of Cerebral Palsy in, 2000)

2005 wurde dann die internationale Arbeitsgruppe „Executive Committee for the Definition of Cerebral Palsy“ geformt, die ihrerseits die bestehende Definition wie folgt erweiterte:

„Cerebral palsy describes a group of disorders of the development of movement and posture, causing activity limitation, that are attributed to non-progressive disturbances that occurred in the developing fetal or infant brain. The motor disorders of the cerebral palsy are often accompanied by disturbances of sensation, cognition, communication, perception, and/ or behaviour, and/ or by seizure disorder.“(Bax *et al.*, 2005)

Damit ist die Infantile Zerebral Parese keine ätiologische Diagnose, sondern eher ein klinisch beschreibender Symptomkomplex.

Zur weiteren Klassifikation der ICP orientiert sich die SCPE an den vorliegenden neurologischen Symptomen. Es werden drei Hauptformen mit ihren Untergruppen unterschieden (Surveillance of Cerebral Palsy in, 2000).

Spastische Cerebralparesen

- Bilateral spastisch (Diparese, Tetraparese)

- Unilateral spastisch (Hemiparese)

Dyskinetische Cerebralparesen

- Choreo-athetoid
- dyston

Ataktische Cerebralparesen

Innerhalb dieses Klassifikationssystems der SCPE zeigten 85,7% eine spastische ICP, 6,5% der Kinder eine Dyskinesie, 4,3% waren ataktisch und 3,7% ließen sich nicht eindeutig zuordnen. Insgesamt zeigen 54,9% aller Kinder mit ICP und damit der größte Teil aller Fälle eine bilaterale spastische Diparese (Europe, 2002).

2.2 Pathogenese und Ätiologie

Die ICP basiert auf einer frühkindlichen Hirnschädigung unterschiedlicher Ursachen (Niemann *et al.*, 2014). Der Verlauf der Erkrankung hängt von dem Zeitpunkt der Hirnschädigung ab. Dieser kann prinzipiell im Zeitraum zwischen Schwangerschaftsbeginn und Ende der Markreifung im 4. Lebensjahr liegen (Doll, 2006).

Ursachen für frühkindliche Hirnschädigung (Doll, 2006)

Pränatal (ca. 20 % der Fälle):

- Hypoxie
- Intoxikationen durch Medikamente, Alkohol, Kohlenmonoxid
- Stoffwechselstörungen
- Infektionskrankheiten der Mutter (Röteln, Toxoplasmose)
- Plazentainsuffizienz
- Genetische Störungen

Perinatal (ca.60 % der Fälle):

- Risikogeburten (Frühgeborene) mit Sauerstoffmangel
- Geburtstraumatische Schäden (Hirnblutungen)
- Nabelschnurverlegung
- Plazentaablösung

Postnatal (ca. 20 % der Fälle):

- Hirngefäßverschlüsse (Thrombose, Embolien) als Folge von Infektionen
- Blutgruppenunverträglichkeit
- Infektionskrankheiten (z. B. Meningitis)
- Schädel-Hirn-Trauma

Eine genauere Differenzierung der Ursachen wird durch die Magnetresonanztomographie (MRT) ermöglicht (Krageloh-Mann and Horber, 2007; Bax *et al.*, 2006). Die MRT stellt sowohl physiologische als auch pathologische Veränderungen in der Morphologie des sich entwickelnden Gehirns dar. Schädigende Ereignisse während der Entwicklung führen zu sichtbaren Läsionen des Gehirns. Die Art der jeweiligen Läsion hängt von Zeitpunkt, Ort und Ausmaß des destruktiven Ereignisses ab und kann mit bestimmten klinischen Manifestationen korreliert werden (Niemann *et al.*, 2014).

2.3 Pathophysiologie und Symptome der Infantilen Zerebralparese

Der Ort und Zeitpunkt einer Schädigung im zentralen Nervensystem eines Kindes bestimmt die Art und das Verteilungsmuster der Bewegungsstörung.

Die bilaterale spastische Symptomatik ist die typische Form des ehemaligen Frühgeborenen (Krageloh-Mann and Cans, 2009). Als Läsion im kindlichen Gehirn zeigt sich in der Regel ein periventrikulärer Parenchymdefekt, der durch eine Hämorrhagie, einen ischämischen Insult oder Hypoxie mit Zelluntergang entstand (Grunt *et al.*, 2010).

Durch Verletzungen des 1. Motoneurons wird die Aktivität der korticospinalen- und reticulospinalen Bahnen herabgesetzt, was in einer Reduktion der aktiven neuromotorischen Einheiten resultiert (Koman *et al.*, 2004). Diese führt zu einer veränderten motorischen Kontrolle und Muskelschwäche. Es entsteht eine Beeinträchtigung der Feinmotorik und es kommt zum Auftreten von Massenbewegungen. Gleichzeitig wird durch den Verlust von hemmenden Impulsen der reticulospinalen Bahn die Erregbarkeit der gamma- und alpha-Neurone auf spinaler Ebene gesteigert, was zur Spastizität der Muskulatur führt (Johnston, 2009).

2.3.1 Spastik

Spastizität wird nach Lance als „Geschwindigkeitsabhängige Steigerung des muskulären Widerstandes gegen Zug“ verstanden (Naumann, 1998). Die Folge sind spastische Tonuserhöhung, Reflexsteigerung und Kloni (Koman *et al.*, 2004).

Spastizität tritt bevorzugt in Muskeln auf, die der Schwerkraft entgegenwirken und eine hohe tonische Dauerinnervation haben. Sie entsteht unter funktioneller Beanspruchung der Muskeln und ist in der Regel im Stehen und Gehen stärker ausgeprägt als im Liegen (Poeck, 2001). Körperhaltung und Bewegung werden durch die Spastizität bestimmt. In der klinischen Untersuchung zeigen sich häufig muskuläre Dysbalancen und damit einhergehende Asymmetrien, die auf einem gestörten neuromuskulären Zusammenspiel beruhen (Doll, 2006). Der dauerhaft erhöhte Tonus führt zu einer ausgeprägten Dominanz des spastischen Muskels im Zusammenspiel von Agonist und Antagonist, was in einer Verkürzung der betroffenen Muskulatur resultiert (Doll, 2006). Das Ungleichgewicht ist in vielen Fällen so stark, dass der Antagonist nicht mehr funktionell nutzbar ist (Doll, 2006). Im Laufe der Entwicklung eines Kindes kommt es neben den funktionellen Einschränkungen auch zu einem strukturellen Umbau des Bindegewebes in der betroffenen Muskulatur (Döderlein, 2018). Spastizität führt so zu unterschiedlichen muskuloskeletalen Komplikationen, wie Gelenkkontrakturen, Gelenksluxationen, Knochendeformitäten und Schmerzen (Westhoff *et al.*, 2014).

2.3.2 Schwäche

Die quergestreifte Skelettmuskulatur ist ein Gewebe, das auf verschiedene Reize wie z.B. Dehnung, verminderten Gebrauch oder dauerhaften Tonus reagiert und sich daran adaptiert (Döderlein, 2018). Die spastische Muskulatur im Speziellen ist durch eine allgemeine Schwäche gekennzeichnet, die in der reduzierten zentralen Aktivierung der peripheren motorischen Einheiten resultiert (Döderlein, 2018). Die Gruppe Dallmeijer *et al.* (2017) konnte nachweisen, dass die Muskulatur bei Kindern mit spastischer ICP nur ca. 36-82% der Kraft zeigt wie die Muskulatur von Kindern ohne Beeinträchtigung. Die Muskelschwäche ist dabei in der distalen Muskulatur ausgeprägter als in der proximalen, was für die Qualität des Gangprozesses eine besondere Bedeutung hat (van Vulpen *et al.*, 2017).

2.4 Diagnostik

Zerebralparesen werden im Verlauf der kindlichen Entwicklung diagnostiziert (Krageloh-Mann and Cans, 2009). Die Diagnose wird klinisch gestellt und basiert auf Anamnese, neurologischer Symptomatik und Entwicklungsverlauf. Ergänzend wird heute in der ersten Welt üblicherweise eine Bildgebung (Schädelsonographie, Computertomographie und Magnetresonanztomographie) durchgeführt zur Darstellung der relevanten anatomischen Läsionen (Krageloh-Mann and Horber, 2007).

Die Frühdiagnosestellung ist eine ärztliche Herausforderung, da sich das klinische Vollbild erst im Verlauf der kindlichen Entwicklung zeigt (Krageloh-Mann and Cans, 2009). Eine mögliche Methode zur Früherkennung der ICP stammt von Einspieler und Prechtl (2005). Dieses diagnostische Verfahren beruht auf der Analyse der Qualität der Spontanmotorik, der sogenannten General Movements (Einspieler and Prechtl, 2005). Dabei wird das konstante Auftreten spezifischer abnormer Bewegungsmuster, der „cramped synchronised general movements“ als spezifischer Prädiktor einer eventuell späteren Zerebralparese gewertet (Einspieler and Prechtl, 2005). Die Analyse der General Movements ist bis zur 20. Lebenswoche möglich, danach werden diese durch zunehmende Willkürmotorik überlagert (Einspieler and Prechtl, 2005).

Weitere diagnostische Kriterien zur Früherkennung der infantilen Zerebralparese sind (Doll, 2006):

- Verzögerte statomotorische Entwicklung
- Persistenz und Dominanz der tonischen Reaktionen und Primitivreaktionen
- Tonusanomalien
- Asymmetrien, die das physiologische Maß überschreiten
- mangelhafte oder fehlende Gleichgewichtsreaktionen
- Störung der Wahrnehmung (taktil, kinästhetisch, visuell, auditiv)
- Epilepsie

Um die Beurteilung der Neurologie im weiteren Verlauf objektiver und vergleichbarer zu machen, wird die Verwendung funktioneller Scores empfohlen, wie das Gross Motor Function Classification System (GMFCS) zur Klassifikation grobmotorischer Fähigkeiten, den Bimanual Fine Motor Function (BFMF) zur Beschreibung der feinmotorischen Fähigkeiten der oberen Extremität und dem Communication Function Classification

System (CFCS) zur Einschätzung der Kommunikationsfähigkeit (Surveillance of Cerebral Palsy in, 2000).

2.5 Therapiemöglichkeiten

Eine kurative Therapiemöglichkeit der Infantilen Zerebralparese existiert nicht. Symptomatische Therapiemaßnahmen können eine Optimierung der Grundvoraussetzung für die weitere Entwicklung erreichen. Sie erleichtern die Durchführung alltäglicher Aktivitäten und dienen als eine Prävention von Folgeschäden wie Kontrakturen und Fehlstellungen. Das Therapiekonzept wird am besten von einem interdisziplinären Team erarbeitet, das über alle Therapieoptionen verfügt und so einen den individuellen Umständen angepassten Behandlungsplan zusammenstellen kann (Koman *et al.*, 2004). Im Rahmen der Erstellung dieses Angebotes sollten auch die Erwartungen von Patienten und Eltern an die jeweilige Therapiemaßnahme diskutiert und ggf. von den Experten korrigiert werden (Koman *et al.*, 2004). Anschließend sollte möglichst genau das gemeinsame Ziel der Therapie formuliert werden.

In der Behandlung der ICP ergänzen sich konservative, medikamentöse und operative Maßnahmen und werden im Laufe der Zeit häufig kombiniert eingesetzt. Die Auswahl des Verfahrens ist abhängig von der jeweils aktuellen klinischen Situation (Westhoff *et al.*, 2014). Maßgebend für die Indikation einer bestimmten Maßnahme ist die Feststellung des Entwicklungsstandes eines Kindes im Verhältnis zu seinem Alter und der jeweilige Muskelstatus. Hierbei hat sich die Anwendung des GMFCS als zielführend erwiesen (Surveillance of Cerebral Palsy in, 2000). Dieser Score dient der Klassifikation der Sitz- und Gehfähigkeit bei Kindern mit ICP an Hand der alltäglichen Spontanmotorik.

Die Basistherapie in der Altersgruppe 0-2. Lebensjahr besteht zunächst in der Ausschöpfung aller konservativer Mittel, allen voran der Physiotherapie. Ziel ist die Anbahnung und Förderung willkürlicher Bewegung mit positivem Effekt auf die Entwicklung des Muskeltonus und Erhalt der Gelenkbeweglichkeit. Zur Unterstützung dieses Ziels können hier bereits Orthesen und mechanische Assistenzsysteme begleitend zur Anwendung kommen (Doll, 2006). Während dieser Phase zeigt sich das Ausmaß der Symptomatik und die Diagnose einer ICP kann gestellt werden (Krageloh-Mann and Cans, 2009).

Ab dem 3. Lebensjahr, teilweise auch schon früher, können Tonus regulierende Verfahren wie die medikamentöse Therapie mit Botulinumtoxin und Baclofen oder die Durchführung einer selektiven dorsalen Rhizotomie erwogen werden, um die Krankheitsdynamik zu reduzieren.

Wird im weiteren Verlauf ein Übergang von primär dynamischen Bewegungseinschränkungen zu strukturellen Kontrakturen (Muskel- und/ oder Sehnenverkürzungen) festgestellt, kommen orthopädisch-chirurgische Methoden zum Einsatz wie Weichteil- oder Knöchelne Maßnahmen (Doll, 2006; Narayanan, 2012).

Begleitend erhalten die Kinder zu jeder Zeit kommunikationsfördernde und sozial stützende Maßnahmen wie Ergotherapie und Logopädie nach individuellem Bedarf.

2.5.1 Konservative Therapiemethoden

Die konservativen Therapiemöglichkeiten der spastischen Diparese werden in der Regel angeführt von den etablierten Methoden der Physiotherapie. Ziel ist die Förderung der motorischen Entwicklung und der Erhalt der Gelenkbeweglichkeit (Doll, 2006; Westhoff *et al.*, 2014). Im Verlauf werden diese Konzepte ergänzt durch gezieltes Krafttraining zum Beispiel auf der Vibrationsplatte zum Aufbau der tiefen Skelettmuskulatur zur Stabilisierung des Körpers beim Gehen und Stehen (Gusso *et al.*, 2016). Die Aufrichtung im Raum und Fortbewegung wird bei Bedarf unterstützt durch den Einsatz von Orthesen, Stützen oder Walkern. Gezieltes Gangtraining findet mittels der Laufbandtherapie statt. Motorische Entwicklung und die Teilnahme an Aktivitäten des täglichen Lebens werden durch die Benutzung von Hilfsmitteln gefördert und geübt. Mit Hilfe der Logopädie wird darüber hinaus die Kommunikationsmöglichkeit erweitert und Hilfestellung bei Vorgängen wie Essen und Trinken gegeben (Goldstein, 2001).

2.5.2 Pharmakologische Methoden

Die wichtigsten in Deutschland zugelassenen oral spasmolytischen Medikamente sind Baclofen (GABA-B-Agonist), Tizanidin (zentraler Alpha2- Agonist) und Benzodiazepine (GABA-A-Agonist). Diese bewirken auf zentraler Ebene die Abnahme der Erregbarkeit von spinalen Interneuronen und damit von Motoneuronen. Relative Nebenwirkung sind hierbei Sedierung und die Abnahme der allgemeinen Muskelkraft. Oral spasmolytische Medikamente reduzieren zwar die Spastizität auf entsprechenden Skalen (z.B. Ashworth-Scala) bewirken aber nicht eine Zunahme der Alltagsaktivitäten. Systemisch

wirkende Antispastika werden meist bei diffus verteilten spastischen Syndromen eingesetzt, wobei nur leichte Formen zufriedenstellend therapiert werden können. Eine Limitierung stellen die benötigte Dosierung und schlechte Verträglichkeit dar (Vogt, 2018).

Zur lokalen Behandlung umschriebener Tonuserhöhung besteht die Möglichkeit der Injektion von Botulinumtoxin-A-Präparaten in die spastische Muskulatur. Das Medikament bewirkt die Hemmung der neuromuskulären Transmission von Acetylcholin und damit eine chemische Denervierung, die in einer Reduzierung der Muskelaktivität resultiert (Arnon *et al.*, 2001). Der therapeutische Einsatz von Botulinumtoxin-A ist vor allem bei muskulärer Hyperaktivität und dynamischer, also nicht fixierter spastischer Bewegungsstörung sinnvoll (Naumann, 1998). Durch gezielte Injektionen in einzelne spastisch dominante Muskelgruppen (z.B. Hüftgelenks-Adduktoren oder Kniegelenks-Flexoren) lassen sich muskuläre Imbalancen für einen begrenzten Zeitraum vermindern. Die Behandlung mit Botulinum Toxin wirkt ungefähr über einen Zeitraum von vier bis sechs Monaten (Graham *et al.*, 2000). Ein sukzessives Nachlassen der Wirkung bzw. eine Erhöhung der Injektionsfrequenz werden häufig beobachtet.

Eine bestehende Tetraspastik kann nur medikamentös mit Baclofen behandelt werden. Um hohe orale Dosierungen zu vermeiden, die nötig sind, um die Blut-Hirnschranke zu überwinden, wird das Medikament auch intrathekal verwendet. Das Baclofen wird auf Grund seiner kurzen Halbwertszeit kontinuierlich mit Hilfe eines Dauerkatheters von einer Pumpe, die unter der Haut des Patienten bzw. subfaszial implantiert wird, in den Spinalkanal geleitet. Es wirkt dort als spezifischer Agonist der GABA-B-Rezeptoren inhibitorisch auf postsynaptische Potentiale, was zu einer Hemmung der unkontrollierten Reizübertragung der Nerven führt. Abhängig vom Verbrauch muss die Pumpe alle 5-7 Jahre ausgewechselt werden. Alle 3-6 Monate muss die Pumpe neu mit Baclofen gefüllt werden. Intrathekales Baclofen zeigt eine gute Wirkung sowohl auf generalisiert auftretende Spastizität als auch auf dystone Bewegungsstörungen und ist eine reversible Methode (Doll, 2006; Vogt, 2018).

2.5.3 Neurochirurgische Methoden

Neben der Implantation einer intrathekalen Baclofenpumpe stehen weitere operative Techniken zur Verfügung, die als gemeinsames Ziel die Unterbrechung des afferenten Zustroms zum Rückenmark haben. Bei fokal ausgeprägter Spastizität kann die

Durchführung einer peripheren Neurotomie oder Neurektomie erwogen werden, wenn die Therapie mit Botulinumtoxin ausgeschöpft wurde (Sindou *et al.*, 2007; Yong *et al.*, 2018). Spastizität wird bei diesen Verfahren gezielt in einem Muskel mittels Durchtrennung afferenter und efferenter Nervenfasern auf Höhe des peripheren Nervs gesenkt. Bei Spastizität in mehr als einer Muskelgruppe ist die selektive dorsale Rhizotomie als Methode wieder aufgegriffen worden und steht als irreversible Maßnahme mit langfristigem Effekt auf den Muskeltonus zur Verfügung. Wirkung und Operationstechnik werden später genau beschrieben.

2.5.4 Orthopädische Methoden

Ist es im Verlauf zu einem Übergang zu strukturellen Kontrakturen (Muskel- und Sehnenverkürzungen) gekommen, werden orthopädisch-chirurgische Maßnahmen eingesetzt (Doll, 2006). Einen Teil der orthopädisch-chirurgischen Maßnahmen bilden die Weichteileingriffe wie Tenotomie (Sehnenverlängerung), Myotomie (Muskeleinkerbung) und Muskelansatzverlagerung. Ziel ist die Herstellung einer verbesserten Balance zwischen Agonist und Antagonist und damit die langfristige Vermeidung von sekundären Deformierungen der Knochen (Doll, 2006; Westhoff *et al.*, 2014; Koman *et al.*, 2004).

Die selektive perkutane Myofasziotomie mit der Ulzibath-Methode ist in Deutschland zwischen 2005-2010 bekannt geworden und ist ein minimalinvasiver Eingriff. Über kleine Einstichstellen in der Haut werden mit einem stumpfen Skalpell verkürzte Muskelhüllen und-faszien eingeritzt. Es werden dabei Muskeln der gesamten Muskelkette berücksichtigt, bis das gewünschte Bewegungsausmaß in einem Gelenk erreicht wird. Die Operation wird an der Muskulatur des gesamten Körpers innerhalb einer Sitzung durchgeführt. Bei dieser Methode handelt es sich um ein Verfahren, das von den Patienten gut aufgenommen wurde, aber auf Grund von fehlenden Daten zur Effektivität von den wissenschaftlichen orthopädischen Gesellschaften bisher noch nicht anerkannt wurde (Mitsiokapa *et al.*, 2010).

Eine Osteotomie (Knochenumstellung) wird durchgeführt, wenn sich Gelenke und Knochen unter der dauerhaften Einwirkung der Spastizität verformen. Um eine Rezidiventwicklung zu vermeiden, werden diese Eingriffe meist kombiniert mit gleichzeitigen Weichteileingriffen durchgeführt (Doll, 2006). Der geeignete Zeitpunkt für diese Eingriffe ist, wenn sich unter Ausschöpfung aller konservativen Maßnahmen und

Weichteileingriffe radiologisch eine deutliche Verschlechterung der Gelenkverhältnisse beobachten lässt. Ebenfalls werden die Eingriffe prophylaktisch korrigierend oder palliativ eingesetzt. Die knöcherne Korrektur sollte dann so früh wie möglich stattfinden, um die Periode des formativen Reizes während des Wachstums optimal auszunutzen (Doll, 2006; Westhoff *et al.*, 2014).

Sind Gelenke, insbesondere die Füße, endgültig instabil geworden werden sie mittels Arthrodesen versteift.

2.6 Selektive dorsale Rhizotomie

Die Grundlage der Wirkung der selektiven dorsalen Rhizotomie ist in der Pathophysiologie der Spastizität zu finden. Auf Rückenmarksebene wird die efferente Aktivität der Alpha-Motorneurone gesteigert, durch anhaltende afferente Signale aus der Peripherie. Werden diese afferenten Signale nicht durch zentrale absteigende hemmende Neurone des kortikospinalen Traktes kontrolliert, kommt es zu einer ständigen Reflexantwort und damit zur Spastizität der Muskulatur (Johnston, 2009). Bei der selektiven dorsalen Rhizotomie werden durch die operative Durchtrennung des spinalen Reflexbogens die afferenten Signale auf Rückenmarksebene reduziert und damit die efferente Aktivität der Alpha-Motorneurone und folglich die Spastizität gesenkt (Steinbok, 2007; Roberts, 2013).

Eine erste Durchführung und Beschreibung der Methode erfolgten durch Otfried Foerster circa um 1911. Anfangs handelte es sich noch um eine totale dorsale Rhizotomie, wodurch eine schlaffe Lähmung der vorher spastisch gelähmten Muskeln hervorgerufen wurde (Foerster, 1911). Die Gruppe Gros *et al.* modifizierte die Methode 1960 weiter zu einer partialen aber nicht selektiven dorsalen Rhizotomie, wobei 80% der Wurzeln von L1 bis S1 durchtrennt wurden (Steinbok, 2007). Durch die Anwendung der Elektrophysiologie wurden durch die Gruppe Fasano *et al.* (1988) einzelne Muskelgruppen in ihrem Reaktionsmuster auf elektrische Stimulation untersucht, Kriterien zu pathologischen Reaktionsmustern formuliert und entsprechend selektiv afferente Nervenbündel durchtrennt. Der operative Zugang von Fasano war die Freilegung des Conus medullaris auf der Höhe der Wirbelkörper TH12-L2. Durch die Gruppe Peacock und Arens (1982) wurden mittels Laminektomie von der Höhe L2 bis zum Os sacrum die lumbalen und sakralen Nervenwurzeln bei ihrem Austritt durch die Foramina intervertebralia freigelegt .

Da man beobachtete, dass die Entwicklung von Wirbelsäulendeformitäten bei Patienten mit ICP durch die Anwendung eines multisegmentalen Operationsweges gefördert wurde, wurden Versuche unternommen mit deutlich kleinerem Zugangsweg zu operieren (Wheelwright *et al.*, 2019).

Park und Johnston (2006) entwickelten schließlich die monosegmentale Laminektomie auf Höhe des Conus medullaris als schonenderen Zugang. Sowohl der operative Zugangsweg, als auch die Festlegung einheitlicher pathologischer Kriterien der Elektrophysiologie sind weiterhin Gegenstand anhaltender internationaler Diskussion und Forschung.

2.7 Zielsetzung der Arbeit

Mit der Durchführung einer SDR verbindet sich die Hoffnung auf einen anhaltenden funktionellen Zugewinn für die Patienten. Die aktuelle Studienlage zeigt allerdings teilweise widersprüchliche Ergebnisse in Bezug auf ihre Effektivität. In diesem Zusammenhang wird wiederholt auf die Notwendigkeit einer sorgfältigen präoperativen Selektion der Patienten hingewiesen. Die Selektionskriterien für eine SDR werden allerdings bisher uneinheitlich angewendet (Grunt *et al.*, 2014). Verschiedene internationale Arbeitsgruppen haben den Versuch unternommen mögliche prädiktive Faktoren für den Erfolg oder Misserfolg der SDR zu benennen (Chicoine *et al.*, 1996; Kim *et al.*, 2006; Engsberg *et al.*, 2007). Ziel dieser Arbeit ist es die Wirkung der Operation auf die erste in Berlin operierte Patientengruppe zu beschreiben und aus den erhobenen Parametern des Assessments mögliche positive Prädiktoren für die größtmöglichen Erfolgchancen zu identifizieren. Mit Hilfe dieser Prädiktoren wird es in Zukunft möglich sein die Selektionskriterien zu präzisieren. Diese werden helfen die Formulierung der individuell realistischen Ziele der Patienten und Eltern zu konkretisieren und damit den Eltern im Entscheidungsprozess klärend zur Seite zu stehen.

3 Methoden

3.1 Studiendesign

Um den mittelfristigen Effekt der an der Charité-Universitätsmedizin Berlin durchgeführten selektiven dorsalen Rhizotomie zu ermitteln, wurde mit Implementierung der OP ein Standarduntersuchungsprotokoll erstellt und die erhobenen Daten retrospektiv ausgewertet. Als Zeitraum der Follow-up-Untersuchungen wurden dafür 12 und 24 Monate nach Operation festgelegt. Die Vor- und Nachuntersuchungen wurden jeweils von einem multidisziplinären Team durchgeführt, das sich aus Neuropädiatern, Kinderorthopäden und Physiotherapeuten zusammensetzte. Die Messdaten der Patienten wurden sowohl in einer Patientenakte als auch verschlüsselt elektronisch in einer Tabelle dokumentiert. Diese Tabelle war die Grundlage der statistischen Auswertung. Die Studie wurde im Sozialpädiatrischen Zentrum für Neuropädiatrie der Charité durchgeführt und von der Ethikkommission genehmigt.

