



**HAL**  
open science

# Effets suprasegmentaires après radicotomie postérieure sélective et rééducation intensive chez les enfants atteints de paralysie cérébrale spastique : résultats multidimensionnels d'une expérience française

Laure Cunnac

## ► To cite this version:

Laure Cunnac. Effets suprasegmentaires après radicotomie postérieure sélective et rééducation intensive chez les enfants atteints de paralysie cérébrale spastique : résultats multidimensionnels d'une expérience française. Médecine humaine et pathologie. 2022. hal-04042769

**HAL Id: hal-04042769**

**<https://hal.univ-lorraine.fr/hal-04042769>**

Submitted on 23 Mar 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



**UNIVERSITÉ  
DE LORRAINE**

**BIBLIOTHÈQUES  
UNIVERSITAIRES**

## AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact bibliothèque : [ddoc-thesesexercice-contact@univ-lorraine.fr](mailto:ddoc-thesesexercice-contact@univ-lorraine.fr)  
(Cette adresse ne permet pas de contacter les auteurs)

## LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

[http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg\\_droi.php](http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php)

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

UNIVERSITE DE LORRAINE  
2022

FACULTE DE MÉDECINE DE NANCY

**THÈSE**  
Pour obtenir le grade de  
**DOCTEUR EN MÉDECINE**

présentée et soutenue publiquement  
dans le cadre du troisième cycle de Médecine Spécialisée  
par

**Laure CUNNAC**

le 30 Juin 2022

**Effets suprasegmentaires après radicotomie postérieure sélective  
et rééducation intensive chez les enfants atteints de paralysie  
cérébrale spastique : résultats multidimensionnels d'une  
expérience française**

Examineurs de la thèse :

M. le Professeur Jean PAYSANT  
M. le Professeur Marc SINDOU  
M. le Docteur Anthony JOUD  
Mme le Docteur Jennifer BASTIEN

*Président*  
*Juge*  
*Juge*  
*Directrice*



UNIVERSITÉ  
DE LORRAINE



FACULTÉ DE  
MÉDECINE / MAÏEUTIQUE /  
MÉTIERES DE LA SANTÉ à NANCY

**Président de l'Université de Lorraine :**  
**Professeur Pierre MUTZENHARDT**

**Doyen de la Faculté de Médecine**  
**Professeur Marc BRAUN**

**Vice-doyenne**  
Pr Louise TYVAERT

**Assesseurs :**

- *Premier cycle* : Dr Nicolas GAMBIER, Dr Thomas SCHWITZER
- *Deuxième cycle* : Pr Antoine KIMMOUN
- *Troisième cycle hors MG* : Pr Marie-Reine LOSSER
- *Troisième cycle MG* : Pr Paolo DI PATRIZIO
- *Vie hospitalo-universitaire* : Pr Stéphane ZUILY
- *Interface avec la Grande Région* : Pr Thomas FUCHS-BUDER
- *Relations Internationales* : Pr Jacques HUBERT
- *Valorisation* : Pr Pascal ESCHWEGE
- *Interface avec les métiers de la santé* : Pr Céline HUSELSTEIN
- *Docimologie* : Dr Jacques JONAS
- *ECOS* : Drs Eva FEIGERLOVA et Patrice GALLET
- *Service sanitaire* : Pr Nelly AGRINIER
- *Lecture critique d'articles* : Drs Jonathan EPSTEIN et Aurélie BANNAY
- *Interface HVL & Réseau Nasce* : Pr Pablo MAUREIRA, Drs Nicla SETTEMBRE et Fabienne LIGIER
- *Etudiant* : Mehdi BELKHITER