3.2 Auswahl der SDR-geeigneten Patienten

Alle Eltern der Patienten willigten nach umfassender Aufklärung vor Therapiebeginn schriftlich ein, dass ihre Daten in anonymisierter Form für die Lehre und Forschung an der Charité verwandt werden durften.

Als Einschlusskriterien für die Durchführung der SDR bei Kindern mit einer beinbetonten bilateralen spastischen Zerebralparese wurden definiert:

- 1) eine gute Gehfähigkeit (GMFCS I-III)
- 2) eine in der manuellen Untersuchung spürbare Spastik in mehreren Etagen der unteren Extremität
- 3) Motivation des Kindes auf fremdbestimmte Bewegungsangebote einzugehen

Als Ausschlusskriterien wurde definiert:

- 1) ausgeprägte Muskelschwäche (ein selbstständiger Transfer aus dem Liegen in den Stand ist nicht möglich)
- 2) eine unilaterale spastische ICP
- 3) keine Möglichkeit für postoperative Physiotherapie
- 4) Symptome einer Dystonie, Ataxie oder Athetose (Störungen des extrapyramidalen Systems)

- 5) eine Skoliose mit einem Cobb-Winkel $>30^\circ$
- 6) Kontrakturen der unteren Extremität $>20^\circ$

Die Ein- und Ausschlusskriterien wurden jeweils bei Erstvorstellung des Patienten im Sozialpädiatrischen Zentrums durch das interdisziplinäre Team überprüft.

3.3 Operationstechnik

Die an der Charité durchgeführte Operationsmethode orientiert sich an dem durch Peacock entwickelten Ansatz der selektiven dorsalen Rhizotomie (Langerak *et al.*, 2009). Durch Prof. Haberl wurde die Operationstechnik von T.S. Park aus dem St. Louis Children's Hospital weiterentwickelt (Engsberg *et al.*, 2006; Funk and Haberl, 2016).

In Allgemeinanästhesie des Patienten wird mittels intraoperativer MRT Bildgebung die Höhe des Conus medullaris bestimmt. Anschließend werden Nadelelektroden in die Kennmuskeln von L2-S2 jeweils an beiden Beinen platziert, um darüber die Elektromyographie (EMG) während der Operation ableiten zu können. Es wird eine intralaminäre monosegmentale Laminektomie auf Höhe des Conus medullaris durchgeführt. Das Nervenwurzelpaar unterhalb der Laminektomie kann durch seinen Abgang durch das Foramen intervertebrale identifiziert und die Vorderwurzel von der Hinterwurzel getrennt werden. Als nächstes wird jede einzelne Hinterwurzel auf Höhe der Cauda equina aufgesucht und mit Hilfe der EMG die jeweilige abgeleitete Muskelgruppe benannt. Zunächst wird das Innervationsmuster jeder Wurzel mittels EMG Untersuchung geprüft. Jede Wurzel wird daraufhin in vier bis sieben gleich große Bündel aufgeteilt. Die Bündel werden über spezielle Rhizotomie-Sonden aufgehängt, um sie von den anderen Nervenfasern zu trennen. Anschließend wird jedes Bündel elektronisch stimuliert und die Reflexantwort entsprechend der Kriterien der Arbeitsgruppe Fasano *et al.* ausgewertet (Park and Johnston, 2006). Entsprechend des Reaktionsmusters, welches in verschiedene Grade klassifiziert wird siehe Tabelle 1, werden nun die Bündel mit dem pathologischen Reaktionsmuster (3+ und 4+) ausgewählt und durchtrennt. Dieses Verfahren wird nun an den Nervenwurzeln von L2-S2 wiederholt. Bei den Wurzeln S1, S2 und S3 wird zusätzlich die Pudendusaktivität gemessen. Die Anzahl der Bündel, die durch dieses Verfahren durchtrennt werden, variiert entsprechend der Reflexantwort in der EMG. Es werden mindestens 50% und höchstens 70% der Bündel pro Nervenwurzel durchtrennt.

Tabelle 1: Einteilung der Reflexantwort der intraoperativen Elektromyographie Messung. Tabelle nach Turner (2009).

0	Nicht anhaltende oder einmalige Entladung auf eine Folge von Stimulationen
1+	Anhaltende Entladung von Muskeln, die durch das ipsilateral stimulierte Segment innerviert sind
2+	Anhaltende Entladung von Muskeln, die durch das stimulierte und direkt benachbarte Segment innerviert sind
3+	Anhaltende Entladung von Muskeln, die durch das stimulierte Segment und weiter entfernte Segmente innerviert sind
4+	Anhaltende Entladung der kontralateralen Muskeln mit oder ohne Entladung der ipsilateralen Muskeln

Unmittelbar postoperativ gilt für die Kinder eine dreitägige Bettruhe mit speziell angepassten Nachtschienen, die die Sprunggelenke in 90°-Stellung bei gleichzeitiger Kniestreckung fixieren. Die Patienten werden zunächst durch einen Physiotherapeuten passiv durchbewegt. An die Operation schließt sich ein sechswöchiges intensives Rehabilitationsprogramm in einer Klinik an. Zu Beginn liegt der Schwerpunkt auf Kräftigung und Dehnung der Muskulatur der unteren Extremität und Förderung der Haltung und Stabilität des Oberkörpers. Anschließend liegt die Konzentration auf der Aufrichtung im Stand und im Gehen. Die Kinder erhalten ein funktionelles Training für die Neustrukturierung der Bewegungsabläufe an die veränderte Statik und Mobilität. Es werden Alltagsaktivitäten wie eigenständige Körperpflege neu geübt. Im Anschluss an die Rehabilitation erhalten die Patienten weiter intensive Physiotherapie durch ihre gewohnten Therapeuten mit dem besonderen Fokus auf die Gangschulung. Der Wiederaufbau der Motorik erfolgt insgesamt langsam, um zu vermeiden, dass sich alte Bewegungsmuster erneut einschleichen.

3.4 Messinstrumente

Mit der Zusammenstellung des Studienassessments wurde die Absicht verfolgt, möglichst viele Komponenten des bio-psycho-sozialen Modells „International Classification of Functioning, Disability and Health“ (ICF, siehe Abbildung 1), wie von der World Health Organisation empfohlen, abzufragen. Das Ziel war es, einen möglichst umfassenden Blick auf den Effekt der SDR und die daraus resultierenden Konsequenzen für die Patienten auf unterschiedlichen Ebenen darzustellen.

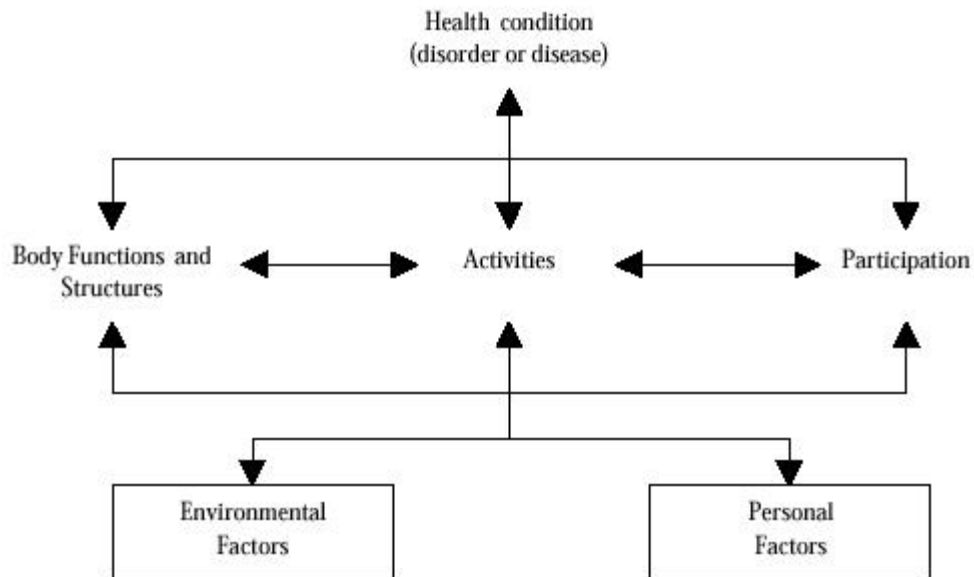


Abbildung 1: International Classification of Functioning, Disability and Health.

Um die Ebene der personenbezogenen Faktoren und Umweltfaktoren zu erfassen, wurde eine ausführliche Anamnese mit dem Patienten und seinen Eltern erhoben. Der Fokus im Gespräch wurde dabei besonders auf die Möglichkeit der postoperativen Physiotherapie gelegt und auch die Motivation des Patienten zu körperlicher Aktivität in seiner Freizeit erfragt.

3.4.1 Gross Motor Function Measure

Der Gross Motor Function Measure (GMFM) ist ein Messinstrument, das von Russel et al. (1993) entwickelt wurde, um bei Kindern mit infantiler Zerebralparese Veränderungen der grobmotorischen Fähigkeiten im Laufe der Zeit oder durch eine Therapie zu untersuchen. Der Test wurde 1989 eingeführt und wird seit dem vielfältig international angewendet, da er das einzige Messinstrument für die Entwicklung der Grobmotorik ist, das standardisiert und validiert ist und sich deshalb gut für die Vergleichbarkeit von Studienergebnissen eignet (Russel, 1993). Der GMFM enthält 88 oder 66 Testaufgaben (je nach Version), die sich auf fünf Dimensionen verteilen, die wie folgt definiert werden.

- (1) Liegen und Rollen
- (2) Sitzen
- (3) Krabbeln und Knien

(4) Stehen

(5) Gehen, Rennen, Springen

Die Bewertung der Testaufgaben erfolgt mit einer 4-Punkte-Skala:

0= initiiert nicht

1= initiiert

2= vervollständigt teilweise

3= vervollständigt die gestellte Aufgabe

Für jede Dimension wird ein prozentuales Ergebnis berechnet. Diese Ergebnisse werden addiert und durch die Anzahl der Dimensionen geteilt, um die Gesamtwertung zu erhalten. Der GMFM wurde in unserer Studie von speziell geschulten Physiotherapeutinnen durchgeführt und videogestützt ausgewertet.

3.4.2 Gross Motor Function Classification System

Für die grobe Beschreibung des Schweregrades der motorischen Störung eines Patienten wurde das von Russel et al. (1993) entworfene Gross Motor Function Classification System (GMFCS) verwendet. Es beurteilt die Sitzfähigkeit (Rumpfkontrolle) und Gehfähigkeit der Patienten mit einer Ordinalskala von 1-5 (siehe Tabelle 2). Die Überschrift für jede Stufe gibt das Ausmaß der Mobilität an, welche das Kind voraussichtlich im Alter von 6 bis 12 Jahren erreicht haben wird.

Tabelle 2: Stufeneinteilung des Gross Motor Function Classification System. Voraussichtliches Ausmaß der Mobilität im Alter von 6-12 Jahren.

Stufe 1	Freies Gehen ohne Einschränkungen, Einschränkungen der höheren motorischen Fähigkeiten
Stufe 2	Freies Gehen ohne Gehhilfen, Einschränkungen beim Gehen außerhalb der Wohnung und auf der Straße
Stufe 3	Gehen mit Gehhilfen, Einschränkungen beim Gehen außerhalb der Wohnung und auf der Straße
Stufe 4	Selbstständige Fortbewegung ist eingeschränkt, Kind wird geschoben oder benutzt einen Elektrorollstuhl auf der Straße
Stufe 5	Selbstständige Fortbewegung ist selbst mit elektrischen Hilfsmitteln stark eingeschränkt

Für jede Stufe wird weiterhin definiert, welche Teilaspekte davon ein Kind einer bestimmten Altersgruppe erreichen kann. Es werden vier Altersgruppen unterschieden

1) vor dem zweiten Lebensjahr, 2) vom 2-4 Lebensjahr, 3) vom 4-6 Lebensjahr und vom 6-12 Lebensjahr.

Bei der Beurteilung eines Kindes ist festzustellen, welche Stufe am besten die derzeitigen motorischen Fähigkeiten und Einschränkungen wiedergibt. Es sollte nach den üblichen und nicht nach den bestmöglichen Fähigkeiten gesucht werden.

3.4.3 Messung der passive Gelenkbeweglichkeit

Die passive Gelenkbeweglichkeit (ROM) wurde durch die Neutral-Null-Methode ermittelt. Der Test wurde von Ärzten und Physiotherapeuten mit Hilfe eines Goniometers anhand von standardisiert festgelegten anatomischen Punkten durchgeführt und in Winkelgraden auf 5° genau angegeben. Untersucht wurde das Bewegungsausmaß der unteren Extremität. Es wurden alle Freiheitsgrade des Hüftgelenks, die Extension und Flexion des Kniegelenks und die Extension und Flexion des Sprunggelenks bei gebeugtem und bei gestrecktem Kniegelenk gemessen. Der Schwerpunkt der Auswertung lag im Hüftgelenk vor allem auf den Bewegungsrichtungen Extension, Abduktion und Außenrotation, da diese in der Regel bedingt durch die Spastizität eingeschränkt sind und eine Veränderung durch die Operation zu erwarten war. Im Kniegelenk lag der Schwerpunkt der Auswertung auf der Extension. Im oberen Sprunggelenk lag der Schwerpunkt ebenfalls auf der Untersuchung der Dorsalextension bei gebeugtem und gestrecktem Kniegelenk aus dem oben genannten Grund.

3.4.4 Kraftmessung

Eingangs wurde die Maximalkraft eines Muskels gemessen mittels manueller isometrischer Testung bei $2/3$ Annäherung der Gelenkarme. Sie gibt eine grobe Orientierung über das willkürlich aktivierbare Kraftpotential eines Patienten. Für die detaillierte Ermittlung der Kraft wurde der manuelle Muskelfunktionstest (MFT) nach Daniels und Worthingham verwendet (Hislop, 1946). Der MFT erfasst die Fähigkeit eines Muskels sich zu kontrahieren, bis hin zur maximalen Kraft gegen Widerstand. Er soll das Vorliegen, die Verteilung und den Schweregrad von Lähmungen nach peripheren und zentralen Nervenverletzungen aufdecken. Bewertet wird die Kraft mit Hilfe einer Ordinalskala von 0-5, wobei der Zusatz von + und – eine weitere Differenzierung der Kraftgrade ermöglicht (siehe Tabelle 3). Wenn während des Tests weniger als 50% des Bewegungsausmaßes zurückgelegt wird, so wird die geringere

Stufe mit einem Plus dazu aufgeschrieben. Wenn mehr als 50% des Bewegungsausmaßes zurückgelegt wird, dann wird die höhere Stufe mit einem Minus vergeben (Daniels, 1985).

Tabelle 3: Einteilung der Kraftgrade des Muskelfunktionstest.

0	Keine Kontraktion sicht-oder fühlbar
1	Sicht-oder fühlbare Kontraktion
2	Bewegung bei Ausschaltung der Schwerkraft möglich
3	Bewegung gegen die Schwerkraft möglich
4	Bewegung gegen Schwerkraft und Widerstand möglich
5	Normale Muskelkraft

3.4.5 Modifizierte Ashworth-Skala

Mit Hilfe der modifizierten Ashworth Skala (MAS) nach Bohannon und Smith (1987) wird der geschwindigkeitsabhängige Widerstand einer Muskelgruppe nach dreimaliger passiver Dehnung gemessen. Der Grad der Spastizität wird dabei mit einer Sechspunkte Ordinalskala beurteilt (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Abstufungen der modifizierten Ashworth Skala zur Bewertung der Spastizität.

0	Normale Beweglichkeit ohne Widerstand
1	Leichten Widerstand am Anfang oder Ende einer Bewegungsrichtung
1+	Leichten Widerstand über weniger als 50% des Bewegungsausmaßes
2	Deutlicher Widerstand über mehr als 50% des Bewegungsausmaßes
3	Starken Widerstand, volles Bewegungsausmaß nur erschwert zu erreichen
4	Eingeschränktes Bewegungsausmaß

3.4.6 Body-Mass-Index

Der Body-Mass-Index (BMI) beschreibt das Verhältnis von Körpergröße zu Körpergewicht. Für die Ermittlung des BMI der Patienten wurden zu allen drei Messzeitpunkten das Gewicht und die Größe gemessen. Anschließend wurde mit Hilfe der Formel $BMI = m/l^2$ der BMI errechnet. Bei Kindern verändert sich die Körperzusammensetzung im Laufe ihres Wachstums, daher fließen bei der Interpretation der Werte das Alter und Geschlecht in die Beurteilung mit ein. Die Beurteilung des BMI bei Kindern und Jugendlichen erfolgt in der Regel an Hand von alters- und geschlechtsabhängigen Perzentilen. Mit Hilfe des Standard-Deviation-Score (SDS) kann bestimmt werden, um ein Wievielfaches einer Standardabweichung ein individueller BMI-Wert bei angegebenem Alter und Geschlecht vom BMI Median seiner Referenzgruppe abweicht. Mit Hilfe des SDS lassen sich Veränderungen durch eine

Intervention deutlicher darstellen, als durch den BMI alleine (Kromeyer-Hauschild, 2018).

3.5 Statistische Analyse

Die deskriptive und statistische Analyse wurde mit dem Programm IBM SPSS 20 durchgeführt.

Die intervallskalierten Daten, wie GMFM-Werte, BMI und Winkelgrade der Gelenkmessungen zeigten eine Normalverteilung im Kolmogorov-Smirnov-Test und wurden mit dem t-Test für gepaarte Stichproben analysiert. Damit das kumulierte Alpha bei wiederholten Messungen bei 5% liegt, wurde eine Bonferroni-Korrektur durchgeführt. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, das Signifikanzniveau auf $p=0,0167$ festzulegen.

Für die ordinalskalierten Daten, wie die Werte der modifizierten Ashworth-Skala und der Kraftmessungen, wurde der Vorzeichen-Test für gepaarte Stichproben verwendet. Mit diesem Test wird überprüft, ob die zentrale Tendenz von zwei abhängigen Stichproben signifikant unterschiedlich ist. Dieser Test kann für ordinalskalierte Variablen angewendet werden, die nicht normalverteilt sein müssen. Die Paardifferenzen für die Berechnungen der Teststatistik ergeben sich aus dem Vergleich der Messdaten zu den Zeitpunkten 1) vor OP und 12 Monate nach OP, 2) vor OP und 24 Monate nach OP und 3) 12 Monate nach OP und 24 Monate nach OP. Im Anschluss wird der beobachtete Unterschied auf seine Signifikanz untersucht. Das Signifikanz-Niveau liegt durch die Alpha-Korrektur auch bei diesem Test bei $p= 0,0167$.

Für die statistische Berechnung der Messwerte der modifizierten Ashworth-Skala wurde für die Stufe 1+ der Wert 1,5 gleichgesetzt. Für die Messwerte der Kraftmessung wurde für das + Zeichen 0,3 zu einer Stufe addiert und für das –Zeichen 0,3 von einer Stufe subtrahiert, um eine Skala für die Berechnung zu erhalten.

Der t-Test für ungepaarte Stichproben wurde verwendet, um die Kinder der GMFCS-Level I, II und III miteinander auf unterschiedliche Veränderungen im GMFM-G zu vergleichen.

Um den Zusammenhang zwischen der Verbesserung im GMFM-G und Z mit den einzelnen Parametern des Assessments zu untersuchen, wurde der

Korrelationskoeffizient Kendalls Tau errechnet. Dieser ist ein Maß für den Zusammenhang zwischen den Beobachtungen zweier mindestens ordinalskaliertes Merkmale. Die Daten müssen keinen linearen Zusammenhang zeigen. Tau kann Werte zwischen -1 und +1 annehmen. Das Vorzeichen des Korrelationskoeffizienten beschreibt jeweils die Richtung des Zusammenhangs. Dabei bedeutet das negative Vorzeichen, dass hohe Werte der einen Variable gleichzeitig auftreten mit niedrigen Werten der anderen Variablen, es besteht eine negative Korrelation. Der Betrag des Koeffizienten beschreibt die Stärke des Zusammenhangs. Ein Wert nahe 0 zeigt eine schwache Korrelation zweier Variablen an.

Anschließend wurde der jeweilige Korrelationskoeffizient auf Signifikanz getestet. Das Signifikanzniveau wurde hierfür bei $p < 0,05$ festgelegt.

Um die Kinder mit einer Differenz im GMFM über 6% post OP zu vergleichen mit den Kindern mit einer Differenz unter 6% wurde ein Mann-Whitney-U-Test für unabhängige Stichproben durchgeführt. Für die graphische Darstellung des Ergebnisses wurde ein Boxplot Diagramm erstellt.

4 Ergebnisse

4.1 Patienten

Im Zeitraum von Februar 2008 bis März 2011 wurde bei insgesamt 74 Kindern (44 Jungen und 30 Mädchen) eine selektive dorsale Rhizotomie durchgeführt. Von acht Kindern war die Patientenakte nicht auffindbar. Von den 66 Kindern, deren Unterlagen vorhanden waren, hatten 65 Kinder eine Angabe zu ihrer GMFCS-Stufe vor Operation. Davon waren 16 Kinder Stufe 1, 30 Kinder Stufe 2, 17 Kinder Stufe 3 und 2 Kinder Stufe 4.

12 Kinder erschienen insgesamt nicht zu den angesetzten Nachuntersuchungen nach 12 Monaten und 24 Monaten. Die Gründe dafür werden in der Diskussion erläutert. Von diesen 12 Kindern waren vor der Operation ein Kind GMFCS-Stufe 1, sieben Kinder GMFCS-Stufe 2, drei Kinder GMFCS-Stufe 3 und bei einem Kind waren keine Angaben über die GMFCS-Stufe in den Unterlagen zu finden. Die Daten der verbleibenden 54 Kinder bildeten die Grundlage der statistischen Berechnungen. Bei den statistischen Berechnungen wurde für jede einzelne Messung die Anzahl der Kinder mit vollständiger Messreihe ermittelt. Anschließend wurde an Hand dieser Anzahl die statistischen Testungen vorgenommen.

Das Alter der 54 Kinder lag im Mittel bei 6,9 Jahren (Standardabweichung $\pm 2,9$ Jahre) mit dem Median bei 6 Jahren. Das Minimum lag bei 3 Jahren und das Maximum bei 17 Jahren. 39 Kinder lagen im Alter zwischen 4-8 Jahren (12 x 4 Jahre, 6 x 5 Jahre, 10 x 6 Jahre, 6 x 7 Jahre und 5 x 8 Jahre).

Von den ursprünglichen 74 Kindern waren 49 Frühgeborene und 11 Termingeborene. Bei den fehlenden 14 Kindern konnten keine näheren Angaben darüber gefunden werden.

4.2 Modifizierte Ashworth-Skala

Die Entwicklung der Spastizität wurde zu den drei Zeitpunkten M1 (vor der OP), M2 (nach 12 Monaten) und M3 (nach 24 Monaten) in den Hüftgelenk-Adduktoren, in der ischiokruralen Muskulatur und in den Sprunggelenk-Plantarflexoren im rechten und linken Bein getrennt gemessen.

Für jedes Kind wurde jeweils die Differenz zwischen den Werten von M1 und M2, M1 und M3 und M2 und M3 ermittelt. Eine negative Differenz bedeutete eine Verringerung, eine positive Differenz eine Erhöhung der Spastizität. Diese Differenzen wurden mit Hilfe des Vorzeichentests für gepaarte Stichproben auf Veränderungen über die Messzeitpunkte hinweg geprüft.

Für 38 der 54 Kinder lagen Messwerte für alle drei Zeitpunkte der Messung der Spastizität in der Adduktorengruppe des rechten und des linken Beines vor. Für 37 der 54 Kinder lagen Messwerte für alle drei Zeitpunkte in der ischiokruralen Muskulatur des rechten und des linken Beines vor. Für 16 der 54 Kinder lagen Messwerte für alle drei Zeitpunkte im M. Gastrocnemius des rechten und des linken Beines vor. Die Tabellen 5-7 zeigen den Median und die jeweiligen p-Werte für die Differenzen der Messwerte zu den Zeitpunkten M1, M2 und M3 an. Für die Adduktoren und die ischiokrurale Muskulatur war die Differenz der Messwerte zwischen M1 und M2 sowie für M1 und M3 signifikant für beide Beine. Das heißt, der Effekt der Operation setzte innerhalb der ersten 12 Monate nach der Operation ein und hielt über 24 Monate an.

Da aus technischen Gründen erst im Verlauf auch die Nervenwurzel S1 und S2 operiert wurde, wurde auch die Messung der Spastizität im M. Gastrocnemius erst zu einem späteren Zeitpunkt in das Assessment integriert. Daher existierten unterschiedlich viele Messdaten zu den drei Zeitpunkten. Vor der OP (M1) betrug der Median von 16 Kindern für das rechte und für das linke Bein 2,0. Nach 12 Monaten (M2) wurde diese Untersuchung bereits bei 31 Kindern durchgeführt und der Median für beide Beine lag bei 1,0. Nach 24 Monaten (M3) lag der Median von 37 Kindern des rechten und des linken Beines bei 0,0.

Die Differenz der Messwerte zwischen den Zeitpunkten M1 und M2 sowie M1 und M3 war für beide Beine nicht signifikant. Das heißt, der Effekt der Operation ließ sich für diese Muskelgruppe auf Grund der geringen Fallzahl nicht darstellen.

Tabelle 5: Median der Messung der Spastizität mittels MAS (modifizierte Ashworth-Skala) zu den Zeitpunkten M1 (prae OP) und M2 (12 Monate post OP), p-Wert der Differenz.

	Median M1		Median M2		Signifikanz	
	re	li	re	li	re	li
MAS Ischiokrurale	2,0	2,0	1,0	1,0	0,000	0,000
MAS Adduktoren	1,5	1,5	0,0	0,5	0,000	0,000
MAS Gastrocnemius	2,0	2,0	1,0	1,0	0,057	0,227

Tabelle 6: Median der Messung der Spastizität mittels MAS (modifizierte Ashworth-Skala) zu den Zeitpunkten M1 (prae OP) und M3 (24 Monate post OP), p-Wert der Differenz.

	Median M1		Median M3		Signifikanz	
	re	li	re	li	re	li
MAS Ischiokrurale	2,0	2,0	1,0	1,0	0,000	0,000
MAS Adduktoren	1,5	1,5	0,0	0,0	0,001	0,000
MAS Gastrocnemius	2,0	2,0	0,0	0,0	0,035	0,267

Tabelle 7: Median der Messung der Spastizität mittels MAS (modifizierte Ashworth-Skala) zu den Zeitpunkten M2 (12 Monate post OP) und M3 (24 Monate post OP), p-Wert der Differenz.

	Median M2		Median M3		Signifikanz	
	re	li	re	li	re	li
MAS Ischiokrurale	1,0	1,0	1,0	1,0	0,307	0,664
MAS Adduktoren	0,0	0,5	0,0	0,0	0,815	0,332
MAS Gastrocnemius	1,0	1,0	0,0	0,0	1,000	1,000

In die graphische Darstellung (siehe Abbildung 2) wurden alle vorhandenen Messwerte integriert und für die bessere Übersicht das rechte und linke Bein zu einem repräsentativen Wert für die jeweilige Muskelgruppe zusammengezogen. Aus der Graphik lässt sich ablesen, dass die Spastizität in unserer Patientengruppe am schwersten im M. Gastrocnemius ausgeprägt war und am wenigsten in den Adduktoren. Präoperativ lag die Spastizität vom Schweregrad im mittleren Bereich. Rein graphisch zeigte der M. Gastrocnemius die größte Veränderung, was sich auf Grund der schwankenden Fallzahlen rechnerisch leider nicht belegen lässt.

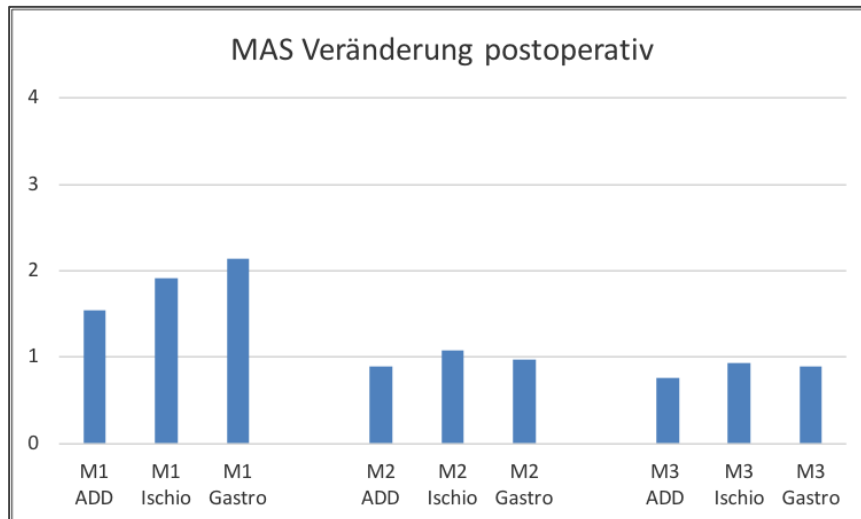


Abbildung 2: Veränderung der Spastizität gemessen mittels MAS (modifizierte Ashworth-Skala) über die drei Zeitpunkte M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP) und M3 (24 Monate post OP) in den Adduktoren (ADD), der Ischiokruralen Muskulatur (Ischio) und dem M. Gastrocnemius (Gastro).

4.3 Gross Motor Function Measure

Die Entwicklung der motorischen Fähigkeiten wurde zu den drei Zeitpunkten M1 (vor der OP), M2 (nach 12 Monaten) und M3 (nach 24 Monaten) mit dem GMFM gemessen.

Für jedes Kind wurde jeweils die Differenz zwischen den Werten von M1 und M2, M1 und M3 und M2 und M3 ermittelt. Eine positive Differenz bedeutete eine Zunahme der motorischen Fähigkeiten nach der Operation. Die Differenzen wurden mit Hilfe des t-Tests für gepaarte Stichproben auf Veränderungen über die Messzeitpunkte hinweg geprüft. Die Berechnungen wurden für den GMFM-Gesamt (GMFM-G) und den GMFM-Zielbereich (GMFM-Z) Gehen, Rennen und Springen getrennt durchgeführt.

Die Tabelle 8 zeigt den Mittelwert mit der Standardabweichung des GMFM-G für alle Kinder, die zum jeweiligen Messzeitpunkt gemessen wurden. Die Tabelle 9 zeigt dies für den GMFM-Z. Die Messzeitpunktdifferenzen wurden für den GMFM-G und GMFM-Z nur für die Kinder berechnet, die alle drei Messungen vollständig absolviert hatten.

Tabelle 10 und 11 zeigt die Signifikanz der Differenzen mit dem p-Wert an.

Insgesamt lagen für 35 Kinder vollständige Messwerte für alle drei Zeitpunkte vor. Die Differenz zwischen M1 und M2, M1 und M3 und M2 und M3 war sowohl für den GMFM-Gesamt als auch für die Zielbereiche signifikant. Das heißt, eine Verbesserung der motorischen Fähigkeiten fand über 24 Monate hinweg statt.

Tabelle 8: Mittelwert und Standardabweichung (SD) des GMFM-G zu den drei Messzeitpunkten M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP). GMFM-G (Gross Motor Funktion Measure Gesamt), N (Anzahl).

GMFM-G	N	Mittelwert	SD
M1	60	78,63	16,96
M2	52	84,03	14,39
M3	42	85,30	15,67

Tabelle 9: Mittelwert und Standardabweichung (SD) des GMFM-Z zu den drei Messzeitpunkten M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP). GMFM-Z (Gross Motor Function Measure Zielbereich), N (Anzahl).

GMFM-Z	N	Mittelwert	SD
M1	60	60,02	27,72
M2	52	69,31	25,38
M3	42	74,24	21,74

Tabelle 10: Signifikanzen der Messzeitpunktdifferenzen des GMFM-G zwischen den drei Zeitpunkten M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP). GMFM-G (Gross Motor Funktion Measure Gesamt), N (Anzahl).

	N	Mittelwert	SD	Signifikanz
Diff. 1) GMFM-G M1-M2	35	4,63	6,39	0,000
Diff. 2) GMFM-G M1-M3	35	6,61	6,56	0,000
Diff. 3) GMFM-G M2-M3	35	2,26	4,03	0,002

Tabelle 11: Signifikanzen der Messzeitpunktdifferenzen des GMFM-Z zwischen den drei Zeitpunkten M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP). GMFM-Z (Gross Motor Function Measure Zielbereich), N (Anzahl).

	N	Mittelwert	SD	Signifikanz
Diff. 1) GMFM-Z M1-M2	35	9,30	9,67	0,000
Diff. 2) GMFM-Z M1-M3	35	14,16	14,93	0,000
Diff. 3) GMFM-Z M2-M3	35	4,86	9,89	0,006

In der graphischen Darstellung siehe Abbildung 3 und 4 lässt sich ablesen, dass die Patientengruppe insgesamt bereits präoperativ motorisch eher gut abschnitt und die postoperativen Veränderungen daher nicht so prägnant ausfielen. Die motorische Beeinträchtigung ließ sich im Zielbereich Gehen, Rennen und Springen besser darstellen, so dass auch der postoperative Erfolg hier deutlicher erkennbar wurde.

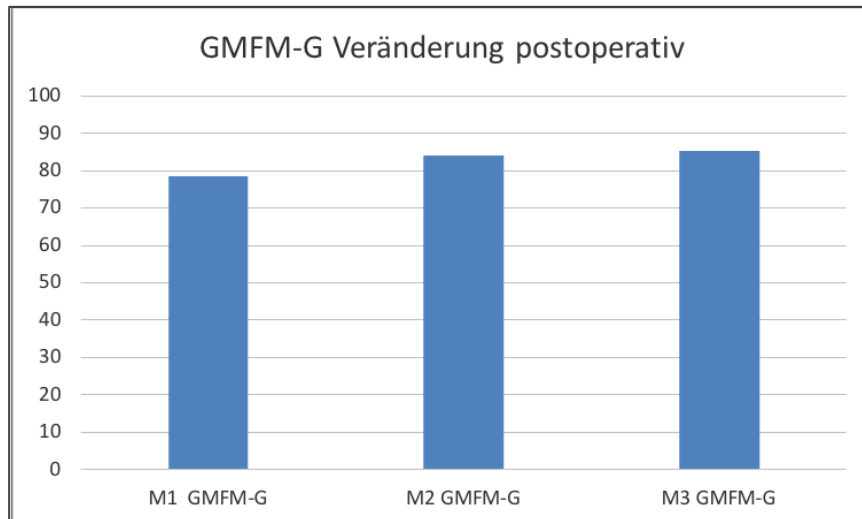


Abbildung 3: Veränderung des GMFM-G (Gross Motor Function Measure Gesamt) von präoperativ (M1) und postoperativ nach 12 Monaten (M2) und 24 Monaten (M3).

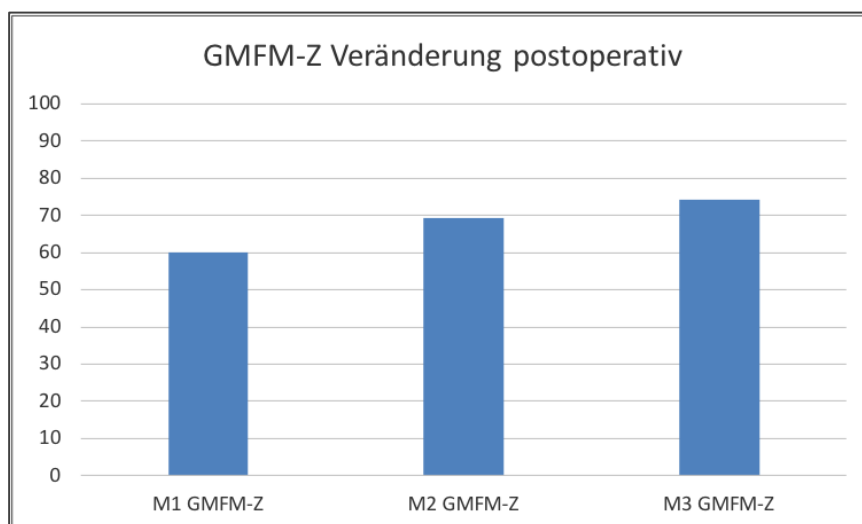


Abbildung 4: Veränderung des GMFM-Z (Gross Motor Function Measure Zielbereich) von präoperativ (M1) und postoperativ nach 12 Monaten (M2) und 24 Monaten (M3).

Aus den Abbildungen 5 und 6 lässt sich ablesen, wie viele Patienten mit ihrer Verbesserung im GMFM-G und Z über den als klinisch relevant geltenden 6% lagen. Nur 49% der Patienten zeigten eine klinisch relevante Verbesserung im GMFM-G. Eine Verbesserung über 6% im Zielbereich erreichten mit 78% deutlich mehr Patienten.

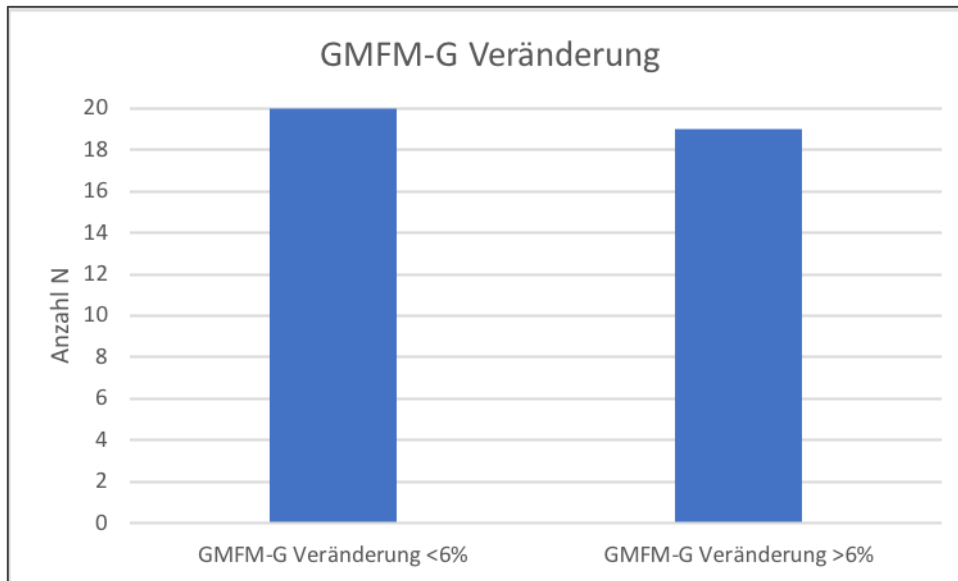


Abbildung 5: Anzahl der Kinder mit einer Veränderung im GMFM-G (Gross Motor Function Measure Gesamt) über 6% und unter 6%.

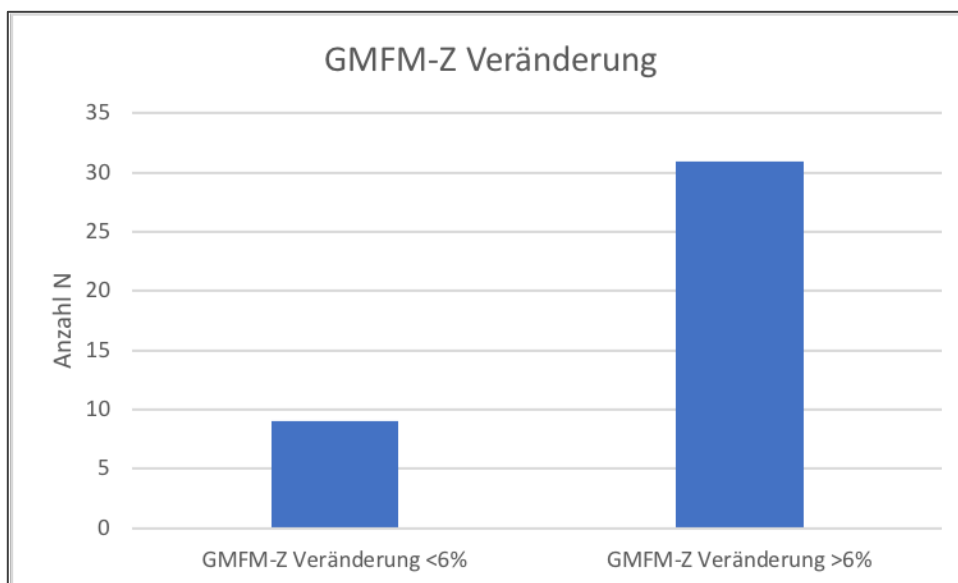


Abbildung 6: Anzahl der Kinder mit einer Veränderung im GMFM-Z (Gross Motor Function Measure Zielbereich) über 6% und unter 6%.

4.4 Gross Motor Function Classification System

Von 54 Kindern zeigten nur drei Kinder eine Veränderung im GMFCS um eine Stufe nach oben. Alle anderen Kinder zeigten keine Veränderung des GMFCS Levels.

Es wurde überprüft, ob Kinder mit einem hohen GMFCS Level anders von der Operation profitieren, als Kinder mit einem niedrigen GMFCS Level. Mittels eines t-Tests für unabhängige Stichproben wurden von den 35 Kindern mit vollständigen Messwerten des GMFM-G und Z die Kinder mit einem GMFCS Level 1 (N=12) denen mit einem GMFCS Level 2 und 3 (N=23) gegen über gestellt. Es konnten keine signifikanten Unterschiede in der Verbesserung im GMFM-G ($p=0,112$) und GMFM-Z ($p=0,101$) 24 Monate nach OP festgestellt werden.

Anschließend wurde die Gruppe der Kinder mit einem GMFCS Level 2 (N=16) und 3 (N=6) miteinander auf Unterschiede in der Verbesserung im GMFM-G und Z nach der Operation verglichen. Auch hier konnte der t-Test keinen signifikanten Unterschied in der Veränderung des GMFM-G ($p=0,238$) und GMFM-Z ($p=0,852$) nach 24 Monaten post OP ermitteln.

Betrachtet man allerdings den Mittelwert der Differenz des GMFM-G der einzelnen GMFCS Level neben einander, so fällt auf, dass die Kinder mit GMFCS Level 2 den größten motorischen Zuwachs zeigen im Vergleich zu den Kindern mit GMFCS Level 1 oder 3 (siehe Tabelle 12). Dieser Unterschied ist zwar statistisch nicht signifikant, aber klinisch relevant.

Tabelle 12: Vergleich der Differenzen des GMFM-G der drei Messzeitpunkte zwischen den GMFCS-Leveln 1, 2 und 3. GMFM-G (Gross Motor Function Measure Gesamt), GMFCS (Gross Motor Function Classification System), N (Anzahl), SD (Standardabweichung), Diff (Differenz), M1 (präoperativ), M2 (12 Monate postoperativ), M3 (24 Monate postoperativ).

GMFCS	N	Mittelwert	SD
Diff. 1) GMFM-G M1-M2			
GMFCS I	12	3,08	3,37
GMFCS II	16	5,53	8,73
GMFCS III	6	4,83	2,71
Diff. 2) GMFM-G M1-M3			
GMFCS I	12	4,17	3,99
GMFCS II	16	8,97	8,30
GMFCS III	6	4,67	3,45
Diff. 3) GMFM-G M2-M3			
GMFCS I	12	1,08	1,51
GMFCS II	16	3,44	4,79
GMFCS III	6	-0,17	1,72

4.5 Messung der passiven Gelenkbeweglichkeit

Die Veränderung der passiven Gelenkbeweglichkeit wurde zu den drei Zeitpunkten M1 (vor der OP), M2 (nach 12 Monaten) und M3 (nach 24 Monaten) für die Bewegungsrichtungen Hüftgelenk-Extension, Hüftgelenk-Abduktion, Hüftgelenk-Außenrotation, Kniegelenk-Extension und Sprunggelenk-Dorsalextension mit und ohne Kniebeugung im rechten und linken Bein getrennt gemessen.

Für jedes Kind wurde jeweils die Differenz zwischen den Werten von M1 und M2, M1 und M3 und M2 und M3 ermittelt. Eine positive Differenz bedeutete eine Vergrößerung des Bewegungsausmaßes in dem jeweiligen Gelenk, eine negative Differenz eine Verkleinerung des Bewegungsausmaßes. Die Differenzen wurden mit Hilfe des t-Tests für gepaarte Stichproben auf Veränderungen über die Messzeitpunkte hinweg geprüft. Da häufig Seitendifferenzen in der Kraft und Ausprägung der Spastizität und damit ein unterschiedliches Bewegungsausmaß zwischen dem rechten und linken Bein beobachtet wurden, wurden die Werte beider Beine getrennt voneinander berechnet.

Für 35 der 54 Kinder lagen Messwerte für alle drei Zeitpunkte der Messung des passiven Bewegungsausmaßes im Hüftgelenk für die Hüftgelenk-Extension des rechten und des linken Beines vor.

Die Tabelle 13 zeigt Mittelwerte und Standardabweichungen zu den jeweiligen drei Zeitpunkten. Für die Ermittlung der Mittelwerte wurden alle vorhandenen Messdaten verwendet.

Die Tabelle 14 zeigt die Ergebnisse für das linke Bein, Tabelle 15 die Ergebnisse für das rechte Bein. Die Differenzen im Verlauf waren für beide Beine nicht signifikant. Das heißt, der Effekt der Operation zeigte keinen Einfluss auf das passive Bewegungsausmaß des Hüftgelenks für die Hüftgelenk-Extension.

Tabelle 13: Mittelwert und Standardabweichung (SD) der Hüftgelenk-Extension (HG-EX) zu den drei Messzeitpunkten. M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).

HG-EX	M1 Mittelwert	SD	M2 Mittelwert	SD	M3 Mittelwert	SD
rechtes Bein	-5,9	6,5	-4,6	8,5	-4,1	6,7
linkes Bein	-5,9	7	-4,5	8,4	-4,4	7,5
N	56		49		44	

Tabelle 14: Mittelwert und Standardabweichung (SD) der Differenzen zwischen den Messzeitpunkten für die Hüftgelenk-Extension (HG-EX) und p-Wert für das linke Bein. M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).

Linkes Bein	N	Mittelwert	SD	Signifikanz
Diff. 1) HG-EX M1-M2	35	2,57	8,94	0,098
Diff. 2) HG-EX M1-M3	35	1,57	8,73	0,294
Diff. 3) HG-EX M2-M3	35	-1,00	7,36	0,427

Tabelle 15: Mittelwert und Standardabweichung (SD) der Differenzen zwischen den Messzeitpunkten für die Hüftgelenk-Extension (HG-EX) und p-Wert für das rechte Bein. M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).

Rechtes Bein	N	Mittelwert	SD	Signifikanz
Diff. 1) HG-EX M1-M2	35	1,86	9,00	0,231
Diff. 2) HG-EX M1-M3	35	0,86	8,36	0,548
Diff. 3) HG-EX M2-M3	35	-1,00	7,46	0,433

In der graphischen Darstellung (siehe Abbildung 7) kann man erkennen, dass allen Kindern der Patientengruppe eine vollständige Streckung des Hüftgelenks bereits vor der Operation fehlte. Insgesamt war die Bewegungseinschränkung im linken Bein stärker ausgeprägt als im rechten Bein.

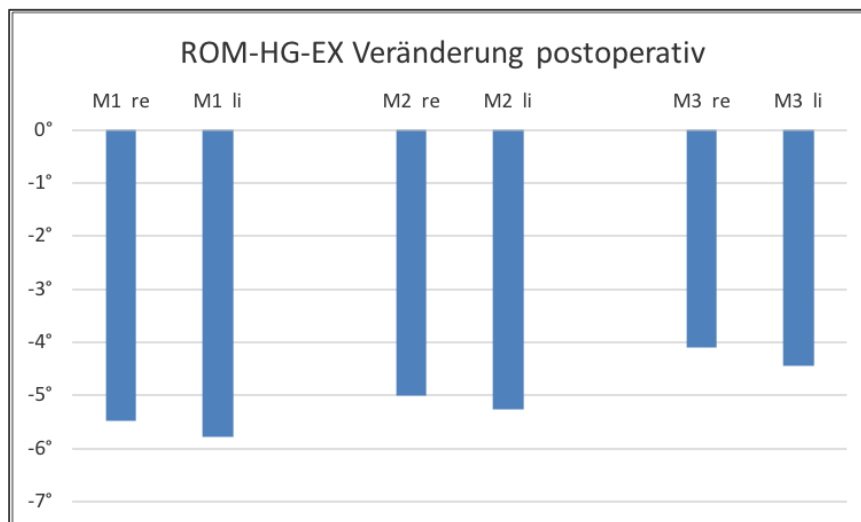


Abbildung 7: Passives Bewegungsausmaß (ROM) des Hüftgelenks (HG) in die Extension (EX) im postoperativen Verlauf. M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP).

Für 40 der 54 Kinder lagen Messwerte für alle drei Zeitpunkte der Messung des passiven Bewegungsausmaßes im Hüftgelenk für die Hüftgelenk-Abduktion des rechten und des linken Beines vor.

Die Tabelle 16 zeigt die Mittelwerte und Standardabweichungen aller Messwerte zu den drei Zeitpunkten.

Die Tabelle 17 zeigt die Ergebnisse für das linke Bein, Tabelle 18 die Ergebnisse für das rechte Bein. Die Differenz zwischen M1 und M2 sowie M1 und M3 war für beide Beine signifikant. Das heißt, nach der Operation ließ sich eine Vergrößerung des passiven Bewegungsausmaßes für die Hüftgelenk-Abduktion feststellen, die innerhalb des ersten Jahres post OP einsetzte und über 24 Monate post OP erhalten blieb.

Tabelle 16: Mittelwert und Standardabweichung (SD) der Hüftgelenk-Abduktion (HG-AB) zu den drei Messzeitpunkten. M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).

HG-AB	M1 Mittelwert	SD	M2 Mittelwert	SD	M3 Mittelwert	SD
rechtes Bein	31,8	10,1	36,9	12	37,4	11,5
linkes Bein	30,6	10,9	38,4	11,8	37,9	11,3
N	60		52		44	

Tabelle 17: Mittelwert und Standardabweichung (SD) der Differenzen zwischen den Messzeitpunkten für die Hüftgelenk-Abduktion (HG-AB) und p-Wert für das linke Bein. M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).

Linkes Bein	N	Mittelwert	SD	Signifikanz
Diff. 1) HG-AB M1-M2	40	6,63	11,51	0,001
Diff. 2) HG-AB M1-M3	40	6,75	11,18	0,000
Diff. 3) HG-AB M2-M3	40	0,13	9,44	0,934

Tabelle 18: Mittelwert und Standardabweichung (SD) der Differenzen zwischen den Messzeitpunkten für die Hüftgelenk-Abduktion (HG-AB) und p-Wert für das rechte Bein. M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).

Rechtes Bein	N	Mittelwert	SD	Signifikanz
Diff. 1) HG-AB M1-M2	40	5,38	10,65	0,003
Diff. 2) HG-AB M1-M3	40	5,13	11,79	0,009
Diff. 3) HG-AB M2-M3	40	-0,25	9,99	0,875

In der graphischen Darstellung (siehe Abbildung 8) lässt sich auch hier eine leichte Seitendifferenz zwischen linkem und rechtem Bein erkennen. Das linke Bein zeigte in den ersten 12 Monaten nach der Operation einen deutlichen Zuwachs der Gelenkbeweglichkeit. Nach 24 Monaten glichen sich beide Beine in ihrer Veränderung nahe zu an.

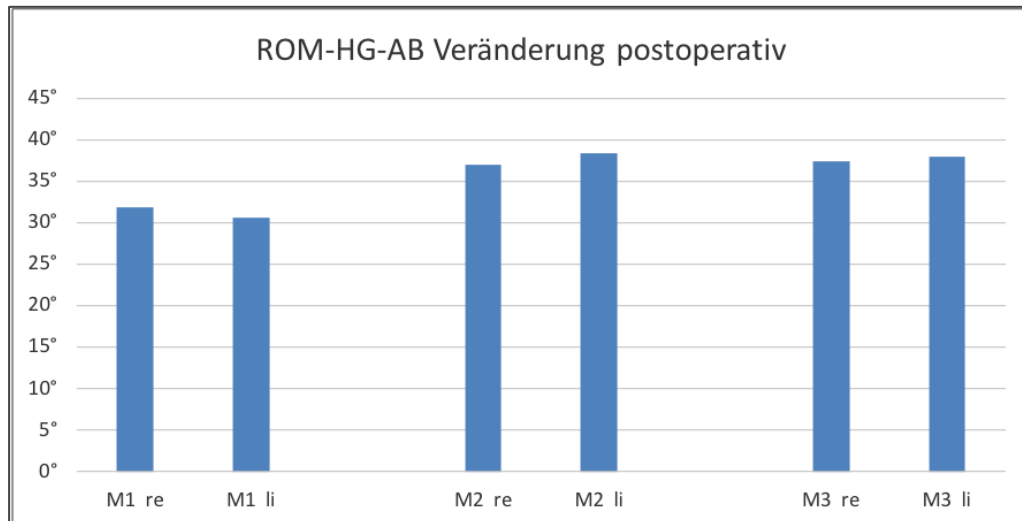


Abbildung 8: Passives Bewegungsausmaß (ROM) im Hüftgelenk (HG) in die Abduktion (AB) vor der Operation (M1) und nach 12 Monaten (M2) und 24 Monaten (M3).