**Chargés de mission**

*Orthophonie* : Pr Cécile PARIETTI-WINKLER  
*PASS* : Pr Mathias POUSSEL

=====  
**DOYENS HONORAIRES**

Professeur Jacques ROLAND - Professeur Patrick NETTER - Professeur Henry COUDANE

=====  
**PROFESSEURS HONORAIRES**

Etienne ALIOT - Jean-Marie ANDRE - Alain AUBREGE - Gérard BARROCHE - Alain BERTRAND - Pierre BEY - Marc-André BIGARD - Patrick BOISSEL - Pierre BORDIGONI - Jacques BORRELLY - Michel BOULANGE - Jean-Louis BOUTROY - Laurent BRESLER - Serge BRIANÇON - Jean-Claude BURDIN - Claude BURLET - Daniel BURNEL - François CHERRIER - Henry COUDANE - Jean-Pierre CRANCE - Jean-Pierre DESCHAMPS - Gilbert FAURE - Gérard FIEVE - Bernard FOLIGUET - Jean FLOQUET - Robert FRISCH - Pierre GAUCHER - Jean-Luc GEORGE - Alain GERARD - Hubert GERARD - Jean-Marie GILGENKRANTZ - Simone GILGENKRANTZ - Gilles GROSDIDIER - Philippe HARTEMANN - Gérard HUBERT - Claude HURIET - Jean-Pierre KAHN - Gilles KARCHER - Michèle KESSLER - François KOHLER - Pierre LANDES - Pierre LASCOMBES - Marie-Claire LAXENAIRE - Michel LAXENAIRE - Alain LE FAOU - Jacques LECLERE - Pierre LEDERLIN - Bernard LEGRAS - Bruno LEHEUP - Jean-Pierre MALLIÉ - Philippe MANGIN - François MARCHAL - Jean-Claude MARCHAL - Yves MARTINET - Pierre MATHIEU - Thierry MAY - Michel MERLE - Daniel MOLÉ - Pierre MONIN - Pierre NABET - Patrick NETTER - Jean-Pierre NICOLAS - Francis PENIN - Claude PERRIN - François PLENAT - Jean-Marie POLU - Jacques POUREL - Francis RAPHAEL - Antoine RASPILLER - Denis REGENT - Jacques ROLAND - Daniel SCHMITT - Michel SCHMITT - Jean-Luc SCHMUTZ - Michel SCHWEITZER - Daniel SIBERTIN-BLANC - Claude SIMON - Jean-François STOLTZ - Michel STRICKER - Gilbert THIBAUT - Paul VERT - Hervé VESPIGNANI - Colette VIDAILHET - Michel VIDAILHET - Jean-Pierre VILLEMOT - Denis ZMIROU - Faïez ZANNAD

=====

## PROFESSEURS ÉMÉRITES

Etienne ALIOT - Laurent BRESLER - Serge BRIANÇON - Henry COUDANE - Jean-Pierre CRANCE - Gilbert FAURE - Jean-Pierre KAHN - Michèle KESSLER - Alain LE FAOU - Bruno LEHEUP - Thierry MAY - Patrick NETTER - Jean-Pierre NICOLAS - Jean-Luc SCHMUTZ - Paul VERT - Faiez ZANNAD

---

---

## PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS

(Disciplines du Conseil National des Universités)

### 42<sup>e</sup> Section : MORPHOLOGIE ET MORPHOGENÈSE

#### 1<sup>re</sup> sous-section : *Anatomie*

Professeur Marc BRAUN - Professeure Manuela PEREZ

#### 2<sup>e</sup> sous-section : *Histologie, embryologie et cytogénétique*

Professeur Christo CHRISTOV

#### 3<sup>e</sup> sous-section : *Anatomie et cytologie pathologiques*

Professeur Guillaume GAUCHOTTE – Professeur Hervé SARTELET

### 43<sup>e</sup> Section : BIOPHYSIQUE ET IMAGERIE MÉDICALE

#### 1<sup>re</sup> sous-section : *Biophysique et médecine nucléaire*

Professeur Pierre-Yves MARIE – Professeur Pierre OLIVIER - Professeur Antoine VERGER