Für 40 der 54 Kinder lagen Messwerte für alle drei Zeitpunkte der Messung des passiven Bewegungsausmaßes im Hüftgelenk für die Hüftgelenk-Außenrotation des rechten und des linken Beines vor.

Die Tabelle 19 zeigt die Mittelwerte und Standardabweichungen für alle Messwerte zu den drei Zeitpunkten.

Die Tabelle 20 zeigt die Ergebnisse für das linke Bein, Tabelle 21 die Ergebnisse für das rechte Bein. Die Differenz zwischen M1 und M2, M1 und M3 sowie M2 und M3 war für beide Beine nicht signifikant. Das heißt, nach der Operation ließ sich keine Vergrößerung des passiven Bewegungsausmaßes für die Hüftgelenk-Außenrotation feststellen. Es zeigte sich eher ein leichter Rückgang der Beweglichkeit.

Tabelle 19: Mittelwert und Standardabweichung (SD) der Hüftgelenk-Außenrotation (HG-AR) zu den drei Messzeitpunkten. M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).

HG-AR	M1 Mittelwert	SD	M2 Mittelwert	SD	M3 Mittelwert	SD
rechtes Bein	54,9	13,2	52,7	13,8	50,2	13,5
linkes Bein	51,8	13,4	52,1	15,4	49,1	12,2
N	59		53		44	

Tabelle 20: Mittelwert und Standardabweichung (SD) der Differenz zwischen den drei Messzeitpunkten für die Hüftgelenk-Außenrotation (HG-AR) und p-Wert für das linke Bein. M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).

Linkes Bein	N	Mittelwert	SD	Signifikanz
Diff. 1) HG-AR M1-M2	40	-0,13	18,62	0,966
Diff. 2) HG-AR M1-M3	40	-3,38	16,46	0,202
Diff. 3) HG-AR M2-M3	40	-3,25	16,51	0,220

Tabelle 21: Mittelwert und Standardabweichung (SD) der Differenzen zwischen den drei Messzeitpunkten für die Hüftgelenk-Außenrotation (HG-AR) und p-Wert für das rechte Bein. M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).

Rechtes Bein	N	Mittelwert	SD	Signifikanz
Diff. 1) HG-AR M1-M2	40	-2,25	14,41	0,329
Diff. 2) HG-AR M1-M3	40	-2,63	17,06	0,336
Diff. 3) HG-AR M2-M3	40	-0,38	13,42	0,861

Auch hier lässt sich in der graphischen Darstellung (siehe Abbildung 9) eine Seitendifferenz zwischen dem linken und rechten Bein erkennen. Die Außenrotation war im linken Bein bereits vor der Operation mehr eingeschränkt als im rechten Bein. Auch postoperativ blieb diese Seitendifferenz bestehen. Insgesamt zeigten die Kinder der Studiengruppe aber eine gute Gelenkbeweglichkeit in der Außenrotation bereits präoperativ.

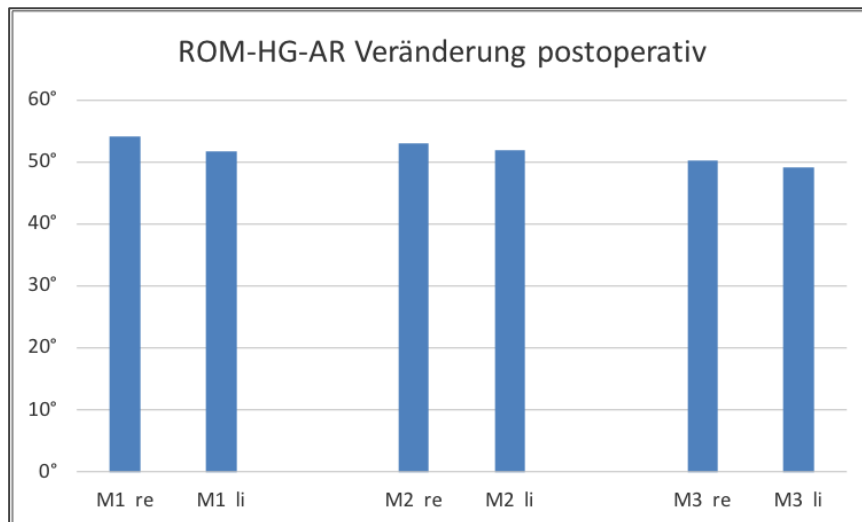


Abbildung 9: Passives Bewegungsausmaß (ROM) im Hüftgelenk (HG) in die Außenrotation (AR) vor der Operation (M1) und nach 12 Monaten (M2) und 24 Monaten (M3) post-operativ.

Für 39 der 54 Kinder lagen Messwerte für alle drei Zeitpunkte der Messung des passiven Bewegungsausmaßes im Kniegelenk für die Kniegelenk-Extension des rechten und des linken Beines vor.

Die Tabelle 22 zeigt die Mittelwerte und Standardabweichungen für alle Messwerte über die drei Zeitpunkte.

Die Tabelle 23 zeigt die Ergebnisse für das linke Bein, Tabelle 24 die Ergebnisse für das rechte Bein. Die Differenz zwischen M1 und M2, M1 und M3 sowie M2 und M3 war für beide Beine nicht signifikant. Das heißt, nach der Operation ließ sich keine Vergrößerung des passiven Bewegungsausmaßes für die Kniegelenk-Extension feststellen.

Tabelle 22: Mittelwert und Standardabweichung (SD) der Kniegelenk-Extension (KG-EX) zu den drei Messzeitpunkten. M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).

KG-EX	M1 Mittelwert	SD	M2 Mittelwert	SD	M3 Mittelwert	SD
rechtes Bein	-0,2	8,3	-0,1	8,2	-0,2	8,2
linkes Bein	-0,1	8,4	0,3	7,7	-0,8	9,2
N	57		53		45	

Tabelle 23: Mittelwert und Standardabweichung (SD) der Differenzen zwischen den drei Messzeitpunkten für die Kniegelenk-Extension (KG-EX) und p-Wert für das linke Bein. M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).

Linkes Bein	N	Mittelwert	SD	Signifikanz
Diff. 1) KG-EX M1-M2	39	0,77	6,54	0,467
Diff. 2) KG-EX M1-M3	39	-0,13	8,15	0,922
Diff. 3) KG-EX M2-M3	39	-0,90	7,06	0,432

Tabelle 24: Mittelwert und Standardabweichung (SD) der Differenzen zwischen den drei Messzeitpunkten für die Kniegelenk-Extension (KG-EX) und p-Wert für das rechte Bein. M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).

Rechtes Bein	N	Mittelwert	SD	Signifikanz
Diff. 1) KG-EX M1-M2	39	0,13	6,64	0,905
Diff. 2) KG-EX M1-M3	39	0,00	6,59	1,000
Diff. 3) KG-EX M2-M3	39	-0,13	5,68	0,889

In der graphischen Darstellung (siehe Abbildung 10) lässt sich erkennen, dass die Kinder bereits vor der Operation keine bedeutenden Einschränkungen in der Kniegelenk-Extension zeigten.

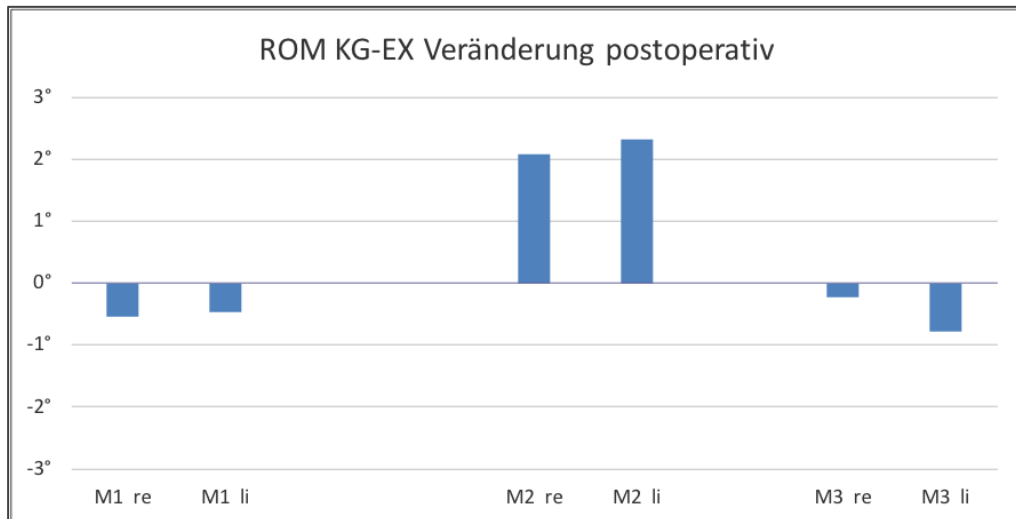


Abbildung 10: Passives Bewegungsausmaß (ROM) des Kniegelenks (KG) in die Extension (EX) vor der Operation (M1) und nach 12 Monaten (M2) und 24 Monaten (M3) post-operativ.

Für 40 der 54 Kinder lagen Messwerte für alle drei Zeitpunkte der Messung des passiven Bewegungsausmaßes im Sprunggelenk für die Sprunggelenk-Dorsalextension bei Kniebeugung des rechten und des linken Beines vor.

Die Tabelle 25 zeigt die Mittelwerte und Standardabweichungen für alle Messwerte über alle drei Zeitpunkte.

Die Tabelle 26 zeigt die Ergebnisse für das linke Bein, Tabelle 27 die Ergebnisse für das rechte Bein. Die Differenz zwischen den einzelnen Zeitpunkten war für beide Beine nicht signifikant. Das heißt, nach der Operation ließ sich keine Vergrößerung des passiven Bewegungsausmaßes für die Sprunggelenk-Dorsalextension bei gleichzeitiger Kniebeugung feststellen.

Tabelle 25: Mittelwert und Standardabweichung (SD) der Sprunggelenk-Dorsalextension (SG-DE) mit gleichzeitiger Kniegelenk-Flexion (KG-FL) zu den drei Messzeitpunkten. M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).

SG-DE mit KG-FL	M1 Mittelwert	SD	M2 Mittelwert	SD	M3 Mittelwert	SD
rechtes Bein	9,5	13,3	15	10,6	15,6	10,4
linkes Bein	9,7	11,3	15,7	11,2	15	11
N	58		53		45	

Tabelle 26: Mittelwert und Standardabweichung (SD) der Differenz zwischen den drei Messzeitpunkten für die Sprunggelenk-Dorsalextension (SG-DE) mit Kniegelenk-Flexion (KG-FL) und p-Wert für das linke Bein. M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).

Linkes Bein	N	Mittelwert	SD	Signifikanz
Diff. 1) SG-DE mit KG-FL M1-M2	40	3,13	10,17	0,059
Diff. 2) SG-DE mit KG-FL M1-M3	40	4,88	13,18	0,025
Diff. 3) SG-DE mit KG-FL M2-M3	40	1,75	9,84	0,268

Tabelle 27: Mittelwert und Standardabweichung (SD) der Differenzen zwischen den drei Messezeitpunkten für die Sprunggelenk-Dorsalextension (SG-DE) mit Kniegelenk-Flexion (KG-FL) und p-Wert für das rechte Bein. M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).

Rechtes Bein	N	Mittelwert	SD	Signifikanz
Diff. 1) SG-DE mit KG-FL M1-M2	40	4,38	13,21	0,043
Diff. 2) SG-DE mit KG-FL M1-M3	40	5,13	13,52	0,021
Diff. 3) SG-DE mit KG-FL M2-M3	40	0,75	10,10	0,641

Für 40 der 54 Kinder lagen Messwerte für alle drei Zeitpunkte der Messung des passiven Bewegungsausmaßes im Sprunggelenk für die Sprunggelenk-Dorsalextension bei Kniestreckung des rechten und des linken Beines vor.

Die Tabelle 28 zeigt die Mittelwerte und Standardabweichungen aller Messwerte über die drei Zeitpunkte.

Tabelle 29 zeigt die Ergebnisse für das linke Bein, Tabelle 30 die Ergebnisse für das rechte Bein. Die Differenz zwischen M1 und M2 sowie M1 und M3 war signifikant für das linke Bein. Die Differenz zwischen M1 und M3 war ebenfalls signifikant für das rechte Bein. Die Differenz zwischen M2 und M3 war für beide Beine nicht signifikant. Das heißt, nach der Operation ließ sich eine Vergrößerung des passiven Bewegungsausmaßes für die Sprunggelenk-Dorsalextension bei Kniestreckung für beide Beine feststellen. Für das linke Bein entwickelte sie sich bereits innerhalb der ersten 12 Monate und für das rechte Bein erst nach 24 Monaten post OP.

Tabelle 28: Mittelwert und Standardabweichung (SD) der Sprunggelenk-Dorsalextension (SG-DE) mit gleichzeitiger Kniegelenk-Extension (KG-EX) zu den drei Messzeitpunkten M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).

SG-DE mit KG-EX	M1 Mittelwert	SD	M2 Mittelwert	SD	M3 Mittelwert	SD
rechtes Bein	0,7	14,4	5	11	6,2	8,5
linkes Bein	0	10,7	3,8	10,8	5,1	8,2
N	59		53		45	

Tabelle 29: Mittelwert und Standardabweichung (SD) der Differenzen zwischen den drei Messzeitpunkten für die Sprunggelenk-Dorsalextension (SG-DE) mit Kniegelenk-Extension (KG-EX) und p-Wert für das linke Bein. M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).

Linkes Bein	N	Mittelwert	SD	Signifikanz
Diff. 1) SG-DE KG-EX M1-M2	40	6,88	14,97	0,006
Diff. 2) SG-DE KG-EX M1-M3	40	6,38	14,14	0,007
Diff. 3) SG-DE KG-EX M2-M3	40	-0,50	10,30	0,761

Tabelle 30: Mittelwert und Standardabweichung (SD) der Differenzen zwischen den drei Messzeitpunkten für die Sprunggelenk-Dorsalextension (SG-DE) mit Kniegelenk-Extension (KG-EX) und p-Wert für das rechte Bein. M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).

Rechtes Bein	N	Mittelwert	SD	Signifikanz
Diff. 1) SG-DE KG-EX M1-M2	40	3,88	12,48	0,057
Diff. 2) SG-DE KG-EX M1-M3	40	5,75	13,47	0,010
Diff. 3) SG-DE KG-EX M2-M3	40	1,88	8,89	0,190

In der graphischen Darstellung (siehe Abbildung 11) kann man den deutlichen Zugewinn in der passiven Gelenkbeweglichkeit im oberen Sprunggelenk bei gleichzeitiger Kniegelenksstreckung erkennen. Im linken Sprunggelenk zeigt sich dieser weniger als im rechten.

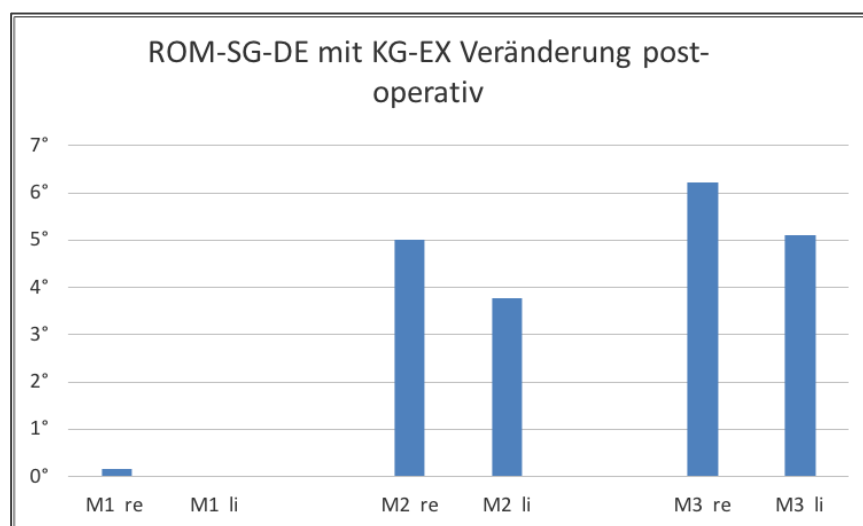


Abbildung 11: Passives Bewegungsausmaß (ROM) im oberen Sprunggelenk (SG) in die Dorsalextension (DE) bei gleichzeitiger Kniegelenk-Extension (KG-EX) vor der Operation (M1) und nach 12 Monaten (M2) und 24 Monaten (M3) post-operativ.

4.6 Kraftmessung

Die Entwicklung der Kraft wurde zu den drei Zeitpunkten M1 (vor der OP), M2 (nach 12 Monaten) und M3 (nach 24 Monaten) für die Hüftgelenk-Extensoren-und Flexoren, Hüftgelenk-Abduktoren-und Adduktoren, Hüftgelenk-Außenrotatoren-und Innenrotatoren, Kniegelenk-Extensoren-und Flexoren und die Sprunggelenk-Dorsalextensoren-und Plantarflexoren im rechten und linken Bein getrennt gemessen.

Für jedes Kind wurde jeweils die Differenz zwischen den Werten von M1 und M2, M1 und M3 und M2 und M3 ermittelt. Eine positive Differenz bedeutet eine Verbesserung der Kraft, eine negative Differenz eine Verschlechterung der Kraft. Die Differenzen wurden mit Hilfe des Vorzeichenstests für gepaarte Stichproben auf Veränderungen über die Messzeitpunkte hinweg geprüft. Da häufig Seitendifferenzen in der Kraft und Ausprägung der Spastizität und damit eine unterschiedliche Kraft zwischen dem rechten und linken Bein beobachtet werden, wurden die Werte beider Beine getrennt voneinander berechnet.

Für 24 der 54 Kinder lagen Messwerte für alle drei Zeitpunkte der Messung der Kraft in den Hüftgelenk-Extensoren des rechten und des linken Beines vor. Tabelle 31 zeigt die Ergebnisse für das linke Bein, Tabelle 32 die Ergebnisse für das rechte Bein. Nur für das linke Bein war die Differenz zwischen M1 und M2 sowie M1 und M3 signifikant. Das heißt, nach der Operation ließ sich eine Verbesserung der Kraft für das linke Bein feststellen, die sich innerhalb der ersten 12 Monate entwickelte und für 24 Monate anhielt. Das rechte Bein verbesserte sich post OP nicht in seiner Kraft.

Tabelle 31: p-Wert der Differenzen (Diff.) der Kraft in den Hüftgelenk-Extensoren (HG-EX) des linken Beines zwischen den Zeitpunkten M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP) und M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).

Linkes Bein	Diff. 1) HG-EX M1-M2	Diff. 2) HG-EX M1-M3	Diff. 3) HG-EX M2-M3
Signifikanz	0,019	0,008	0,143
Anzahl an: Verschlechterungen	4	3	5
Verbesserungen	15	15	12
Keine Veränderung	5	6	7
N	24	24	24

Tabelle 32: p-Wert der Differenzen (Diff.) der Kraft in den Hüftgelenk-Extensoren (HG-EX) des rechten Beines zwischen den Zeitpunkten M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP) und M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).

Rechtes Bein	Diff. 1) HG-EX M1-M2	Diff. 2) HG-EX M1-M3	Diff. 3) HG-EX M2-M3
Signifikanz	0,096	0,210	1,000
Anzahl an: Verschlechterungen	5	8	10
Verbesserungen	13	15	9
Keine Veränderung	6	1	5
N	24	24	24

Für 30 der 54 Kinder lagen Messwerte für alle drei Zeitpunkte der Messung der Kraft in den Hüftgelenk-Flexoren des rechten und des linken Beines vor. Tabelle 33 zeigt die Ergebnisse für das linke Bein, Tabelle 34 die Ergebnisse für das rechte Bein. Die Differenz zwischen M1 und M2, M1 und M3 sowie M2 und M3 war für beide Beine nicht signifikant. Das heißt, nach der Operation entwickelte sich keine Verbesserung der Kraft der Hüftgelenk-Flexoren für beide Beine.

Tabelle 33: p-Wert der Differenzen (Diff.) der Kraft der Hüftgelenk-Flexoren (HG-FL) des linken Beines zwischen den Zeitpunkten M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP) und M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).

Linkes Bein	Diff. 1) HG-FL M1-M2	Diff. 2) HG-FL M1-M3	Diff. 3) HG-FL M2-M3
Signifikanz	0,263	0,035	0,839
Anzahl an: Verschlechterungen	7	6	11
Verbesserungen	13	17	13
Keine Veränderung	10	7	6
N	30	30	30

Tabelle 34: p-Wert der Differenzen (Diff.) der Kraft der Hüftgelenk-Flexoren (HG-FL) des rechten Beines zwischen den Zeitpunkten M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP) und M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).

Rechtes Bein	Diff. 1) HG-FL M1-M2	Diff. 2) HG-FL M1-M3	Diff. 3) HG-FL M2-M3
Signifikanz	0,167	0,307	1,000
Anzahl an: Verschlechterungen	6	9	11
Verbesserungen	13	15	10
Keine Veränderung	11	6	9
N	30	30	30

Für 28 der 54 Kinder lagen Messwerte für alle drei Zeitpunkte der Messung der Kraft in den Hüftgelenk-Abduktoren des rechten und des linken Beines vor. Tabelle 35 zeigt die Ergebnisse für das linke Bein, Tabelle 36 die Ergebnisse für das rechte Bein. Die Differenz zwischen M1 und M2 sowie M1 und M3 war nur für das linke Bein signifikant. Das heißt, nach der Operation ließ sich eine Verbesserung der Kraft für das linke Bein feststellen, die sich innerhalb der ersten 12 Monate entwickelte und für 24 Monate anhielt. Das rechte Bein verbesserte sich post OP nicht in seiner Kraft der Hüftgelenk-Abduktoren.

Tabelle 35: p-Wert der Differenzen (Diff.) der Kraft der Hüftgelenk-Abduktoren (HG-AB) des linken Beines zwischen den Zeitpunkten M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP) und M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).

Linkes Bein	Diff. 1) HG-AB M1-M2	Diff. 2) HG-AB M1-M3	Diff. 3) HG-AB M2-M3
Signifikanz	0,002	0,007	0,405
Anzahl an: Verschlechterungen	4	5	14
Verbesserungen	20	19	9
Keine Veränderung	4	4	5
N	28	28	28

Tabelle 36: p-Wert der Differenzen (Diff.) der Kraft der Hüftgelenk-Abduktoren (HG-AB) des rechten Beines zwischen den Zeitpunkten M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP) und M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).

Rechtes Bein	Diff. 1) HG-AB M1-M2	Diff. 2) HG-AB M1-M3	Diff. 3) HG-AB M2-M3
Signifikanz	0,064	0,054	0,523
Anzahl an: Verschlechterungen	7	8	9
Verbesserungen	17	19	13
Keine Veränderung	4	1	6
N	28	28	28

Für 22 der 54 Kinder lagen Messwerte für alle drei Zeitpunkte der Messung der Kraft in den Hüftgelenk-Adduktoren des rechten und des linken Beines vor. Tabelle 37 zeigt die Ergebnisse für das linke Bein, Tabelle 38 die Ergebnisse für das rechte Bein. Die Differenz zwischen M1 und M3 war signifikant für das rechte Bein. Das heißt, nach der Operation ließ sich eine Verbesserung der Kraft für das rechte Bein feststellen, die sich innerhalb von 24 Monaten entwickelte. Das linke Bein verbesserte sich post OP nicht in seiner Kraft in den Hüftgelenk-Adduktoren.

Tabelle 37: p-Wert der Differenzen (Diff.) der Kraft der Hüftgelenk-Adduktoren (HG-AD) des linken Beines, zwischen den Zeitpunkten M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP) und M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).

Linkes Bein	Diff. 1) HG-AD M1-M2	Diff. 2) HG-AD M1-M3	Diff. 3) HG-AD M2-M3
Signifikanz	0,115	0,629	1,000
Anzahl an: Verschlechterungen	6	7	8
Verbesserungen	14	10	9
Keine Veränderung	2	5	5
N	22	22	22

Tabelle 38: p-Wert der Differenzen (Diff.) der Kraft der Hüftgelenk-Adduktoren (HG-AD) des rechten Beines zwischen den Zeitpunkten M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP) und M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).

Rechtes Bein	Diff. 1) HG-AD M1-M2	Diff. 2) HG-AD M1-M3	Diff. 3) HG-AD M2-M3
Signifikanz	0,454	0,007	0,332
Anzahl an: Verschlechterung	6	2	6
Verbesserung	10	13	11
Keine Veränderung	6	7	5
N	22	22	22

Für 30 der 54 Kinder lagen Messwerte für alle drei Zeitpunkte der Messung der Kraft in den Kniegelenk-Extensoren des rechten und linken Beines vor. Tabelle 39 zeigt die Ergebnisse für das linke Bein, Tabelle 40 die Ergebnisse für das rechte Bein. Die Differenz zwischen M1 und M2 sowie M1 und M3 war signifikant für beide Beine. Das heißt, nach der Operation ließ sich eine Verbesserung der Kraft für das rechte und linke Bein feststellen, die sich innerhalb von 12 Monaten entwickelte und 24 Monate anhält.

Tabelle 39: p-Wert der Differenzen (Diff.) der Kraft der Kniegelenk-Extensoren (KG-EX) des linken Beines zwischen den Zeitpunkten M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP) und M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).

Linkes Bein	Diff. 1) KG-EX M1-M2	Diff. 2) KG-EX M1-M3	Diff. 3) KG-EX M2-M3
Signifikanz	0,004	0,000	0,263
Anzahl an: Verschlechterungen	3	2	7
Verbesserungen	16	20	13
Keine Veränderung	11	8	10
N	30	30	30

Tabelle 40: p-Wert der Differenz (Diff.) der Kraft der Kniegelenk-Extensoren (KG-EX) des rechten Beines zwischen den Zeitpunkten M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP) und M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).

Rechtes Bein	Diff. 1) KG-EX M1-M2	Diff. 2) KG-EX M1-M3	Diff. 3) KG-EX M2-M3
Signifikanz	0,011	0,011	0,664
Anzahl an: Verschlechterungen	5	5	9
Verbesserungen	18	18	12
Keine Veränderung	7	7	9
N	30	30	30

Für 27 der 54 Kinder lagen Messwerte für alle drei Zeitpunkte der Messung der Kraft in den Kniegelenk-Flexoren des rechten und linken Beines vor. Tabelle 41 zeigt die Ergebnisse für das linke Bein, Tabelle 42 die Ergebnisse für das rechte Bein. Die Differenz zwischen M1 und M2, M1 und M3 sowie M2 und M3 war für beide Beine nicht signifikant. Das heißt, nach der Operation entwickelte sich keine Verbesserung der Kraft in den Kniegelenk-Flexoren beider Beine.

Tabelle 41: p-Wert der Differenz (Diff.) der Kraft der Kniegelenk-Flexoren (KG-FL) des linken Beines zwischen den Zeitpunkten M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP) und M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).

Linkes Bein	Diff. 1) KG-FL M1-M2	Diff. 2) KG-FL M1-M3	Diff. 3) KG-FL M2-M3
Signifikanz	1,000	0,664	1,000
Anzahl an: Verschlechterungen	9	9	9
Verbesserungen	9	12	10
Keine Veränderung	9	6	8
N	27	27	27

Tabelle 42: p-Wert der Differenzen (Diff.) der Kraft der Kniegelenk-Flexoren (KG-FL) des rechten Beines zwischen den Zeitpunkten M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP) und M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).

Rechtes Bein	Diff. 1) KG-FL M1-M2	Diff. 2) KG-FL M1-M3	Diff. 3) KG-FL M2-M3
Signifikanz	0,332	0,189	1,000
Anzahl an: Verschlechterungen	6	7	10
Verbesserungen	11	14	10
Keine Veränderung	10	6	7
N	27	27	27

Für 22 der 54 Kinder lagen Messwerte für alle drei Zeitpunkte der Messung der Kraft in den Sprunggelenk-Plantarflexoren des rechten und des linken Beines vor. Tabelle 43 zeigt die Ergebnisse für das linke Bein, Tabelle 44 die Ergebnisse für das rechte Bein. Die Differenz zwischen M1 und M2, M1 und M3 sowie M2 und M3 war für beide Beine nicht signifikant. Das heißt, nach der Operation entwickelte sich keine Verbesserung der Kraft in den Plantarflexoren beider Beine.

Tabelle 43: p-Wert der Differenzen (Diff.) der Kraft der Sprunggelenk-Plantarflexoren (SG-PF) des linken Beines zwischen den Zeitpunkten M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP) und M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).

Linkes Bein	Diff. 1) SG-PF M1-M2	Diff. 2) SG-PF M1-M3	Diff. 3) SG-PF M2-M3
Signifikanz	0,791	0,332	0,804
Anzahl an: Verschlechterungen	6	6	7
Verbesserungen	8	11	9
Keine Veränderung	8	5	6
N	22	22	22

Tabelle 44: p-Wert der Differenzen (Diff.) der Kraft der Sprunggelenk-Plantarflexoren (SG-PF) des rechten Beines zwischen den Zeitpunkten M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP) und M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).

Rechtes Bein	Diff. 1) SG-PF M1-M2	Diff. 2) SG-PF M1-M3	Diff. 3) SG-PF M2-M3
Signifikanz	0,607	0,332	0,804
Anzahl an: Verschlechterungen	6	6	6
Verbesserungen	9	11	9
Keine Veränderung	7	5	7
N	22	22	22

Für 25 der 54 Kinder lagen Messwerte für alle drei Zeitpunkte der Messung der Kraft in den Sprunggelenk-Dorsalextensoren des rechten und linken Beines vor. Tabelle 45 zeigt die Ergebnisse für das linke Bein, Tabelle 46 die Ergebnisse für das rechte Bein. Die Differenz zwischen M1 und M2 sowie M1 und M3 war für beide Beine signifikant. Das heißt, nach der Operation entwickelte sich eine Verbesserung der Kraft in beiden Beinen innerhalb der ersten 12 Monate, die über 24 Monate anhielt.

Tabelle 45: p-Wert der Differenzen (Diff.) der Kraft der Sprunggelenk-Dorsalextensoren (SG-DE) des linken Beines zwischen den Zeitpunkten M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP) und M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).

Linkes Bein	Diff. 1) SG-DE M1-M2	Diff. 2) SG-DE M1-M3	Diff. 3) SG-DE M2-M3
Signifikanz	0,003	0,001	0,359
Anzahl an: Verschlechterungen	3	3	7
Verbesserungen	17	19	12
Keine Veränderung	5	3	6
N	25	25	25

Tabelle 46: p-Wert der Differenzen (Diff.) der Kraft der Sprunggelenk-Dorsalextensoren (SG-DE) des rechten Beines zwischen den Zeitpunkten M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP) und M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).

Rechtes Bein	Diff. 1) SG-DE M1-M2	Diff. 2) SG-DE M1-M3	Diff. 3) SG-DE M2-M3
Signifikanz	0,008	0,000	0,263
Anzahl an: Verschlechterungen	3	2	7
Verbesserungen	15	21	13
Keine Veränderung	7	2	5
N	25	25	25

Die Abbildungen 12 und 13 zeigen die Verteilung der Kraft über die Etagen der unteren Extremität und die Veränderung nach 24 Monaten post OP. Alle Muskelgruppen waren vor der Operation in ihrer Kraft eingeschränkt. Nach erfolgter OP zeigten alle Muskelgruppen einen Kraftzuwachs, erlangten aber trotzdem nicht die volle Kraft.

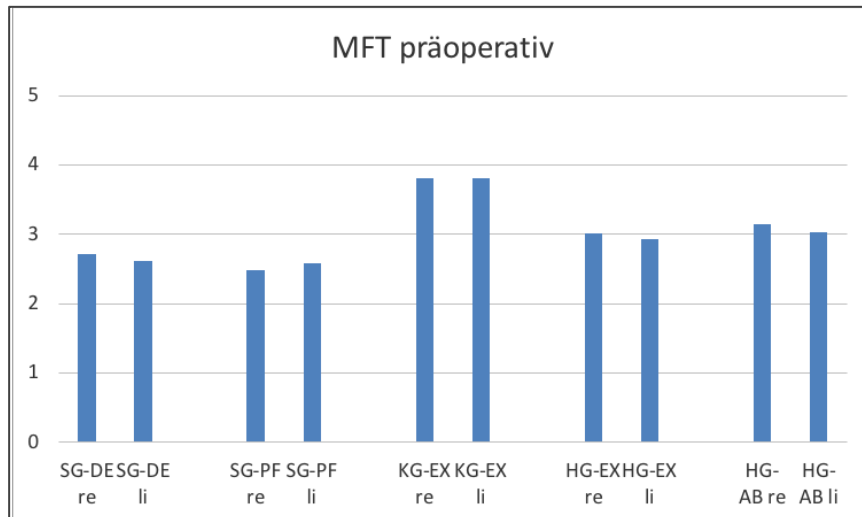


Abbildung 12: Kraftmessung (MFT) vor der Operation in den Sprunggelenk-Dorsalextensoren (SG-DE), Sprunggelenk-Plantarflexoren (SG-PF), Kniegelenk-Extensoren (KG-EX), Hüftgelenk-Extensoren (HG-EX) und Hüftgelenk-Abduktoren (HG-AB) für das rechte (re) und linke (li) Bein.

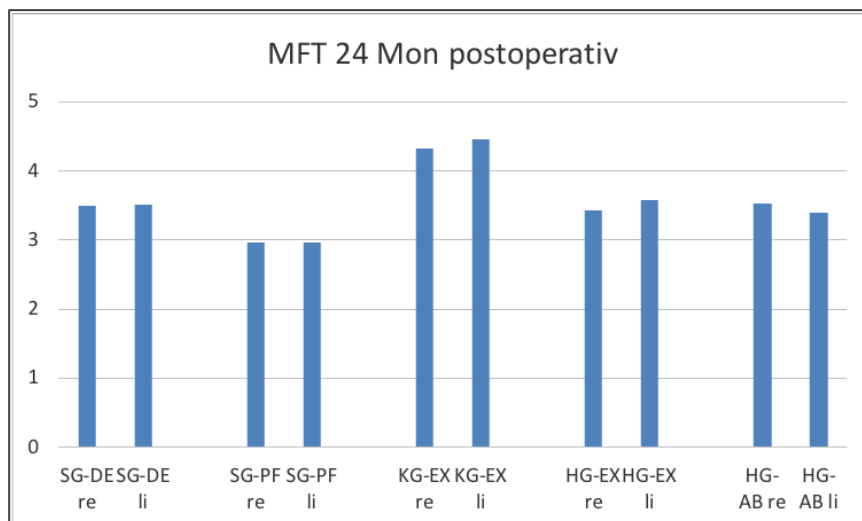


Abbildung 13: Kraftmessung (MFT) nach 24 Monaten post-operativ in den Sprunggelenk-Dorsalextensoren (SG-DE), Sprunggelenk-Plantarflexoren (SG-PF), Kniegelenk-Extensoren (KG-EX), Hüftgelenk-Extensoren (HG-EX) und Hüftgelenk-Abduktoren (HG-AB) für das rechte (re) und linke (li) Bein.

4.7 Body Mass Index (BMI)

Der BMI wurde zu den drei Messzeitpunkten M1 (vor der OP), M2 (nach 12 Monaten) und M3 (nach 24 Monaten) mit Hilfe von Länge und Körpergewicht der Patienten errechnet und an Hand von geschlechtsbezogenen Perzentilen interpretiert. Für 28 von

54 Kindern lagen Messwerte zu allen drei Zeitpunkten vor (siehe Abbildung 14). Davon waren 17 Jungen und 11 Mädchen.

Präoperativ lag die Altersverteilung der Jungen zwischen 3 und 11 Jahren. Die der Mädchen zwischen 4 und 10 Jahren. Tabelle 47 und 48 zeigen Mittelwert und Standardabweichung des BMI für die jeweiligen Messpunkte.

Tabelle 47: Mittelwert und Standardabweichung (SD) des BMI (Body Mass Index) der Jungen zu den drei Messzeitpunkten. M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).

BMI-Jungen	N	Mittelwert	SD
M1	17	16,2	1,3
M2	17	16,4	1,4
M3	17	17,1	1,8

Tabelle 48: Mittelwert und Standardabweichung (SD) des BMI (Body Mass Index) der Mädchen zu den drei Messzeitpunkten. M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP), M3 (24 Monate post OP), N (Anzahl).

BMI-Mädchen	N	Mittelwert	SD
M1	11	15,6	1,8
M2	11	16,7	3,3
M3	11	18,0	3,8

Auf den Perzentilen der Jungen zwischen dem 3 und 11 Lebensjahr liegt der Mittelwert des BMI zu jederzeit der Messungen im Normbereich (10-90. Perzentile). Eine geringfügige Steigerung des BMI über die 24 Monate kann entsprechend der Wachstumsperzentilen dargestellt werden (siehe Abbildung 15). Auch für die Mädchen liegt der Mittelwert des BMI verglichen mit den Perzentilen zwischen dem 4 und 10 Lebensjahr zu jederzeit im Normbereich (siehe Abbildung 16). Insgesamt lässt sich für die Mädchen ein größerer Zuwachs im BMI über die 24 Monate beobachten als bei den Jungen.

Errechnet man für die gesamte Gruppe den BMI SDS (Standarddeviation Score), so liegt dieser vor der Operation bei 0,05 und nach 24 Monaten bei 0,31. Mit Hilfe des BMI SDS wird ermittelt wieviel ein individueller BMI über oder unter dem alters- und geschlechterspezifischen Median liegt. In unserer Studiengruppe zeigen sich in diesem Bereich keine nennenswerten Abweichungen.

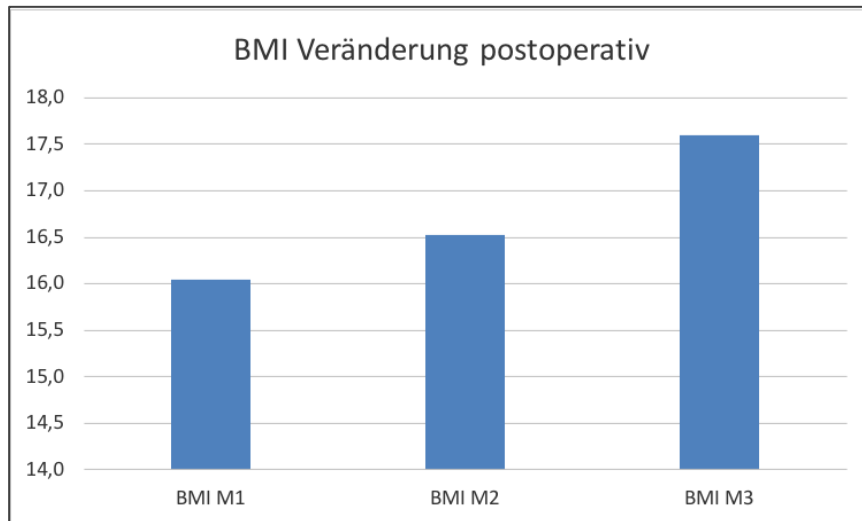


Abbildung 14: Verlauf des BMI (Body Mass Index) über die drei Zeitpunkte M1 (prae OP), M2 (12 Monate post OP) und M3 (24 Monate post OP).

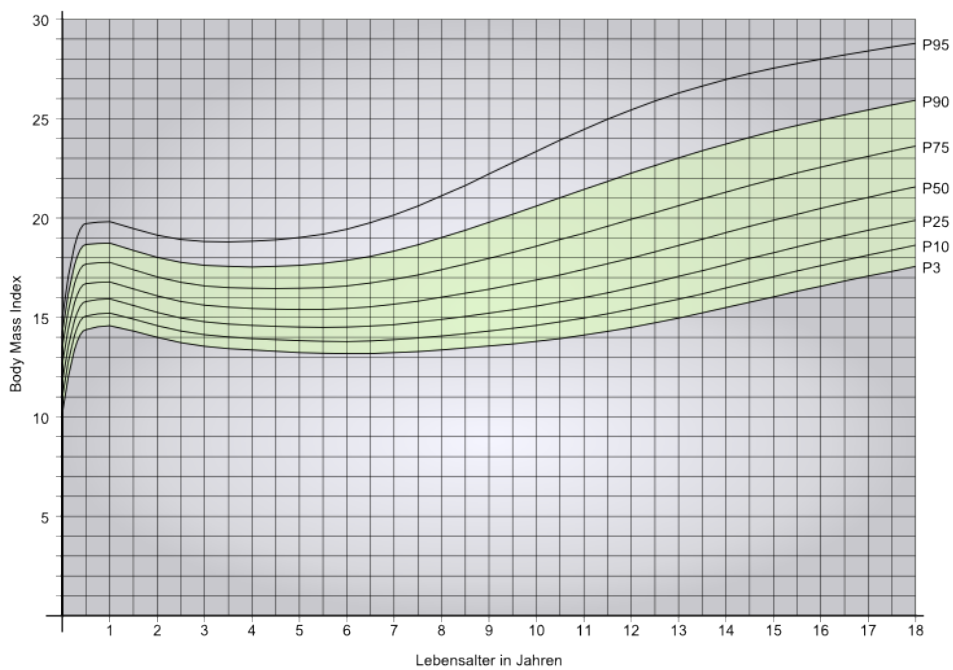


Abbildung 15: BMI (Body Mass Index) Perzentilen für Jungen.

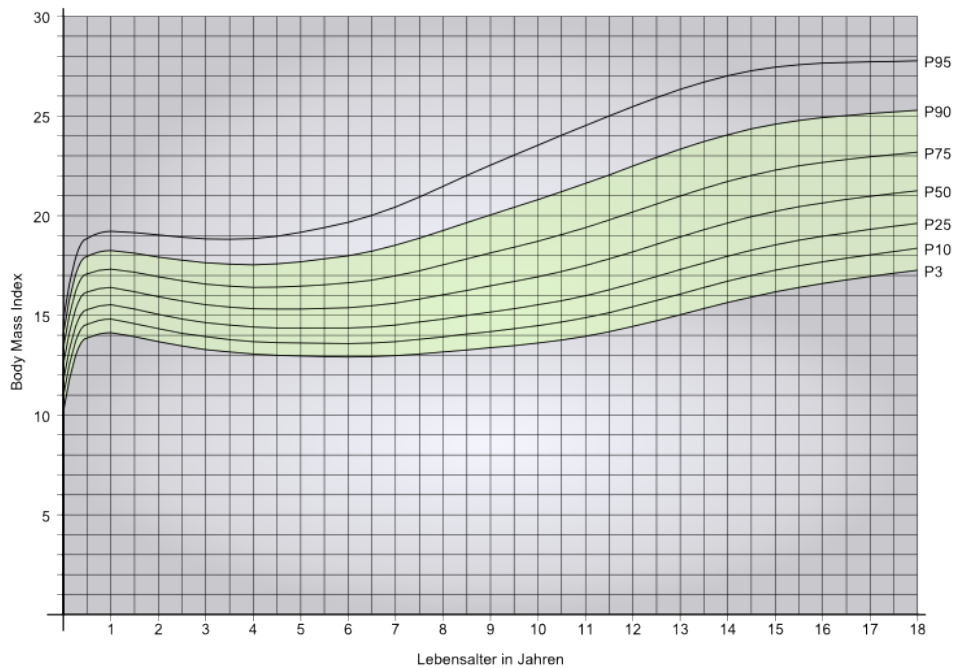


Abbildung 16: BMI (Body Mass Index) Perzentilen für Mädchen.

4.8 Korrelationsanalyse zwischen der Differenz des GMFM-G und Z postoperativ und den Parametern des Assessments

Um einen möglichen Zusammenhang zwischen der motorischen Verbesserung der Kinder im postoperativen Verlauf und den prä- und postoperativ erhobenen Parametern des Assessments darzustellen, wurde eine Korrelationsanalyse durchgeführt. Die Tabelle 49 zeigt eine Zusammenfassung aller Korrelationskoeffizienten und ihre jeweilige statistische Signifikanz. Die signifikanten Werte sind fett gedruckt.

Tabelle 49: Darstellung des Zusammenhangs zwischen der Veränderung um GMFM-G und Z (Gross Motor Function Measure Gesamt und Zielbereich) und den Parametern des Assessments mit Hilfe des Korrelationskoeffizienten (r) und der Testung auf Signifikanz (p-Wert). OP (Operation), PVL (Periventriculäre Leukomalazie), BMI (Body Mass Index), SDS (Standard Deviation Score), MAS (Modifizierte Ashworth Skala), ADD (Adduktoren), Ischio (Ischiokrurale Muskulatur), Gastro (Musculus Gastrocnemius), MFT (Muskelfunktionstest), HG (Hüftgelenk), EX (Extensoren), ABD (Abduktoren), KG (Kniegelenk), SG (Sprunggelenk), DE (Dorsalextensoren), PF (Plantarflexoren). Teile der Tabelle aus der Arbeit der Gruppe Funk et al. (2015).

	Differenz GMFM-G				Differenz GMFM-Z			
	0–12 Monate		0–24 Monate		0–12 Monate		0–24 Monate	
	r	p	r	p	r	p	r	p
Alter bei OP	-0.029	0.752	-0.425	0.001	-0.332	0.002	-0.429	0.001
PVL bei OP	0.421	0.000	0.445	0.000	0.387	0.000	0.406	0.000

	Differenz GMFM-G				Differenz GMFM-Z			
	0–12 Monate		0–24 Monate		0–12 Monate		0–24 Monate	
	r	p	r	p	r	p	r	p
BMI prae OP	0.106	0.348	0.089	0.466	0.164	0.144	0.032	0.785
BMI SDS prae OP	0.225	0.045	0.294	0.016	0.266	0.017	0.237	0.045
MAS ADD prae-OP	-0.233	0.063	-0.150	0.250	-0.264	0.050	-0.031	0.806
MAS ADD post-OP	-0.096	0.447	-0.162	0.216	-0.196	0.158	-0.081	0.526
MAS Ischio prae-OP	-0.290	0.024	-0.054	0.689	-0.263	0.057	-0.093	0.474
MAS Ischio post-OP	-0.272	0.029	-0.197	0.138	-0.248	0.070	-0.182	0.157
MAS Gastro prae-OP	0.047	0.815	0.104	0.612	0.055	0.803	0.285	0.158
MAS Gastro post-OP	0.155	0.431	-0.040	0.841	-0.054	0.804	0.020	0.920
GMFM-G prae-OP	-0.260	0.006	-0.530	0.000	-0.409	0.000	-0.487	0.000
GMFM-Z prae OP	-0.243	0.009	-0.428	0.000	-0.428	0.000	-0.511	0.000
MFT HG-EX prae-OP	-0.102	0.335	-0.058	0.659	-0.099	0.373	-0.095	0.460
MFT HG-EX post-OP	-0.159	0.168	0.004	0.977	-0.238	0.083	-0.070	0.651
MFT HG-ABD prae-OP	-0.203	0.061	-0.168	0.213	-0.176	0.123	-0.162	0.298
MFT HG-ABD post-OP	-0.060	0.588	-0.209	0.153	-0.188	0.160	-0.241	0.092
MFT KG-EX prae-OP	-0.136	0.199	-0.126	0.347	-0.139	0.213	-0.165	0.199
MFT KG-EX post-OP	0.096	0.378	-0.055	0.704	-0.024	0.857	0.011	0.937
MFT SG-DE prae-OP	-0.244	0.036	-0.352	0.018	-0.279	0.023	-0.418	0.003
MFT SG-DE post-OP	0.023	0.857	0.084	0.581	0.000	1.000	0.109	0.453
MFT SG-PF prae-OP	-0.251	0.045	-0.214	0.178	-0.238	0.077	-0.299	0.054
MFT SG-PF post-OP	0.180	0.198	0.125	0.467	0.074	0.645	0.269	0.108
ROM HG-ABD prae-OP	0.095	0.565	0.169	0.525	0.093	0.622	0.096	0.647
ROM HG-ABD post-OP	0.386	0.037	0.223	0.104	0.215	0.111	0.188	0.133
ROM KG-EX prae-OP	0.022	0.071	-0.218	0.008	-0.089	0.653	-0.187	0.135
ROM KG-EX post-OP	0.289	0.006	0.102	0.203	0.224	0.008	0.003	0.899
ROM SG-DE prae-OP	-0.152	0.231	-0.220	0.184	-0.281	0.005	-0.231	0.006
ROM SG-DE post-OP	-0.177	0.211	-0.084	0.674	-0.211	0.057	-0.129	0.269

Im Anschluss wurden die Kinder, die eine Verbesserung im GMFM-G und Z über 6% zeigten auf ihre präoperativen motorischen Werte hin untersucht. Es zeigte sich, dass Kinder mit einer mehr als 6%igen Veränderung im Gesamtwert vor der Operation einen

Mittelwert im GMFM-G um 68% erreichten (siehe Abbildung 18). Für den Zielbereich lagen die Kinder mit einer Verbesserung über 6% vor der Operation bei einem Mittelwert um 54% (siehe Abbildung 17). Die präoperativen motorischen Werte der Kinder mit einer mindestens 6% Verbesserung waren damit signifikant niedriger, als die der Kinder mit einer Verbesserung kleiner 6%.

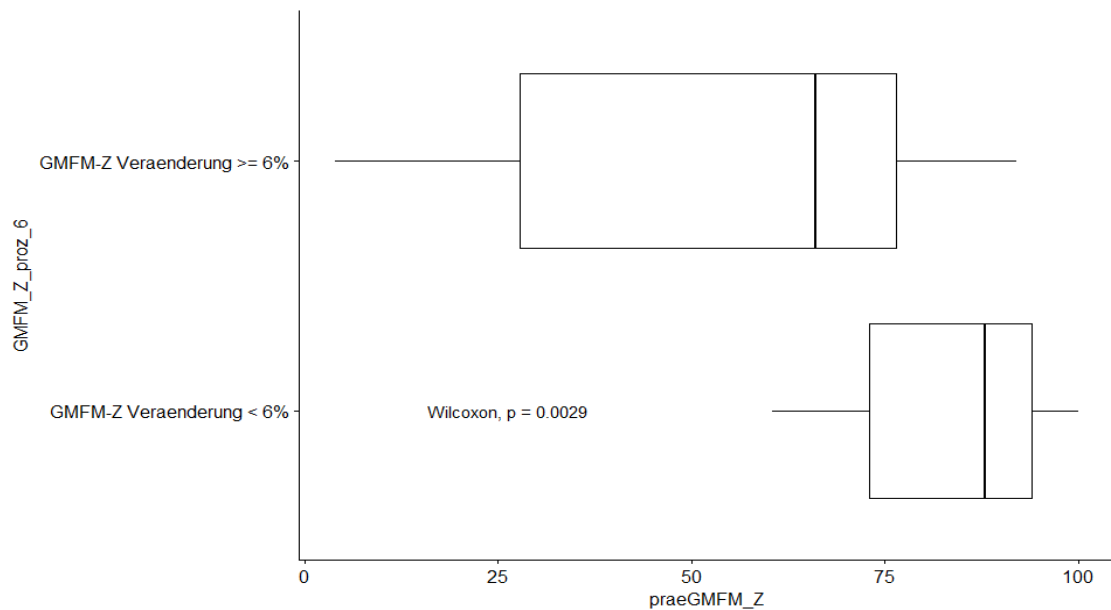


Abbildung 17: Boxplot für die Darstellung des Zusammenhangs zwischen der Veränderung im GMFM-Z nach OP über 6% und GMFM-Z vor OP und Testung Signifikanz (p-Wert). GMFM-Z (Gross Motor Function Measure Zielbereich), OP (Operation).