#### 2<sup>e</sup> sous-section : *Radiologie et imagerie médicale*

Professeur René ANXIONNAT - Professeur Alain BLUM - Professeur Serge BRACARD - Professeure Valérie CROISÉ - Professeur Jacques FELBLINGER - Professeur Benjamin GORY - Professeur Damien MANDRY - Professeur Pedro GONDIM TEIXEIRA

### 44<sup>e</sup> Section : BIOCHIMIE, BIOLOGIE CELLULAIRE ET MOLÉCULAIRE, PHYSIOLOGIE ET NUTRITION

#### 1<sup>re</sup> sous-section : *Biochimie et biologie moléculaire*

Professeur Jean-Louis GUEANT - Professeur David MEYRE - Professeur Bernard NAMOUR - Professeur Jean-Luc OLIVIER - Professeur Abderrahim OUSSALAH

#### 2<sup>e</sup> sous-section : *Physiologie*

Professeur Christian BEYAERT - Professeur Bruno CHENUJEL - Professeur Mathias POUSSEL

#### 3<sup>e</sup> sous-section : *Biologie cellulaire*

Professeure Véronique DECOT-MAILLERET

#### 4<sup>e</sup> sous-section : *Nutrition*

Professeur Didier QUILLIOT - Professeure Rosa-Maria RODRIGUEZ-GUEANT - Professeur Olivier ZIEGLER

### 45<sup>e</sup> Section : MICROBIOLOGIE, MALADIES TRANSMISSIBLES ET HYGIÈNE

#### 1<sup>re</sup> sous-section : *Bactériologie – virologie ; hygiène hospitalière*

Professeur Alain LOZNIEWSKI – Professeure Evelyne SCHVOERER

#### 2<sup>e</sup> sous-section : *Parasitologie et Mycologie*

Professeure Marie MACHOUART

#### 3<sup>e</sup> sous-section : *Maladies infectieuses ; maladies tropicales*

Professeure Céline PULCINI - Professeur Christian RABAUD

### 46<sup>e</sup> Section : SANTÉ PUBLIQUE, ENVIRONNEMENT ET SOCIÉTÉ

#### 1<sup>re</sup> sous-section : *Épidémiologie, économie de la santé et prévention*

Professeure Nelly AGRINIER - Professeur Francis GUILLEMIN

#### 4<sup>e</sup> sous-section : *Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication*

Professeure Eliane ALBUISSON - Professeur Nicolas JAY

### 47<sup>e</sup> Section : CANCÉROLOGIE, GÉNÉTIQUE, HÉMATOLOGIE, IMMUNOLOGIE

#### 1<sup>re</sup> sous-section : *Hématologie ; transfusion*

Professeur Pierre FEUGIER – Professeur Thomas LECOMPTE

#### 2<sup>e</sup> sous-section : *Cancérologie ; radiothérapie*

Professeur Thierry CONROY - Professeur Frédéric MARCHAL - Professeur Didier PEIFFERT

#### 3<sup>e</sup> sous-section : *Immunologie*

Professeur Marcelo DE CARVALHO-BITTENCOURT - Professeure Marie-Thérèse RUBIO

#### 4<sup>e</sup> sous-section : *Génétique*

Professeur Philippe JONVEAUX

### 48<sup>e</sup> Section : ANESTHÉSIOLOGIE, RÉANIMATION, MÉDECINE D'URGENCE, PHARMACOLOGIE ET THÉRAPEUTIQUE

#### 1<sup>re</sup> sous-section : *Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire*

Professeur Gérard AUDIBERT - Professeur Hervé BOUAZIZ - Professeur Thomas FUCHS-BUDER  
Professeure Marie-Reine LOSSER - Professeur Claude MEISTELMAN