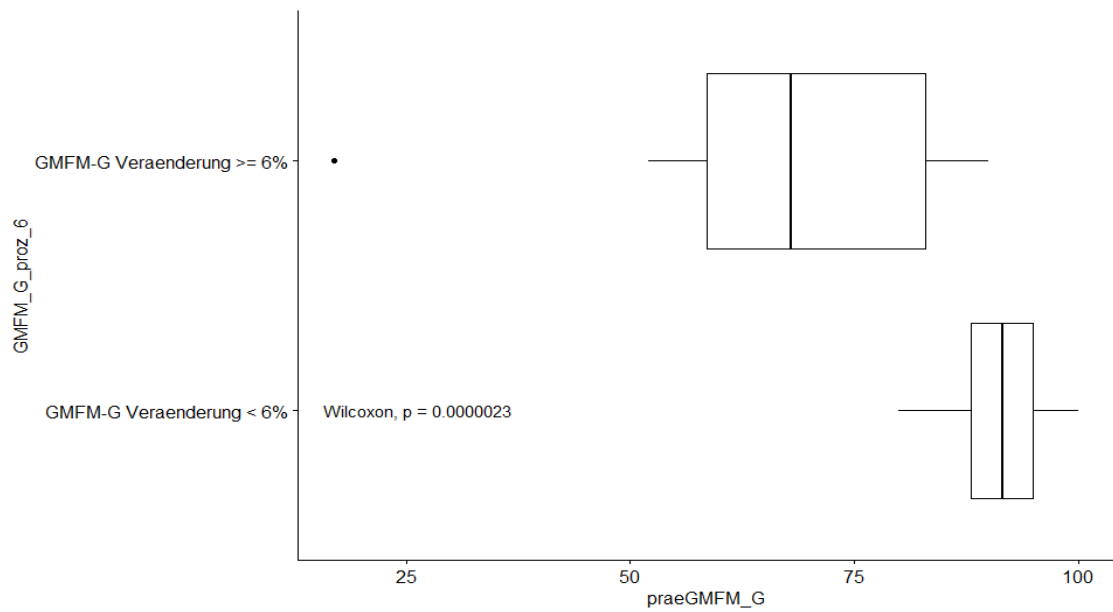


Abbildung 18: Boxplot für die Darstellung des Zusammenhangs zwischen der Veränderung im GMFM-G nach OP über 6% und dem GMFM-G vor OP und Testung auf Signifikanz (p-Wert). GMFM-G (Gross Motor Function Measure Gesamt), OP (Operation).

5 Diskussion

5.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Zeitraum zwischen Februar 2008 und März 2011 wurde an 74 Kindern in Berlin eine selektive dorsale Rhizotomie durchgeführt. An Hand der Daten von 54 Kindern konnte der Spastik senkende Effekt der Operation belegt werden und eine Steigerung der motorischen Fähigkeiten im mittelfristigen Verlauf bei den Kindern gezeigt werden. Postoperativ wurden ebenfalls ein Zuwachs der Kraft und der passiven Gelenkbeweglichkeit festgestellt. Signifikante Korrelationen zwischen der motorischen Verbesserung und dem Alter der Patienten bei OP, dem GMFM-G und Z vor OP, dem Nachweis einer PVL im MRT und der Kraft in den Dorsalextensoren konnten errechnet werden. Die Kinder, die im Verlauf eine klinisch relevante motorische Verbesserung über 6% sowohl in der Gesamtwertung als auch im Zielbereich zeigten, hatten vor der OP signifikant niedrigere GMFM-G und Z Werte, als die Kinder, die sich weniger als 6% verbesserten.

5.2 Verwendete Methodik

5.2.1 Patientenkollektiv

In der vorliegenden Studie wurde eine Gruppe von 74 Kindern operiert und über einen Zeitraum von 24 Monaten nachuntersucht, damit umfasst die Studiengruppe Haberl et al. im Vergleich mit anderen europäischen Zentren wie z.B. Lund (Schweden) mit 35 Patienten und Amsterdam (Niederlande) mit 33 Patienten ein großes Patientenkollektiv (Grunt *et al.*, 2011; Nordmark *et al.*, 2008).

Für die statistischen Berechnungen standen die Untersuchungsdaten von insgesamt 54 Patienten zur Verfügung, aus denen nur die vollständigen Datenreihen für die jeweilige Berechnung ausgewählt wurden. Von acht Kindern fehlten die Patientenakten, 12 Patienten erschienen nicht zu den Follow-up-Untersuchungen. Als Hauptgrund dafür wurde der lange Anfahrtsweg gesehen. Da ein Teil der Patienten nicht aus Berlin, sondern aus verschiedenen Regionen Deutschlands stammte, waren die Untersuchungen für die betroffenen Familien zum Teil mit einem erheblichen Zeitaufwand verbunden. Ein Zusammenhang zwischen dem GMFCS-Level vor der Operation und dem Ausscheiden aus der Studie war dabei nicht zu erkennen, da sich

unter den betroffenen Patienten gleich viele motorisch fortgeschrittene wie eingeschränkte Kinder befanden. Das häufige Auftreten von Lücken innerhalb einer Datenreihe wurde auf die zeitliche Dauer der Untersuchung zurückgeführt. Ein kompletter Nachuntersuchungstermin für einen Patienten dauerte im Schnitt zwei Stunden, teilweise auch länger. Die meisten Patienten befanden sich in einem Alter zwischen vier und acht Jahren und zeigten Probleme in der Compliance über die Gesamtdauer der Testung. Eine Verkürzung des Assessments als Ganzes oder eine Verteilung der Testung auf zwei Termine könnte eventuell zu einer Verbesserung der Compliance und damit zu vollständigeren Datensätzen führen.

5.2.2 Auswahl der Messinstrumente

Die verwendeten Messinstrumente wurden vor Beginn der Studie an Hand der aktuellen Literatur und entsprechend der Ausstattung des SPZ ausgewählt. Es wurde versucht, ein multidimensionales Assessment zusammenzustellen, um möglichst viele Dimensionen des aktuell gültigen ICF-Modells der WHO abzudecken. Um das Zusammenspiel aus reduzierter Spastizität, vergrößertem Gelenkspiel und zunehmender Kraft in seiner Bedeutung für den motorischen Erfolg der Patienten zu untersuchen, enthielt das Assessment deutlich mehr Messinstrumente für den Bereich Körperstrukturen und Funktion als für die Dimensionen Aktivität oder Teilnahme. Für weitere Studien der Berliner Gruppe wäre der zusätzliche Einsatz des PEDI denkbar, um die Erfolge im Bereich der Selbstständigkeit und Körperpflege besser darzustellen und auch den Blickwinkel der betreuenden Personen auf das Kind zu integrieren. Die Auswertung der Lebensqualität der Patienten mit dem Disabkids- und Kidscreenfragebogen ist bereits Gegenstand einer anderen Arbeit.

5.2.2.1 GMFM-88

Der GMFM-88 ist von allen ausgewählten Messinstrumenten, das einzige standardisierte und validierte und wird daher von den meisten Studiengruppen international bei der Untersuchung der Grobmotorik von Kindern mit ICP verwendet (Tedroff *et al.*, 2011; Mittal *et al.*, 2002; McLaughlin, 1998; Ross and Engsberg, 2007; Dudley *et al.*, 2013; Josenby *et al.*, 2012; Nordmark *et al.*, 2008; Farmer and Sabbagh, 2007; Grunt *et al.*, 2011; Bolster *et al.*, 2013; Chan *et al.*, 2008; Engsberg *et al.*, 2006; Carraro *et al.*, 2014; van Schie *et al.*, 2011; Steinbok *et al.*, 1997; Wright *et al.*, 1998). Er gilt aktuell als der Goldstandard zur Beurteilung der grobmotorischen Funktion von

Kindern mit ICP (Lundkvist Josenby *et al.*, 2009). Der GMFM liefert Informationen über die Dimensionen Aktivität und Teilnahme des ICF- Modells. Seine Anwendung ermöglicht die Vergleichbarkeit der Arbeiten dieser Studiengruppe mit den Daten anderer Zentren. Aus diesem Grund sollte trotz seiner Komplexität nicht auf ihn verzichtet werden. Der Wechsel zu der Variante mit nur 66 Testaufgaben könnte eine Möglichkeit sein, in Zukunft die Compliance der jungen Patienten zu verbessern und damit größere Datenlücken zu vermeiden. Der GMFM-66 gilt darüber hinaus als weniger anfällig für ausgelassene Testaufgaben in der Gesamtbewertung. Allerdings zeigt er Veränderungen in der Motorik erst später im Verlauf an, wahrscheinlich da viele Aufgaben aus den Dimensionen Liegen/ Rollen/ Krabbeln und Sitzen gestrichen wurden. Sein Ergebnis wird mittels eines Scores dargestellt, der durch die Gross Motor Ability Estimator Software (GMAE) errechnet wird. Er wird vor allem für wissenschaftliche Verwendung von Daten empfohlen, wenn die technische Ausstattung eines Zentrums die Verwendung der Auswertungssoftware erlaubt (Lundkvist Josenby *et al.*, 2009).

In der vorliegenden Studie wurde die Zieldimension Gehen, Rennen, Springen gesondert betrachtet, um quantitative Informationen über die Entwicklung der Gehfähigkeit zu erlangen. Da die SDR als Gangbild verbessernde Operation durchgeführt wurde, ließen sich bei den Patienten aus der Gruppe GMFCS I-III in dieser Dimension die relevanten Veränderungen erwarten. Um das Gangbild der Patienten in seiner Qualität zu beurteilen, ist eine 3D-Ganganalyse im Ganglabor notwendig, diese stand zum Zeitpunkt der Evaluation der hier untersuchten Patienten nicht zur Verfügung. Die Untersuchung der Patienten im Ganglabor wäre insgesamt wünschenswert, allerdings gilt es zu bedenken, dass dieses aufwendige Verfahren die Gesamtdauer eines Nachuntersuchungstermins verlängern würde und so die Compliance der Patienten senken könnte.

5.2.2.2 MAS

Die modifizierte Ashworth-Skala für die Einschätzung der Spastizität ist ebenfalls ein international verbreitetes Messinstrument und ermöglicht die Vergleichbarkeit zu anderen Studien. Die MAS ist ein Test für die Darstellung von Veränderungen im Bereich Körperstruktur und Funktion. Der Test ist standardisiert, aber nicht validiert und hat daher eine insgesamt schwächere Aussagekraft. Kein anderer Test der Spastizität

lässt sich allerdings so schnell und effektiv im Rahmen der körperlichen Untersuchung der Patienten durchführen und zeigt damit eine besonders hohe Praktikabilität (Hagglund and Wagner, 2008). Die Validität der MAS wurde von einigen Studiengruppen bereits untersucht. Die Gruppe Leonard et al. verglich die Anwendung der MAS mit den Messungen eines Myometers des M. Biceps Brachii und konnte moderate Korrelationen zwischen den Methoden feststellen (Leonard *et al.*, 2001). Die Gruppe Skold et al. (1998) verglich EMG-Messungen des Quadriceps bei Patienten mit Rückenmarksläsionen mit den jeweils ermittelten Werten der MAS. Auch hier wurden positive Korrelationen zwischen den Methoden festgestellt und die MAS spiegelte das Ausmaß der mit dem EMG gemessenen auffälligen Reaktionsmuster der Muskulatur korrekt wieder (Skold *et al.*, 1998). Die Tardieu-Skala gilt als besser geeignet Spastizität zu messen und von Kontrakturen zu unterscheiden (Patrick and Ada, 2016), wird aber international weniger häufig verwendet.

5.2.2.3 Passive Gelenkbeweglichkeit

Als Ergänzung der Testung der zwei zentralen Punkte Spastizität und Grobmotorik der Patienten wurde die passive Gelenkbeweglichkeit mittels Neutral-Null-Methode untersucht. Das Testverfahren ist ebenfalls standardisiert, aber nicht validiert. Es bietet die einfache, schnelle und nicht-invasive Möglichkeit den Gelenkstatus eines Patienten darzustellen und Fortschritte nach physiotherapeutischer oder operativer Intervention zu dokumentieren. Die passive Gelenkmessung liefert hingegen keine sichere Information über die Ursache einer Bewegungseinschränkung.

5.2.2.4 Messung der groben Kraft

Auch die Messung der Kraft nach Daniels und Worthingham wurde als ergänzende Testung in das Assessment integriert. Der Test ist standardisiert, aber nicht validiert und wird in Studien eher seltener verwendet. Die grobe Ermittlung der Maximalkraft mittels manueller isometrischer Messung liefert orientierende Information über das willkürlich aktivierbare Kraftpotential eines Patienten. Allerdings erlaubt es keinen Rückschluss auf deren Umsetzung in alltägliche Aktivitäten. In einigen Zentren wurde die Kraft mit Hilfe eines Dynamometers ermittelt (Ross and Engsborg, 2007). Bohannon (2001) verglich in einer Arbeit die manuelle Muskelfunktionstestung mit der Krafttestung mittels Dynamometer an den Extensoren des Kniegelenks. In seiner Studie konnte er darstellen, dass beide Methoden vergleichbare Ergebnisse erzielten. Veränderungen in

den hohen Kraftgraden ließen sich allerdings zuverlässiger mit dem Dynamometer darstellen. Der Einsatz eines Dynamometers für die Berliner Studiengruppe könnte für die Zukunft erwogen werden. Die Gruppe Farmer und Sabbagh (2007) folgte bei der Kraftmessung der New York University Evaluation Form. Es wurde jeweils ein Score für die Stabilität und Qualität der Körperaufrichtung vergeben, so wie für die Ausführung von Bewegungsübergängen. Es wurden Verbesserung in allen drei Punkten innerhalb des ersten Jahres post-OP verzeichnet (Farmer and Sabbagh, 2007). Diese Art der Testung verbindet bereits in sich Kraft und Funktion, wäre aber parallel zum GMFM eine doppelte Testung und daher aus zeitlichen Gründen für die Berliner Studiengruppe nicht sinnvoll.

5.2.2.5 BMI

Die Messung des BMI wurde ergänzend in das Assessment mit aufgenommen, um die Hypothese anderer Studiengruppen zu überprüfen die Patienten mit ICP würden nach Reduktion der Spastizität einen geringeren Energieverbrauch haben und daher nach erfolgter SDR an Gewicht zunehmen. Eine praktisch leicht umzusetzende und trotzdem aussagekräftige Maßnahme war die Ermittlung des BMI während der körperlichen Untersuchung. Mit der Anwendung der BMI SDS konnte besonders gut die Veränderung des BMI über einen längeren Zeitraum verfolgt werden (Kromeyer-Hauschild, 2018).

5.2.3 Statistische Analyse

Bei der Beantwortung der Frage nach kausalen Zusammenhängen zwischen dem motorischen Erfolg nach SDR und den Parametern des Assessments wurde zunächst eine Korrelationsanalyse durchgeführt und die Korrelationskoeffizienten auf Signifikanz getestet. Eine Korrelation beschreibt allerdings nur das Verhalten zweier Parameter zu einander, aus dem Ergebnis lässt sich damit noch kein kausaler Zusammenhang ableiten. Die Korrelationsanalyse ist trotzdem ein Verfahren mit dem aus einer Vielzahl verschiedener Parameter, einzelne relevante ausgewählt werden können, um diese dann in einer sich anschließenden Regressionsanalyse auf ihren prädiktiven Vorhersagewert hin zu untersuchen. Die Regressionsanalyse ist ein komplexes Verfahren, in dem der Einfluss mehrerer unabhängiger Variablen auf eine abhängige Variable untersucht wird, um daraus einen kausalen Zusammenhang abzuleiten. Um

eine Regressionsanalyse verlässlich durchzuführen, sollten möglichst wenige unabhängige Parameter in das Modell integriert werden.

5.2.4 Limitierungen

Die Hauptlimitierung dieser Studie ist das Fehlen einer auf Alter, Geschlecht und Diagnose angepassten Kontrollgruppe. Der Einfluss anderer relevanter Parameter außer der SDR auf die beschriebenen Veränderungen kann so nur bis zu einem bestimmten Grad hin bestätigt werden. Allerdings erschien es der Studiengruppe unethisch, geeignete Kandidaten von der SDR auszuschließen, nur um sie der Kontrollgruppe zuordnen zu können.

Eine weitere Limitierung liegt in der Verwendung wenig objektiver Messinstrumente wie die modifizierte Ashworth Skala, die Muskelfunktionsprüfung und Messung der passiven Gelenkbeweglichkeit. Diese Untersuchungen sind allerdings klinischer Standard und stehen auch bei wenigen Ressourcen zur Verfügung. Erste Schritte hin zum Einsatz objektiverer Messmethoden wurden mit der Einführung der 3D-Ganganalyse bereits eingeleitet.

5.3 Ergebnisdiskussion

5.3.1 Ergebnis der Messung der Spastizität

Das primäre Ziel der SDR ist die dauerhafte Senkung des Tonus in der spastischen Muskulatur der unteren Extremität bei Patienten mit spastischer ICP (Peacock and Staudt, 1991). In der vorliegenden Studie konnte die Spastizität der Adduktoren und der ischiokruralen Muskulatur beider Beine signifikant gesenkt werden. Für den M. Gastrocnemius konnte die Senkung der Spastizität in der deskriptiven Statistik gezeigt werden. Damit decken sich grundsätzlich unsere Ergebnisse mit denen anderer Studiengruppen (Tedroff *et al.*, 2011; McLaughlin, 1998; Engsberg *et al.*, 2006; Bolster *et al.*, 2013; Farmer and Sabbagh, 2007; Steinbok *et al.*, 1997; Wright *et al.*, 1998).

In der mittelfristigen Nachuntersuchung konnte gezeigt werden, dass der Spastik reduzierende Effekt gleichbleibend über eine Dauer von 24 Monaten postoperativ erhalten blieb. Im weiteren Verlauf muss untersucht werden, ob die Spastizität auch dauerhaft reduziert bleiben wird, wie andere Gruppen schon gezeigt haben. In den Nachuntersuchungen 10 Jahre post OP der Gruppe Tedroff *et al.* (2011) konnte eine

signifikante Senkung der Spastizität der Hüftgelenksadduktoren gezeigt werden. Eine teilweise Rückkehr der Spastizität wurde hingegen für die ischiokrurale Muskulatur und den M. Gastrocnemius beschrieben, deren Werte aber immer noch signifikant unter dem Ausgangswert lagen (Tedroff *et al.*, 2011). Die Gruppen Nordmark *et al.* (2008) und Gul *et al.* (1999) beschreiben ihrerseits eine anhaltende Senkung der Spastizität in allen drei Muskelgruppen über fünf Jahre post OP, die Gruppe Dudley *et al.* (2013) sogar über einen Zeitraum von 15-Jahren post OP.

Im Gegensatz dazu wurde in einer Studie der Gruppe Hagglund und Wagner (2008) an Hand einer großen schwedischen Kohorte der natürliche Verlauf der Spastizität ohne Intervention bei Kindern mit ICP mit fortschreitendem Alter beobachtet. Die Gruppe kam zu dem Ergebnis, dass Kinder mit ICP in der Regel als Säuglinge keine Tonusauffälligkeiten zeigten oder hypoton erschienen (Hagglund and Wagner, 2008). Mit dem vierten Lebensjahr erreichte die Entwicklung der Spastizität ihren Höhepunkt, um bis zum 12 Lebensjahr auch ohne therapeutisches Eingreifen wieder langsam nachzulassen (Hagglund and Wagner, 2008). Zusätzlich waren in die Beobachtung der Spastizität aller Langzeitstudien zum Thema SDR spätestens nach drei Jahren post-OP weitere operative Maßnahmen miteingeschlossen, wie z.B. die Anwendung von Botulinumtoxin oder verschiedene Weichteileingriffe. Es lässt sich also nicht abschließend sagen, ob der dauerhaft Spastik reduzierende Effekt auf der SDR alleine beruht. In den drei amerikanischen randomisierten Studien konnte durch den Vergleich mit einer Kontrollgruppe nur für den kurzzeitigen Verlauf von 12 Monaten post OP ein signifikanter Unterschied zwischen der Entwicklung der Spastik mit und ohne SDR gezeigt werden (McLaughlin, 1998; Steinbok *et al.*, 1997; Wright *et al.*, 1998). Eine Fortsetzung dieser Studien in der Langzeitbeobachtung könnte dazu wichtige Erkenntnisse liefern.

In der vorliegenden Studie lagen zum Zeitpunkt der Auswertung nur unvollständige Datensätze für die Untersuchung des M. Gastrocnemius vor. In einer weiteren Veröffentlichung der Berliner Studiengruppe mit Daten über einen späteren Zeitraum, zeigte sich auch für diese Muskelgruppe eine signifikante und über 24 Monate anhaltende Senkung der Spastizität (Sargut *et al.*, 2018). In der graphischen Darstellung fiel auf, dass in unserer Studiengruppe der M. Gastrocnemius, die am schwersten betroffene Muskelgruppe vor der Operation war, die postoperativ die größte Veränderung zeigte, was auch andere Gruppen darstellen konnten (Carraro *et al.*,

2014; Tedroff *et al.*, 2011; Peacock and Staudt, 1991). Dem gegenüber hält sich jedoch die Annahme der Gruppe Mittal *et al.* (2002) die Adduktorengruppe repräsentiere generell den Grad der Spastizität der unteren Extremität. Diese Beobachtung kann in der vorliegenden Studie nicht gestützt werden.

5.3.2 Ergebnis der Messung der motorischen Fähigkeiten (GMFM)

Das Ziel der SDR ist die Verbesserung motorischer Fähigkeiten durch die Senkung der Spastizität in der unteren Extremität. Die Berliner Studiengruppe erreichte eine statistisch signifikante Verbesserung des GMFM-G um 4,6 % nach 12 Monaten und insgesamt um 6,6 % nach 24 Monaten. Sie liegt damit oberhalb der 6% Verbesserung, die von der Gruppe Russell *et al.* (1989) als klinisch relevant angesehen wird, wenn sie in der Gesamtwertung oder in einem Zielbereich alleine erzielt wird. Mit einem Mittelwert von 78,6% im GMFM-G vor der Operation schneidet die untersuchte Patientengruppe insgesamt motorisch gut ab. Stellt man dem GMFM-Gesamtwert das Ergebnis des GMFM-Zielbereiches gegenüber, so zeigt sich mit einem präoperativen Mittelwert von 60,0 % die motorische Beeinträchtigung der Patienten in dem Bereich Gehen, Rennen und Springen deutlicher. Mit einer postoperativen Veränderung um 14.2 % im ausgesuchten Zielbereich zeigt sich, dass der Zuwachs an motorischen Fähigkeiten besonders auf dieser Ebene zu verzeichnen ist. Auch konnten insgesamt 78% der Patienten eine klinisch relevante Verbesserung über 6% im Zielbereich zeigen, wohin gegen sich nur insgesamt 49% der Patienten über 6% im Gesamtwert verbesserten. Als Einschlusskriterium in die Studie wurde eine gute Gehfähigkeit oder ein GMFCS-Level von mindestens III vorausgesetzt, mit der Erwartung, dass sich vor allem die Gehfähigkeit oder auch das Gangbild durch die Operation verbessern wird. Diese Erwartung wird durch die Ergebnisse der vorliegenden Studie bestätigt.

In den drei randomisierten Studien der Gruppen Wright *et al.* (1998), Steinbok *et al.* (1997) und McLaughlin *et al.* (1998) wurde der Effekt der SDR begleitet von Physiotherapie und der Effekt von Physiotherapie allein einander gegenübergestellt. In den Studien von Wright und Steinbock war der Effekt auf die motorische Funktion nach SDR statistisch signifikant höher als nach physiotherapeutischer Intervention allein. In der SDR-Gruppe konnten Veränderungen des GMFM-G im Mittel um 11,3% bzw. 12,1% dargestellt werden, im Gegensatz zu den Physiotherapiegruppen mit Verbesserungen um 5,2% und 4,4%. In der Studie von McLaughlin konnte kein

statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen erfasst werden. Die Gruppe nach SDR verbesserte sich um 7,2% und die Physiotherapiegruppe um 7,0%. Die Berliner Studiengruppe liegt im Vergleich mit ihren Ergebnissen eher im Bereich der Gruppe von McLaughlin. Wenn man von allen Gruppen die Ausgangswerte des GMFM-G vor der Operation vergleicht, so haben die Gruppen Steinbok und Wright mit 56,4% und 52,7% motorisch eingeschränkte Patienten. Die Patienten von McLaughlin (70,7%) und der Berliner Gruppe (78,6 %) liegen im Mittel deutlich darüber, so dass die Vermutung nahe liegt, dass Kinder mit einem niedrigeren GMFM-G Ausgangswert zu mehr Entwicklung fähig sind als Kinder mit einem hohen Ausgangswert. Allerdings enthalten alle drei amerikanischen Studien jeweils einen hohen Anteil an Kindern, die keine Läufer sind, was in der vorliegenden Studie ein Ausschlusskriterium darstellte, so dass die Vergleichbarkeit der Studien an dieser Stelle erschwert ist.

Eine klare Schwäche der vorliegenden Arbeit ist das Fehlen einer Kontrollgruppe. So lässt sich nicht feststellen, ob die gemessene motorische Verbesserung auf die Operation oder die intensive Physiotherapie im Anschluss an die Operation zurückzuführen ist. Die Gruppe Bolster et al. (2013) versuchte zu einem, für diese Studie, späteren Zeitpunkt das Problem der mangelnden Kontrollgruppe zu lösen, indem sie den Langzeiteffekt der SDR ihrer Patientengruppe an individuellen Perzentilen verglich. Die Perzentilen wurden anfänglich von der Gruppe Rosenbaum et al. (2002) für die einzelnen GMFCS-Level auf dem Boden des GMFM-66 Scores und dem Alter der Kinder erstellt und von der Gruppe Hanna et al. (2008) in der Anwendung weiterentwickelt. Der Vergleich des Operationserfolges an Hand von Perzentilen erlaubt eine individuellere Einschätzung für jedes einzelne Kind und ist eine Möglichkeit den Mangel einer Kontrollgruppe teilweise zu kompensieren.

Auch andere nicht-randomisierte Studien konnten eine signifikante Verbesserung der motorischen Funktion nach SDR zeigen. Im internationalen Vergleich zeigt die Berliner Gruppe ähnliche Ergebnisse wie die Gruppe von Engsborg et al. (2006). In der Studie aus St. Louis wurde innerhalb von 20 Monaten eine mittlere Veränderung des GMFM-G um 5% verzeichnet (Engsborg *et al.*, 2006). Allerdings war die Gruppe präoperativ mit einem GMFM-G von 87% insgesamt motorisch fortgeschrittener. Die Gruppe Mittal et al. (2002) startete mit einer motorisch eingeschränkten Gruppe (Mittelwert GMFM-G=64,4% vor OP), zeigte nach 12 Monaten eine ähnliche Verbesserung um 5,4%, aber eine drastischere Verbesserung nach 36 Monaten um weitere 9,2%. Chan et al. (2008)

zeigten präoperativ eine motorisch ähnlich fortgeschrittene Gruppe wie die Berliner Gruppe (GMFM-G= 77,1%), allerdings mit weitaus niedrigerem Zielbereich Gehen, Rennen, Springen (GMFM-Z= 48,6%). Die postoperative Veränderung nach 12 Monaten lag für den GMFM-G bei 3,8% und für den GMFM-Z bei 5,8%, so dass sich für diese Gruppe ein weitaus geringerer motorischer Effekt erzielen ließ.

Mögliche Ursachen für die zum Teil so unterschiedlichen Ergebnisse können in den Bereichen 1) Operationstechnik und Einsatz der intraoperativen EMG, 2) Anwendung unterschiedlicher Selektionskriterien, 3) postoperatives Physiotherapieregime und 4) Verwendung unterschiedlicher Messinstrumente gefunden werden (Cole *et al.*, 2007). Die einzelnen Bereiche werden kontrovers diskutiert und bleiben auch weiterhin Teil der wissenschaftlichen Forschung.

Da sich in der Nachuntersuchung nach 24 Monaten in der Berliner Gruppe eine weitere Verbesserung des GMFM-G verzeichnen ließ, stellt sich die Frage, ob auch in der Langzeitbeobachtung nach 5 oder 10 Jahren mit weiterer motorischer Entwicklung gerechnet werden kann. Studien mit Langzeiterfahrungen lassen vermuten, dass eine Verbesserung der motorischen Funktion auch über diesen Zeitraum hinaus möglich ist (Tedroff *et al.*, 2011; Mittal *et al.*, 2002; Bolster *et al.*, 2013; Dudley *et al.*, 2013; Nordmark *et al.*, 2008; Josenby *et al.*, 2012). In den genannten Langzeitstudien zeigt sich der Erfolg vor allem innerhalb der ersten drei Jahre. Danach wird häufig ein erneutes Absinken im GMFM-G beobachtet, der im Resultat allerdings noch signifikant über dem Ausgangswert liegt. In einer Studie der Gruppe Maher *et al.* (2007) wurde das Bewegungsverhalten von Jugendlichen mit ICP untersucht, mit der Beobachtung, dass sich mit fortschreitendem Alter die Teilnahme an körperlichen Aktivitäten deutlich reduzierte im Vergleich zu Jugendlichen ohne Einschränkungen. Auch erhalten erfahrungsgemäß Patienten mit ICP im Jugendalter weniger Physiotherapie als im Kindesalter (Josenby *et al.*, 2012). Ein Abfall in der motorischen Leistung kann also auch auf diese Entwicklung zurückzuführen sein.

5.3.3 Gross Motor Function Classification System

Das GMFCS gilt als quantitatives Mittel, um die Patienten in ihrer grobmotorischen Funktion zu beurteilen und in Kategorien einzuteilen. Eine wichtige Rolle spielt die Klassifikation, um für jeden Patienten das beste Therapieangebot zu machen. Für die Messung des Erfolgs einer OP lässt sich das GMFCS hingegen schlecht verwenden. In

dieser Studie konnten sich nur drei Kinder um ein ganzes GMFCS Level nach oben verbessern. Alle anderen Kinder blieben gleich. Eine Verschlechterung wurde nicht beobachtet. Ein ähnliches Ergebnis erreichten die Gruppen van Schie et al. (2011) und Chan et al. (2008). Nur die Gruppe Cole et al. (2007) berichtet von einer Verbesserung im GMFCS- Level von 15 Kindern aus einer Gruppe von 19. Die Hypothese der Studiengruppe war, dass dieser Erfolg ermöglicht wurde durch besonders streng angewendete Selektionskriterien. Die Gruppe enthielt prae OP Kinder aus den GMFCS Level II-IV und zeigte Verbesserungssprünge bis zu zwei Level. Da in der Studie das präoperative GMFCS Level aber retrospektiv festgelegt wurde, muss hier ein Bias angenommen werden.

Bei der Untersuchung, ob sich die Kinder der einzelnen GMFCS Level in ihrer motorischen Verbesserung unterschieden, konnte kein statistisch signifikanter Unterschied gezeigt werden. Im reinen Vergleich der Mittelwerte des GMFM-G konnte aber dennoch gesehen werden, dass die Kinder des GMFCS Level II nach 24 Monaten post OP den größten motorischen Zuwachs zeigten, der sich vor allem im klinisch relevanten Bereich von über 6% befand. Die Gruppe Nordmark et al.(2008) sah die motorische Verbesserung vor allem in den Level I und II und weniger im Level III. Die Gruppe Bolster et al. (2013) hingegen konnte, zu einem deutlich späteren Zeitpunkt als die vorliegende Studie, motorische Verbesserung eher im Level III erkennen und erklärte das an Hand der Verwendung von Vergleichsperzentilen. Bei der Verwendung der Vergleichsperzentilen galt für die einzelnen Level jeweils eine eigene Normalverteilung, so dass ein Kind des Levels II deutlich mehr motorische Veränderung aufweisen musste als ein Kind des Levels III, um sich aus einer Perzentile herauszubewegen. Das heißt mit Hilfe der Vergleichsperzentilen kann ein Ergebnis individueller interpretiert werden.

5.3.4 Ergebnis der Messung der passiven Gelenkbeweglichkeit

Die passive Gelenkbeweglichkeit wird als Parameter für die Entwicklung und Feststellung von Kontrakturen und knöchernen Deformitäten gemessen. Bei der Veränderung der passiven Gelenkbeweglichkeit liegt das Interesse auf den drei Bewegungsrichtungen, die durch die vorherrschende Spastizität besonders eingeschränkt werden. Bei dem klassischen Bild einer spastischen Diparese sind dies

vor allem die Abduktion im Hüftgelenk, die Extension im Kniegelenk und die Dorsalextension im Sprunggelenk bei gestrecktem Kniegelenk.

In der vorliegenden Studie ließ sich eine statistisch signifikante Vergrößerung der passiven Gelenkbeweglichkeit für die zwei Bewegungsrichtungen Abduktion im Hüftgelenk und Dorsalextension des Sprunggelenks bei gestrecktem Kniegelenk beidseits feststellen. Die passive Gelenkbeweglichkeit des Kniegelenks in die Extension zeigte keine statistisch signifikante Veränderung. Eine Vergrößerung des Bewegungsausmaß war auch nicht zu erwarten, da die Studiengruppe mit nur minimaler Einschränkung im linken Kniegelenk startete und sonst das volle Bewegungsausmaß erreichte. Es traten aber im Verlauf der Studie auch keine neuen Einschränkungen auf, was als Erfolg im Bereich der Prävention von Kontrakturen zu interpretieren ist. Die Hüftgelenks-Extension hingegen war bereits vor der OP beidseits leicht eingeschränkt mit $-5,9^\circ$, was sich auch nach der Operation nicht wesentlich veränderte.

Die Gruppe Mittal et al. (2002) konnte ebenfalls eine signifikante Erweiterung der Gelenkbeweglichkeit in Hüftabduktion, Kniegelenks-Extension und Sprunggelenks-Dorsalextension bei gestrecktem Knie zeigen. In dieser Studiengruppe blieb der Erfolg über einen Verlauf von 5 Jahren post-OP erhalten. Die Gruppe Tedroff et al. (2011) und Nordmark et al. (2008) beobachtete in ihrer Studiengruppe einen Zuwachs an Beweglichkeit vor allem in die Hüftgelenks-Abduktion mit einem Höhepunkt nach drei Jahren post-OP. Im Langzeitverlauf der Gruppe Tedroff et al. (2011) von 10 Jahren zeigte sich die Gelenkbeweglichkeit in allen gemessenen Gelenken, besonders aber in den Kniegelenken wieder rückläufig. Der Nutzen der SDR im Bereich der Kontrakturprävention wurde daraufhin von der Studiengruppe in Frage gestellt. Der Pathomechanismus in der Entstehung von Kontrakturen bei Kindern mit ICP ist bis heute nicht endgültig geklärt. Eine viel vertretene Meinung ist, dass der dauerhaft erhöhte Muskeltonus über die Zeit zu einem strukturellen Umbau der Muskulatur führt und der Muskel sich in seiner Dehnbarkeit nicht an den parallel wachsenden Knochen anpassen kann. Es entstehen Kontrakturen und Knochendeformitäten (Narayanan, 2012; Doll, 2006). Durch die Reduktion der Spastik hofft man durch die Verbesserung von Funktion und damit mehr aktiver Bewegung in allen Gelenken der Entstehung von Kontrakturen entgegenzuwirken. Dem gegenüber vermuten andere Studiengruppen in ihren Arbeiten, dass der Umbau in der Muskelarchitektur nicht auf einer nervalen

Fehlsteuerung alleine beruht, sondern bei Patienten mit ICP bereits intrinsisch besteht (Lieber *et al.*, 2004; Kruse *et al.*, 2018; Bolster *et al.*, 2013). In diesem Fall würden Maßnahmen zur Reduktion der Spastik keinen nennenswerten Effekt auf die Entstehung von Kontrakturen haben. Welche Rolle die SDR als präventive Maßnahme für die Kontraktorentwicklung spielt, muss in Zukunft intensiver geprüft werden.

5.3.5 Ergebnis der Messung der Kraft

Die Verbesserung der Kraft ist zwar kein definiertes Ziel der Operation, dennoch ist die Entwicklung der Kraft nach SDR ein wichtiger Bestandteil des individuell erreichbaren motorischen Ergebnisses. Die Patienten der Studiengruppe starteten mit deutlich reduzierter Kraft in allen gemessenen Muskelgruppen. In der vorliegenden Studie konnte ein signifikanter Zuwachs der Kraft vor allem in der Gruppe der Kniegelenk-Extensoren, so wie für die Sprunggelenk-Dorsalextensoren beidseits verzeichnet werden. Im Bereich des Hüftgelenks konnten ebenfalls signifikante Verbesserungen gesehen werden, allerdings mit asymmetrischer Ausprägung. So konnte auf der linken Seite die Kraft in den Extensoren und Abduktoren gesteigert werden und auf der rechten Seite der Adduktoren. Um die asymmetrische Entwicklung der Kraft und der Gelenkbeweglichkeit der Patienten besser zu verstehen, wäre es notwendig die Daten der intraoperativen EMG-Untersuchungen auf Unterschiede hin zu untersuchen, um die ggf. schon vor OP bestehenden Seitendifferenzen besser darstellen zu können. Auch wäre es erstrebenswert, den genauen Prozentsatz an durchtrennten Nervenbündeln mit der Entwicklung der Funktion zu korrelieren, um einen eventuellen Zusammenhang darzustellen und auch hier auf Seitendifferenzen zu achten.

In der graphischen Darstellung zeigt sich eine deutliche Diskrepanz in der Ausprägung der Kraft in den einzelnen Etagen der unteren Extremität. Die Kniegelenk-Extensoren starteten bereits vor OP als stärkste Muskelgruppe, wohingegen die Muskulatur des Sprunggelenks die deutlich schwächste Gruppe war. Postoperativ zeigten hingegen gerade die Dorsalextensoren des Sprunggelenks den größten Kraftzuwachs.

In dieser Studie konnte gezeigt werden, dass nicht nur keine dauerhafte Muskelschwäche post OP eintrat, sondern die Patienten im Gegenteil im mittelfristigen Verlauf einen deutlichen Zuwachs an Kraft erlangen konnten. Die Gruppen Engsberg *et al.* (1998; 1999) und Ross *et al.* (2001; 2007) untersuchten in ihren Studien die Entwicklung der Kraft nach erfolgter SDR. Auch ihre Studiengruppen zeigte vor der

Operation eine deutlich schwächere Muskulatur als eine gesunde Vergleichsgruppe. Nach SDR und Physiotherapie konnte ein signifikanter Anstieg der Kraft sowohl der Kniegelenk-Extensoren und -Flexoren als auch der Dorsalextensoren beobachtet werden (Engsberg *et al.*, 1999; Engsberg *et al.*, 1998).

Eine mögliche Erklärung für den Kraftgewinn ist, dass die Patienten in der Rehabilitation den plötzlichen Verlust der Spastik und die damit einhergehende Demaskierung der Schwäche in der unteren Extremität nutzten, um durch intensives Training kontrolliert Kraft in den einzelnen Muskelgruppen aufzubauen. Im Training konnte durch die reduzierte Spastik erstmals vor allem die zur Spastizität antagonistisch wirkenden Muskeln wie Kniegelenk-Extensoren und Sprunggelenk-Dorsalextensoren selektiv angesteuert werden.

Im Vergleich mit der internationalen Literatur fällt auf, dass auch der Parameter Kraft nur in einer kleinen Anzahl von Studien einzeln gemessen wird. Gerade im Zusammenhang mit der Gehfähigkeit und der Gangqualität der Patienten erlangt allerdings der Parameter Kraft wieder gesteigertes Interesse. So konnte die Gruppe Ross *et al.* (2007) in ihrer Arbeit einen deutlichen Zusammenhang zwischen dem Gangbild, der motorischen Funktion und der Kraft der unteren Extremität herstellen. Die Gruppe Goudriaan *et al.* (2018) untersuchte hingegen den Zusammenhang zwischen Muskelschwäche und pathologischen Gangmustern. Sie konnte eine signifikante Korrelation zwischen der Schwäche der Sprunggelenk-Dorsalextensoren- und Plantarflexoren und einer verzögerten und eingeschränkten Kniegelenksflexion während der Schwungphase im Gangzyklus feststellen. Weitere Untersuchungen der Bedeutung der Kraft der unteren Extremität und des Rumpfes für die motorische Entwicklung von Kindern mit ICP sind daher erstrebenswert.

5.3.6 BMI

Die Ermittlung des BMI ist ein zusätzlich integrierter Parameter, um die Einflussfaktoren Wachstum und Gewicht auf die motorische Entwicklung der Patienten nach SDR zu untersuchen. In der vorliegenden Studie konnte keine Veränderung des BMI in Richtung Adipositas nach SDR festgestellt werden. Der BMI stieg nach OP an, die Patienten lagen aber zu jedem Zeitpunkt in ihren alters- und geschlechtsspezifischen Perzentilen. Die Ermittlung des BMI SDS zeigte zusätzlich, dass es kaum Abweichungen von dem alters- und geschlechtsspezifischen Median gab. Das Ergebnis dieser Studie stimmt mit

den Ergebnissen der Gruppe Gutknecht et al. (2015) überein. In der Studie wurde an Hand von 363 Patienten der Verlauf des BMI und BMI SDS nach SDR über 24 Monate beobachtet und keine Entwicklung eines Übergewichtes festgestellt. Die Gruppe Nordmark et al. (2008) berichtete in ihrer Langzeitbeobachtung über 5 Jahre, dass viele untergewichtige Patienten ihr Gewicht nach der Durchführung einer SDR normalisieren konnten. Eine Veränderung des BMI in Richtung Übergewicht wurde nicht festgestellt. Allerdings enthielt die Patientengruppe im Vergleich zu der Berliner Gruppe doppelt so viele Kinder mit dem GMFCS Level III-V als aus I und II. Wie die Gruppe Oftedal et al. (2016) feststellen konnte, ist ab dem GMFCS Level III das Wachstum der Patienten mit spastischer ICP deutlich verzögert und insgesamt geringer als bei Kindern aus den Leveln I und II. Diese Tatsache muss also im Vergleich der Daten berücksichtigt werden. Umfassendere Untersuchungen zum Gewichtsverhalten und Kalorienverbrauch nach SDR erscheinen sinnvoll.

5.3.7 Korrelationsanalyse

Um den Zusammenhang zwischen den einzelnen Parametern des Assessments und der funktionellen Verbesserung der Patienten post OP zu untersuchen und daraus einen möglichen prädiktiven Wert abzuleiten, wurde der Korrelationskoeffizient Kendalls Tau ermittelt.

Insgesamt zeigte sich eine negative Korrelation mit starker Signifikanz zwischen der Verbesserung im GMFM-G/Z und dem Alter der Patienten bei OP sowie der Kraft in den Dorsalextensoren des Sprunggelenks. Das bedeutet, die jüngeren Kinder unserer Gruppe mit den niedrigeren Werten im GMFM-G/ Z und schwachen Dorsalextensoren vor OP profitierten von der SDR am meisten hinsichtlich ihrer motorischen Funktion. Eine signifikant negative Korrelation wurde auch für die Verbesserung im Zielbereich mit der passiven Beweglichkeit im Sprunggelenk vor OP gesehen. So zeigten Kinder mit Bewegungseinschränkungen in der Dorsalextension vor OP, nach der Operation gute Verbesserungen im Bereich Laufen, Rennen, Hüpfen.

Eine signifikante Korrelation ließ sich für den Nachweis einer PVL im präoperativen MRT mit der Verbesserung im GMFM-G/Z sehen. Dabei wurde das Ausmaß der PVL in der vorliegenden Studie nicht weiter differenziert.

Eine signifikant positive Korrelation zeigte sich für das passive Bewegungsausmaß im Kniegelenk post OP mit der motorischen Verbesserung 12 Monate post OP. Das heißt, je größer der passive Bewegungsumfang des Kniegelenks nach OP, desto besser zeigten sich die Ergebnisse der motorischen Testung.

Im internationalen Vergleich wurde die Frage nach möglichen Prädiktoren für ein gutes motorisches Ergebnis auf unterschiedliche Weise untersucht. Die Arbeiten unterscheiden sich sowohl in ihrer statistischen Herangehensweise als auch in den untersuchten Parametern. Die Ergebnisse zeigen bisher wenig Überschneidungen. Im Folgenden wird ein Überblick über einige Ergebnisse erstellt.

Die Gruppe Engsberg et al. (2007) nutzte in ihrer Arbeit eine multiple lineare Regressionsanalyse, um die Veränderung der Variablen GMAE und Ganggeschwindigkeit vorhersagen zu können. Die unabhängigen Variablen bestanden zum größten Teil aus Variablen der Ganganalyse. Vergleichbare Variablen zu der vorliegenden Studie waren das Maß für Spastizität und Kraft und der GMFM-G vor OP. Zusammenhänge zwischen Spastizität und der motorischen Verbesserung konnten, ähnlich wie in der Berliner Gruppe, in diesem Model nicht dargestellt werden. Auch die Kraft zeigte keine Korrelation zur motorischen Verbesserung. Für die Studiengruppe zeigte sich eine signifikant positive Korrelation mit der Verbesserung im GMAE sowohl für die präoperative Schrittlänge, als auch für die Gelenkbeweglichkeit der unteren Extremität. Anders als in der vorliegenden Studie zeigte der präoperative GMFM-G eine signifikant positive Korrelation. Das heißt, hier profitierten eher die motorisch besseren Kinder von der OP. Im Gegensatz zur Berliner Gruppe bestand die Gruppe zur Hälfte aus Kindern des GMFCS Level I und zur anderen Hälfte aus II und III, wohingegen die Berliner Gruppe größtenteils aus den Leveln II und III zusammengesetzt war. Von der Studiengruppe wurde vorgeschlagen weitere Parameter, wie zum Beispiel die Balance, auf ihren prädiktiven Wert hin zu untersuchen.

Die Gruppe Ross et al. (2007) führte ebenfalls eine multiple lineare Regressionsanalyse durch. Untersucht wurde hier der Zusammenhang von Spastizität, Kraft, Gang und GMFM-66 Score. Auch in dieser Arbeit konnte wie in der Berliner Gruppe kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Reduktion der Spastizität und der Verbesserung im GMFM-66 Score dargestellt werden. Allerdings wurde ein signifikanter Zusammenhang zwischen der gemittelten konzentrischen Kraft der unteren Extremität,

gemessen mit dem KinCom Dynamometer, und der motorischen Verbesserung gezeigt. In einem weiteren Schritt wurde der Zusammenhang separat für die Kraft der Hüftgelenk-Abduktoren, Sprunggelenk-Plantarflexoren und Dorsalextensoren ermittelt. Anders als in der Berliner Studie zeigte das Alter der Patienten bei OP keinen Zusammenhang mit dem motorischen Ergebnis. Für die Zukunft wurde von der Studiengruppe ein größerer Fokus auf die Bedeutung und Kräftigung der Muskulatur gelegt.

Auch in der Meta-Analyse der drei randomisierten amerikanischen Studien war eine multiple Regressionsanalyse enthalten (McLaughlin *et al.*, 2002). Es wurde der Einfluss der Variablen Alter, Geschlecht, Geburtsgewicht, GMFCS Level bei OP, Prozentsatz der durchtrennten Nervenwurzelfasern, GMFM-66 Score prae OP und gemittelte MAS auf die motorische Veränderung post OP untersucht. Eine signifikante Korrelation konnte nur für den Prozentsatz an durchtrennten Wurzelfasern und der Verbesserung im GMFM-G dargestellt werden, das heißt, je mehr Wurzelfasern durchtrennt wurden, desto größer war die motorische Verbesserung. Auch konnte eine negative Korrelation zwischen dem GMFM-66 Score vor OP und dem Prozentsatz durchtrennter Wurzelfasern gezeigt werden. Den Kindern mit niedrigem GMFM-66 Score vor OP wurden demnach mehr Fasern durchtrennt als Kindern mit hohem Score. Eine ähnliche Untersuchung wurde für die Berliner Gruppe bisher nicht durchgeführt und wäre für die Zukunft eine mögliche Ergänzung des Studienprotokolls.

Eine weitere multiple lineare Regressionsanalyse wurde von der Gruppe Josenby *et al.* (2012) durchgeführt. Hier wurde der Zusammenhang zwischen der Veränderung des GMFM-66 Score nach 10 Jahren post OP mit dem Alter der Patienten bei OP, dem präoperativen GMFCS Level und GMFM-66 Score untersucht. Eine signifikant negative Korrelation konnte für das GMFCS Level vor OP und, ähnlich wie in der Berliner Gruppe, mit dem GMFM-66 Score vor OP und der motorischen Entwicklung nach OP dargestellt werden. Auch in dieser Studiengruppe zeigten also die Kinder mit anfangs niedrigem GMFM-66 Score später gute motorische Ergebnisse. Hier waren die meisten Kinder GMFCS Level III und IV. Ein deutlicher Zusammenhang zum Alter konnte in der Studie hingegen nicht gezeigt werden.

Andere statistische Modelle wurden von der Gruppe Grunt *et al.* (2010) und Tedroff *et al.* (2011) für ihre Fragestellungen verwendet. Beide Gruppen errechneten den

Korrelationskoeffizienten nach Spearman. Grunt beschrieb damit den Zusammenhang zwischen Alter, GMFM-66 Score prae OP, präoperativen MRT Befunden und dem funktionellen Ergebnis des GMFM-66 post OP. Es konnte kein Zusammenhang zwischen dem Alter oder dem GMFM-66 Score vor OP und der motorischen Veränderung gefunden werden. Kinder mit normalen MRT-Befunden zeigten prä- und postoperativ bessere motorische Ergebnisse. Kinder mit einer PVL oder einem Hydrocephalus schnitten in der Studie deutlich schlechter ab, als die Kinder mit normalen MRT-Befunden. Im Gegensatz dazu zeigten die Kinder mit Nachweis einer PVL in der Berliner Studie eher gute Ergebnisse. Grunt differenzierte in seiner Studie weiterhin die Auffälligkeiten der PVL. Er konnte einen Zusammenhang zwischen der ventrikulären Vergrößerung und dem GMFM-66 Score vor OP zeigen. Eine Korrelation zwischen dem Ausmaß der PVL und dem motorischen Ergebnis post OP konnte hingegen nicht dargestellt werden. Tedroff untersuchte den Zusammenhang zwischen der präoperativen Spastizität des M.Gastrocnemius, dem GMFM-G vor OP und der Veränderung im GMFM-G post OP. In dieser Studie konnten allerdings keine Korrelationen dargestellt werden.

Einen anderen Ansatz stellte die Methode der Gruppe Dudley et al. (2013) dar. In der Arbeit wurde ein „Group Based Trajectory Model“ verwendet, um die Ergebnisse über einen langen Zeitraum hinweg auf Zusammenhänge hin zu untersuchen. Gruppen wurden auf Grund des präoperativen GMFM-G Wertes gebildet und im Verlauf von 15 Jahren in ihrer Entwicklung beobachtet. Es wurde ein Index (PILAR) aus vier Komponenten gebildet 1) präoperatives GMFCS Level (Punktvergabe 1-4), 2) präoperativer GMFM-G (über 60= 1 Punkt, unter 60= 0 Punkte), 3) Verteilung der Spastizität (Diplegie= 1Punkt oder Quadriplegie= 0 Punkte) und 4) MAS der Hüftgelenks Adduktoren prae OP (MAS unter 3= 1 Punkt, größer/gleich 3= 0 Punkte). Die Gruppe kam zu dem Schluss, dass der individuell erstellte PILAR (über 4 Punkte) für einen Patienten einen hohen prädiktiven Wert für ein gutes motorisches Ergebnis erzielte. Bisher wurde der PILAR Index nicht validiert. Den PILAR Index in der Berliner Gruppe anzuwenden, kann nach der Validierung in Erwägung gezogen werden.

Zusammenfassend wurden von den verschiedenen internationalen Arbeitsgruppen folgende prädiktive Faktoren identifiziert: präoperative Schrittlänge und Gelenkbeweglichkeit der unteren Extremität, die präoperative gemittelte Kraft der unteren Extremität, der Prozentsatz an durchtrennten Wurzelfasern, der niedrige

GMFM-66 Score präoperativ, normale MRT-Befunde der Patienten und der PILAR-Index über 4.

Die Schwierigkeit aus der aktuellen Datenlage eine allgemeine Antwort auf mögliche Prädiktoren abzuleiten, liegt zum einen in den Unterschieden im Studienaufbau der einzelnen Studien. Zum anderen wird das erzielte motorische Ergebnis von verhältnismäßig vielen Parametern beeinflusst, so dass viele Studien einen eher explorativen Charakter haben. Trotzdem weisen die ermittelten prädiktiven Faktoren eine Richtung für weitere Studien zu diesem Thema in der Zukunft.

Beinahe allen Studien gemeinsam ist die fehlende Korrelation zwischen der Reduktion der Spastizität und dem motorischem Erfolg post OP. Untersuchungen von der Gruppe Eyre et al. (2007) und Johnston et al. (2009), die sich mit der Plastizität und Funktionsweise der corticospinalen Bahnen nach perinatalen Verletzungen des Gehirns befassten, liefern wichtige Hinweise, dass die Ursache der motorischen Verbesserung nach OP möglicherweise auf der Ebene der Signalverarbeitung auf Rückenmarksebene zu finden ist, in die mittels SDR nachweislich effektiv eingegriffen wird. So ist denkbar, dass durch die Reduktion afferenter Reize aus der Peripherie, zentral gesendete Signale ungestörter im Zielorgan ankommen können.

Für das Berliner Zentrum lässt sich an dieser Stelle festhalten, dass nach gleichbleibend erfolgter Selektion der Patienten, die Faktoren Alter und Ausgangswert des GMFM-G/Z den größten Einfluss auf das zu erwartende Ergebnis haben. Auch wird der Kraft besonders in den Dorsalextensoren des Sprunggelenks eine wichtige Rolle für die Entwicklung motorischer Funktion, vor allem des Gangbildes zugeschrieben. Ihre Bedeutung in den einzelnen Phasen des Gangzyklus wird aktuell durch andere Arbeitsgruppen untersucht (Ross and Engsberg, 2007). Die gesammelten Informationen sollten in die vorbereitenden Gespräche mit den Eltern der Patienten integriert werden, wenn es um die Formulierung der Ziele der operativen Therapie geht. Die Bedeutung des Nachweises einer PVL konnte bisher noch nicht abschließend geklärt werden, sollte aber weiterhin im Fokus der Beobachtung bleiben.

5.4 Zukunftsaussicht

In Zukunft wird es auch für die Berliner Studiengruppe wichtig sein ihre Langzeitergebnisse über 10 und 15-Jahre post- OP zu evaluieren. Die Auswertung der Daten der Lebensqualitätsbögen, die bereits Gegenstand einer anderen Arbeit ist, könnte zur Integration eines wichtigen alternativen Messinstruments in das Assessment führen, mit der Erwartung den Effekt der SDR auf einer weiteren Ebene darzustellen.

Zusätzlich könnte der Einfluss der intraoperativen EMG Untersuchung und der individuell durchtrennte Anteil an Nervenfaserbündel auf das motorische Ergebnis nach OP untersucht werden, um die Frage nach dem so individuell unterschiedlichen Ansprechen der Patienten auf die OP zu ergründen. In eine solche Untersuchung könnte auch die Bedeutung des Nachweises einer PVL im präoperativen MRT auf die Motorik der Kinder eingeschlossen werden.

Auch sollte die Bedeutung der Kraft in der unteren Extremität und der Effekt postoperativer Kräftigung auf das funktionelle Ergebnis weiter untersucht werden.

6 Literaturverzeichnis

Arnon, S. S., Schechter, R., Inglesby, T. V., Henderson, D. A., Bartlett, J. G., Ascher, M. S., Eitzen, E., Fine, A. D., Hauer, J., Layton, M., Lillibridge, S., Osterholm, M. T., O'Toole, T., Parker, G., Perl, T. M., Russell, P. K., Swerdlow, D. L. and Tonat, K. (2001) 'Botulinum toxin as a biological weapon: medical and public health management', *Jama*, 285(8), pp. 1059-70.

Bax, M., Goldstein, M., Rosenbaum, P., Leviton, A., Paneth, N., Dan, B., Jacobsson, B., Damiano, D. and Executive Committee for the Definition of Cerebral, P. (2005) 'Proposed definition and classification of cerebral palsy, April 2005', *Dev Med Child Neurol*, 47(8), pp. 571-6.

Bax, M., Tydeman, C. and Flodmark, O. (2006) 'Clinical and MRI correlates of cerebral palsy: the European Cerebral Palsy Study', *Jama*, 296(13), pp. 1602-8.

Bohannon, R. W. (2001) 'Measuring knee extensor muscle strength', *Am J Phys Med Rehabil*, 80(1), pp. 13-8.

Bohannon, R. W. and Smith, M. B. (1987) 'Interrater reliability of a modified Ashworth scale of muscle spasticity', *Phys Ther*, 67(2), pp. 206-7.

Bolster, E. A., van Schie, P. E., Becher, J. G., van Ouwerkerk, W. J., Strijers, R. L. and Vermeulen, R. J. (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), pp. 610-6.

Carraro, E., Zeme, S., Ticcinelli, V., Massaroni, C., Santin, M., Peretta, P., Martinuzzi, A. and Trevisi, E. (2014) 'Multidimensional outcome measure of selective dorsal rhizotomy in spastic cerebral palsy', *Eur J Paediatr Neurol*, 18(6), pp. 704-13.

Chan, S. H., Yam, K. Y., Yiu-Lau, B. P., Poon, C. Y., Chan, N. N., Cheung, H. M., Wu, M. and Chak, W. K. (2008) 'Selective dorsal rhizotomy in Hong Kong: multidimensional outcome measures', *Pediatr Neurol*, 39(1), pp. 22-32.

Chicoine, M. R., Park, T. S., Vogler, G. P. and Kaufman, B. A. (1996) 'Predictors of ability to walk after selective dorsal rhizotomy in children with cerebral palsy', *Neurosurgery*, 38(4), pp. 711-4; discussion 714.

Cole, G. F., Farmer, S. E., Roberts, A., Stewart, C. and Patrick, J. H. (2007) 'Selective dorsal rhizotomy for children with cerebral palsy: the Oswestry experience', *Arch Dis Child*, 92(9), pp. 781-5.

Dallmeijer, A. J., Rameckers, E. A., Houdijk, H., de Groot, S., Scholtes, V. A. and Becher, J. G. (2017) 'Isometric muscle strength and mobility capacity in children with cerebral palsy', *Disabil Rehabil*, 39(2), pp. 135-142.

Daniels, L., Worthingham, C. (1985) *Muskelfunktionsprüfung. Manuelle Untersuchungstechniken*. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag.

Doll, B. (2006) 'Infantile Zerebralparese - Pathogenese und Behandlung der gestörten Hüftentwicklung', *Orthopädie und Unfallchirurgie up2date*, 1, pp. 125-140.

Dr. Thomas Vogt, P. P. U. (2018) 'Optimierte Therapie des spastischen Syndroms durch Kombination von intrathekalem Baclofen mit Botulinumtoxin | SpringerLink', *Der Nervenarzt*, 71(12), pp. 1007-1011.

Dudley, R. W., Parolin, M., Gagnon, B., Saluja, R., Yap, R., Montpetit, K., Ruck, J., Poulin, C., Cantin, M. A., Benaroch, T. E. and Farmer, J. P. (2013) 'Long-term functional benefits of selective dorsal rhizotomy for spastic cerebral palsy', *J Neurosurg Pediatr*, 12(2), pp. 142-50.

Döderlein, L. (2018) 'Neue Aspekte der orthopädischen Behandlung der infantilen Zerebralparese', *Kinder- und Jugendmedizin*, 7, pp. 407-413.

Einspieler, C. and Prechtel, H. F. (2005) 'Prechtel's assessment of general movements: a diagnostic tool for the functional assessment of the young nervous system', *Ment Retard Dev Disabil Res Rev*, 11(1), pp. 61-7.

Engsberg, J. R., Olree, K. S., Ross, S. A. and Park, T. S. (1998) 'Spasticity and strength changes as a function of selective dorsal rhizotomy', *Neurosurg Focus*, 4(1), pp. e4.

Engsberg, J. R., Ross, S. A., Collins, D. R. and Park, T. S. (2006) 'Effect of selective dorsal rhizotomy in the treatment of children with cerebral palsy', *J Neurosurg*, 105(1 Suppl), pp. 8-15.

Engsberg, J. R., Ross, S. A., Collins, D. R. and Park, T. S. (2007) 'Predicting functional change from preintervention measures in selective dorsal rhizotomy', *J Neurosurg*, 106(4 Suppl), pp. 282-7.

Engsberg, J. R., Ross, S. A. and Park, T. S. (1999) 'Changes in ankle spasticity and strength following selective dorsal rhizotomy and physical therapy for spastic cerebral palsy', *J Neurosurg*, 91(5), pp. 727-32.

Europe, S. o. C. P. i. (2002) 'Prevalence and characteristics of children with cerebral palsy in Europe', *Dev Med Child Neurol*, 44(9), pp. 633-40.

Eyre, J. A. (2007) 'Corticospinal tract development and its plasticity after perinatal injury', *Neurosci Biobehav Rev*, 31(8), pp. 1136-49.

Farmer, J. P. and Sabbagh, A. J. (2007) 'Selective dorsal rhizotomies in the treatment of spasticity related to cerebral palsy', *Childs Nerv Syst*, 23(9), pp. 991-1002.

Fasano, V. A., Broggi, G. and Zeme, S. (1988) 'Intraoperative electrical stimulation for functional posterior rhizotomy', *Scand J Rehabil Med Suppl*, 17, pp. 149-54.

Foerster, O. (1911) 'Über die Beeinflussung spastischer Lähmungen mittels Resektion der hinteren Rückenmarkswurzeln', *Deutsche Zeitschrift für Nervenheilkunde*, Band 41, Heft 1-3, pp. 146-171.

Funk, J. F. and 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), pp. 819-25.

Funk, J. F., Panthen, A., Bakir, M. S., Gruschke, F., Sarpong, A., Wagner, C., Lebek, S. and Haberl, E. J. (2015) 'Predictors for the benefit of selective dorsal rhizotomy', *Res Dev Disabil*, 37, pp. 127-34.

Goldstein, E. M. (2001) 'Spasticity management: an overview', *J Child Neurol*, 16(1), pp. 16-23.

Goudriaan, M., Nieuwenhuys, A., Schless, S. H., Goemans, N., Molenaers, G. and Desloovere, K. (2018) 'A new strength assessment to evaluate the association between muscle weakness and gait pathology in children with cerebral palsy', *PLoS One*, 13(1), pp. e0191097.

Graham, H. K., Aoki, K. R., Autti-Ramo, I., Boyd, R. N., Delgado, M. R., Gaebler-Spira, D. J., Gormley, M. E., Guyer, B. M., Heinen, F., Holton, A. F., Matthews, D., Molenaers, G., Motta, F., Garcia Ruiz, P. J. and Wissel, J. (2000) 'Recommendations for the use of botulinum toxin type A in the management of cerebral palsy', *Gait Posture*, 11(1), pp. 67-79.

Grunt, S., Becher, J. G., van Schie, P., van Ouwerkerk, W. J., Ahmadi, M. and Vermeulen, R. J. (2010) 'Preoperative MRI findings and functional outcome after selective dorsal rhizotomy in children with bilateral spasticity', *Childs Nerv Syst*, 26(2), pp. 191-8.

Grunt, S., Becher, J. G. and Vermeulen, R. J. (2011) 'Long-term outcome and adverse effects of selective dorsal rhizotomy in children with cerebral palsy: a systematic review', *Dev Med Child Neurol*, 53(6), pp. 490-8.

Grunt, S., Fieggen, A. G., Vermeulen, R. J., Becher, J. G. and Langerak, N. G. (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), pp. 302-12.

Gul, S. M., Steinbok, P. and McLeod, K. (1999) 'Long-term outcome after selective posterior rhizotomy in children with spastic cerebral palsy', *Pediatr Neurosurg*, 31(2), pp. 84-95.

Gusso, S., Munns, C. F., Colle, P., Derraik, J. G. B., Biggs, J. B., Cutfield, W. S. and Hofman, P. L. (2016) 'Effects of whole-body vibration training on physical function, bone and muscle mass in adolescents and young adults with cerebral palsy', *Scientific Reports*, 6(1), pp. 1-7.

Gutknecht, S. M., Schwartz, M. H. and Munger, M. E. (2015) 'Ambulatory children with cerebral palsy do not exhibit unhealthy weight gain following selective dorsal rhizotomy', *Dev Med Child Neurol*, 57(11), pp. 1070-5.

Hagglund, G. and Wagner, P. (2008) 'Development of spasticity with age in a total population of children with cerebral palsy', *BMC Musculoskelet Disord*, 9, pp. 150.

Hanna, S. E., Bartlett, D. J., Rivard, L. M. and Russell, D. J. (2008) 'Reference curves for the Gross Motor Function Measure: percentiles for clinical description and tracking over time among children with cerebral palsy', *Phys Ther*, 88(5), pp. 596-607.

- Hislop, H. J., Avers, D., Brown, M. (1946) *Daniels and Worthingham's Muscle Testing*. 9th edn.: Elsevier Saunders.
- Johnston, M. V. (2009) 'Plasticity in the developing brain: implications for rehabilitation', *Dev Disabil Res Rev*, 15(2), pp. 94-101.
- Josenby, A. L., Wagner, P., Jarnlo, G. B., Westbom, L. and Nordmark, E. (2012) 'Motor function after selective dorsal rhizotomy: a 10-year practice-based follow-up study', *Dev Med Child Neurol*, 54(5), pp. 429-35.
- Kim, H. S., Steinbok, P. and Wickenheiser, D. (2006) 'Predictors of poor outcome after selective dorsal rhizotomy in treatment of spastic cerebral palsy', *Childs Nerv Syst*, 22(1), pp. 60-6.
- Koman, L. A., Smith, B. P. and Shilt, J. S. (2004) 'Cerebral palsy', *Lancet*, 363(9421), pp. 1619-31.
- Krageloh-Mann, I. and Cans, C. (2009) 'Cerebral palsy update', *Brain Dev*, 31(7), pp. 537-44.
- Krageloh-Mann, I. and Horber, V. (2007) 'The role of magnetic resonance imaging in elucidating the pathogenesis of cerebral palsy: a systematic review', *Dev Med Child Neurol*, 49(2), pp. 144-51.
- Kromeyer-Hauschild, K. (2018) 'Perzentile für den Body-mass-Index für das Kindes- und Jugendalter unter Heranziehung verschiedener deutscher Stichproben | SpringerLink'.
- Kruse, A., Schranz, C., Tilp, M. and Svehlik, M. (2018) 'Muscle and tendon morphology alterations in children and adolescents with mild forms of spastic cerebral palsy', *BMC Pediatr*, 18(1), pp. 156.
- Langerak, N. G., Lamberts, R. P., Fieggen, A. G., Peter, J. C., Peacock, W. J. and Vaughan, C. L. (2009) 'Functional status of patients with cerebral palsy according to the International Classification of Functioning, Disability and Health model: a 20-year follow-up study after selective dorsal rhizotomy', *Arch Phys Med Rehabil: Vol. 6*. United States, pp. 994-1003.
- Leonard, C. T., Stephens, J. U. and Stroppel, S. L. (2001) 'Assessing the spastic condition of individuals with upper motoneuron involvement: validity of the myotonometer', *Arch Phys Med Rehabil*, 82(10), pp. 1416-20.
- Lieber, R. L., Steinman, S., Barash, I. A. and Chambers, H. (2004) 'Structural and functional changes in spastic skeletal muscle', *Muscle Nerve*, 29(5), pp. 615-27.
- Lundkvist Josenby, A., Jarnlo, G. B., Gummesson, C. and Nordmark, E. (2009) 'Longitudinal construct validity of the GMFM-88 total score and goal total score and the GMFM-66 score in a 5-year follow-up study', *Phys Ther*, 89(4), pp. 342-50.
- Maher, C. A., Williams, M. T., Olds, T. and Lane, A. E. (2007) 'Physical and sedentary activity in adolescents with cerebral palsy', *Dev Med Child Neurol*, 49(6), pp. 450-7.

- McLaughlin, J., Bjornson, K., Temkin, N., Steinbok, P., Wright, V., Reiner, A., Roberts, T., Drake, J., O'Donnell, M., Rosenbaum, P., Barber, J. and Ferrel, A. (2002) 'Selective dorsal rhizotomy: meta-analysis of three randomized controlled trials', *Dev Med Child Neurol*, 44(1), pp. 17-25.
- McLaughlin, J. F., Bjornson, Kristie F, Astley, Susan J (1998) 'Selective dorsal rhizotomy: efficacy and safety in an investigator-masked randomized clinical trial - McLaughlin - 2008 - Developmental Medicine & Child Neurology - Wiley Online Library', *Developmental Medicine and Child Neurology*, 40, pp. 220-232.
- Mitsiokapa, E. A., Mavrogenis, A. F., Skouteli, H., Vrettos, S. G., Tzanos, G., Kanellopoulos, A. D., Korres, D. S. and Papagelopoulos, P. J. (2010) 'Selective percutaneous myofascial lengthening of the lower extremities in children with spastic cerebral palsy', *Clin Podiatr Med Surg*, 27(2), pp. 335-43.
- Mittal, S., Farmer, J. P., Al-Atassi, B., Gibis, J., Kennedy, E., Galli, C., Courchesnes, G., Poulin, C., Cantin, M. A. and Benaroch, T. E. (2002) 'Long-term functional outcome after selective posterior rhizotomy', *J Neurosurg*, 97(2), pp. 315-25.
- Narayanan, U. G. (2012) 'Management of children with ambulatory cerebral palsy: an evidence-based review', *J Pediatr Orthop*, 32 Suppl 2, pp. S172-81.
- Naumann, M. (1998) *Botulinumtoxin, Wirkprinzip und klinische Anwendung*. Uni-med Verlag.
- Niemann, G., Abteilung Neuropädiatrie, E. u. S., Universitätskinderklinik, Tübingen, Krägeloh-Mann, I. and Abteilung Neuropädiatrie, E. u. S., Universitätskinderklinik, Tübingen (2014) 'Zur Diskussion um die so genannten Zerebralparesen', *Monatsschrift Kinderheilkunde*, 150(11), pp. 1397-1401.
- Nordmark, E., Josenby, A. L., Lagergren, J., Andersson, G., Stromblad, L. G. and Westbom, L. (2008) 'Long-term outcomes five years after selective dorsal rhizotomy', *BMC Pediatr*, 8, pp. 54.
- Oftedal, S., Davies, P. S., Boyd, R. N., Stevenson, R. D., Ware, R. S., Keawutan, P., Benfer, K. A. and Bell, K. L. (2016) 'Longitudinal Growth, Diet, and Physical Activity in Young Children With Cerebral Palsy', *Pediatrics*, 138(4).
- Park, T. S. and Johnston, J. M. (2006) 'Surgical techniques of selective dorsal rhizotomy for spastic cerebral palsy. Technical note', *Neurosurg Focus*, 21(2), pp. e7.
- Patrick, E. and Ada, L. (2016) 'The Tardieu Scale differentiates contracture from spasticity whereas the Ashworth Scale is confounded by it:' <http://dx.doi.org/10.1191/0269215506cr922oa>.
- Peacock, W. J. and Arens, L. J. (1982) 'Selective posterior rhizotomy for the relief of spasticity in cerebral palsy', *S Afr Med J*, 62(4), pp. 119-24.
- Peacock, W. J. and Staudt, L. A. (1991) 'Functional outcomes following selective posterior rhizotomy in children with cerebral palsy', *J Neurosurg*, 74(3), pp. 380-5.

- Petra E.M. van Schie, P. D., PT., Maaïke Schothorst, PT., Annet J. Dallmeijer, Ph.D. et al. (2011) 'Short- and long-term effects of selective dorsal rhizotomy on gross motor function in ambulatory children with spastic diplegia', *Journal of Neurosurgery: Pediatrics*, 7, pp. 557-62.
- Poeck, K. u. H., Werner (2001) *Neurologie*. Springer Verlag, p. 110-117.
- Roberts, A. (2013) 'Surgical management of spasticity', *J Child Orthop: Vol. 5*, pp. 389-394.
- Rosenbaum, P. L., Walter, S. D., Hanna, S. E., Palisano, R. J., Russell, D. J., Raina, P., Wood, E., Bartlett, D. J. and Galuppi, B. E. (2002) 'Prognosis for gross motor function in cerebral palsy: creation of motor development curves', *Jama*, 288(11), pp. 1357-63.
- Ross, S. A. and Engsberg, J. R. (2007) 'Relationships between spasticity, strength, gait, and the GMFM-66 in persons with spastic diplegia cerebral palsy', *Arch Phys Med Rehabil*, 88(9), pp. 1114-20.
- Ross, S. A., Engsberg, J. R., Olree, K. S. and Park, T. S. (2001) 'Quadriceps and hamstring strength changes as a function of selective dorsal rhizotomy surgery and rehabilitation', *Pediatr Phys Ther*, 13(1), pp. 2-9.
- Russel, D., Rosenbaum, P., Gowland, C., Hardy, S., Lane, M., Plews, N., McGavin, H., Cadman, D. and Jarvis, S. (1993) *Gross Motor Function Measure Manual*. 2nd edn. Hamilton, ON, McMaster University.
- Russell, D. J., Rosenbaum, P. L., Cadman, D. T., Gowland, C., Hardy, S. and Jarvis, S. (1989) 'The gross motor function measure: a means to evaluate the effects of physical therapy', *Dev Med Child Neurol*, 31(3), pp. 341-52.
- Sargut, T. A., tarik-alp.sargut@charite.de, m, Berlin, N.N. and N.N. (2018) *The minimally invasive renaissance of a classic surgical method: results of the first European application of minimally invasive selective dorsalrhizotomy by T.S. Park*. Selbstständige Publikationen, [Online] Available at: <https://refubium.fu-berlin.de/handle/fub188/1626> (Accessed).
- Sindou, M. P., Simon, F., Mertens, P. and Decq, P. (2007) 'Selective peripheral neurotomy (SPN) for spasticity in childhood', *Childs Nerv Syst*, 23(9), pp. 957-70.
- Skold, C., Harms-Ringdahl, K., Hultling, C., Levi, R. and Seiger, A. (1998) 'Simultaneous Ashworth measurements and electromyographic recordings in tetraplegic patients', *Arch Phys Med Rehabil*, 79(8), pp. 959-65.
- Steinbok, P. (2007) 'Selective dorsal rhizotomy for spastic cerebral palsy: a review', *Childs Nerv Syst*, 23(9), pp. 981-90.
- Steinbok, P., Reiner, A. M., Beauchamp, R., Armstrong, R. W., Cochrane, D. D. and Kestle, J. (1997) 'A randomized clinical trial to compare selective posterior rhizotomy plus physiotherapy with physiotherapy alone in children with spastic diplegic cerebral palsy', *Dev Med Child Neurol*, 39(3), pp. 178-84.

- Surveillance of Cerebral Palsy in, E. (2000) 'Surveillance of cerebral palsy in Europe: a collaboration of cerebral palsy surveys and registers. Surveillance of Cerebral Palsy in Europe (SCPE)', *Dev Med Child Neurol*, 42(12), pp. 816-24.
- Tedroff, K., Lowing, K., Jacobson, D. N. and Astrom, E. (2011) 'Does loss of spasticity matter? A 10-year follow-up after selective dorsal rhizotomy in cerebral palsy', *Dev Med Child Neurol*, 53(8), pp. 724-9.
- Turner, R. P. (2009) 'Neurophysiologic intraoperative monitoring during selective dorsal rhizotomy', *J Clin Neurophysiol*, 26(2), pp. 82-4.
- van Vulpen, L. F., de Groot, S., Rameckers, E., Becher, J. G. and Dallmeijer, A. J. (2017) 'Improved Walking Capacity and Muscle Strength After Functional Power-Training in Young Children With Cerebral Palsy', *Neurorehabil Neural Repair*, 31(9), pp. 827-841.
- Westhoff, B., Bittersohl, D. and Krauspe, R. (2014) '[Bilateral spastic cerebral palsy with ambulatory ability (diplegia): pathophysiology, state of the art of conservative and surgical treatment and rehabilitation]', *Orthopade*, 43(7), pp. 656-60, 662-4.
- Wheelwright, M., Selvey, P. J., Steinbok, P., Singhal, A., Ibrahim, G., Fallah, A., Weil, A. G., Halvorson, K. and Tu, A. (2019) 'Systematic review of spinal deformities following multi-level selective dorsal rhizotomy', *Childs Nerv Syst*, pp. 1025- 1035.
- Wright, F. V., Sheil, E. M., Drake, J. M., Wedge, J. H. and Naumann, S. (1998) 'Evaluation of selective dorsal rhizotomy for the reduction of spasticity in cerebral palsy: a randomized controlled trial', *Dev Med Child Neurol*, 40(4), pp. 239-47.
- Yong, L. Y., Wong, C. H. L., Gaston, M. and Lam, W. L. (2018) 'The Role of Selective Peripheral Neurectomy in the Treatment of Upper Limb Spasticity', *J Hand Surg Asian Pac Vol*, 23(2), pp. 181-191.

7 Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Amelie Panthen, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Selektive Dorsale Rhizotomie - Studie zur Vorhersagbarkeit des funktionellen Therapieerfolges an Hand der präoperativen Assessmentparameter“ selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren/innen beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) werden von mir verantwortet.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit der Erstbetreuerin, angegeben sind. Für sämtliche im Rahmen der Dissertation entstandenen Publikationen wurden die Richtlinien des ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors; www.icmje.org) zur Autorenschaft eingehalten. Ich erkläre ferner, dass ich mich zur Einhaltung der Satzung der Charité – Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis verpflichte.

Weiterhin versichere ich, dass ich diese Dissertation weder in gleicher noch in ähnlicher Form bereits an einer anderen Fakultät eingereicht habe.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§§156, 161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Datum

Unterschrift

Anteilerklärung an etwaigen erfolgten Publikationen

Amelie Friederike Panthen hatte folgenden Anteil an der folgenden Publikation:

Publikation 1: Julia Funk, Amelie Panthen, M. Sinan Bakir, Franziska Gruschke, Akosua Sarpong, Christiane Wagner, Susanne Lebek, Ernst Johannes Haberl.

“Predictors for the benefit of selective dorsal rhizotomy”, Research in Developmental Disabilities, 37, pp 127-34.

Beitrag im Einzelnen:

Mitentwicklung Studienkonzept (zu etwa 25% durch Frau Panthen): Testauswahl, Patientenauswahl, Follow-up-Termin-Auswahl.

Datenerhebung: Erfassung aller Rohdaten (100%), anteilig eigenständige Testdurchführung (ca. 25%).

Postprocessing der Rohdaten zu 100% durch Frau Panthen.

Statistische Auswertung der Daten zu 67% durch Frau Panthen, Festlegung der statistischen Methoden im Team (alle Autoren beteiligt).

Konzeption Manuskript: zu 25% Frau Panthen - vor allem Material und Methoden und Ergebnisse.

Beitrag zu Einleitung und Diskussion durch Literaturrecherche und Exzerpte dieser.

Erstellung Tabelle 49: ebenfalls etwa 33% durch Frau Panthen.

Unterschrift, Datum und Stempel der erstbetreuenden Hochschullehrerin

Unterschrift der Doktorandin

8 Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version der Arbeit nicht veröffentlicht.

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version der Arbeit nicht veröffentlicht.

9 Publikationsliste

Titel: "Predictors for the benefit of selective dorsal rhizotomy"

Autoren: Julia Funk, Amelie Panthen, M. Sinan Bakir, Franziska Gruschke, Akosua Sarpong, Christiane Wagner, Susanne Lebek, Ernst Johannes Haberl.

Journal: Research in Developmental Disabilities, 37, pp 127-34.

10 Danksagung

Mein herzlicher Dank geht an meine Doktormutter PD Dr. med. Julia Funk für die ausdauernde Betreuung. Ebenfalls danke ich meinen Freunden und Henning für die mentale und emotionale Unterstützung und wiederkehrende Motivation.