#### 2<sup>e</sup> sous-section : *Médecine intensive-réanimation*

Professeur Sébastien GIBOT - Professeur Bruno LÉVY - Professeur Antoine KIMMOUN

#### 3<sup>e</sup> sous-section : *Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie*

Professeur Pierre GILLET - Professeur Jean-Yves JOUZEAU

**4<sup>e</sup> sous-section : Thérapeutique-médecine de la douleur ; addictologie**

Professeur Nicolas GIRERD - Professeur Patrick ROSSIGNOL

**5<sup>e</sup> sous-section : Médecine d'urgence**

Professeur Tahar CHOUIHED

**49<sup>e</sup> Section : PATHOLOGIE NERVEUSE ET MUSCULAIRE, PATHOLOGIE MENTALE, HANDICAP ET RÉÉDUCATION**

**1<sup>re</sup> sous-section : Neurologie**

Professeur Marc DEBOUVERIE - Professeur Louis MAILLARD - Professeur Sébastien RICHARD - Professeur Luc TAILLANDIER Professeure Louise TYVAERT

**2<sup>e</sup> sous-section : Neurochirurgie**

Professeur Thierry CIVIT - Professeure Sophie COLNAT-COULBOIS - Professeur Olivier KLEIN

**3<sup>e</sup> sous-section : (Psychiatrie d'adultes ; addictologie**

Professeur Vincent LAPREVOTE - Professeur Raymund SCHWAN

**4<sup>e</sup> sous-section : Pédo-psychiatrie ; addictologie**

Professeur Bernard KABUTH

**5<sup>e</sup> sous-section : Médecine physique et de réadaptation**

Professeur Jean PAYSANT

**50<sup>e</sup> Section : PATHOLOGIE OSTÉO-ARTICULAIRE, DERMATOLOGIE ET CHIRURGIE PLASTIQUE**

**1<sup>re</sup> sous-section : Rhumatologie**

Professeure Isabelle CHARY-VALCKENAERE - Professeur Damien LOEUILLE

**2<sup>e</sup> sous-section : Chirurgie orthopédique et traumatologique**

Professeur Laurent GALOIS - Professeur Didier MAINARD - Professeur François SIRVEAUX

**3<sup>e</sup> sous-section : Dermato-vénérologie**

Professeure Anne-Claire BURSZTEJN

**4<sup>e</sup> sous-section : Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique ; brûlologie**

Professeur François DAP - Professeur Gilles DAUTEL - Professeur Etienne SIMON

**51<sup>e</sup> Section : PATHOLOGIE CARDIO-RESPIRATOIRE ET VASCULAIRE**

**1<sup>re</sup> sous-section : Pneumologie ; addictologie**

Professeur Jean-François CHABOT - Professeur Ari CHAOUAT

**2<sup>e</sup> sous-section : Cardiologie**

Professeur Edoardo CAMENZIND - Professeur Christian de CHILLOU DE CHURET – Professeur Olivier HUTTIN  
Professeur Batric POPOVIC - Professeur Nicolas SADOUL

**3<sup>e</sup> sous-section : Chirurgie thoracique et cardiovasculaire**

Professeur Juan-Pablo MAUREIRA - Professeur Stéphane RENAUD

**4<sup>e</sup> sous-section : Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire**

Professeur Sergueï MALIKOV - Professeur Denis WAHL – Professeur Stéphane ZUILY

**52<sup>e</sup> Section : MALADIES DES APPAREILS DIGESTIF ET URINAIRE**

**1<sup>re</sup> sous-section : Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie**

Professeur Jean-Pierre BRONOWICKI - Professeur Laurent PEYRIN-BIROULET

**2<sup>e</sup> sous-section : Chirurgie viscérale et digestive**

Professeur Ahmet AYAV - Professeur Laurent BRUNAUD – Professeure Adeline GERMAIN

**3<sup>e</sup> sous-section : Néphrologie**

Professeur Luc FRIMAT - Professeure Dominique HESTIN

**4<sup>e</sup> sous-section : Urologie**

Professeur Pascal ESCHWEGE - Professeur Jacques HUBERT

**53<sup>e</sup> Section : MÉDECINE INTERNE, GÉRIATRIE ET MÉDECINE GÉNÉRALE**

**1<sup>re</sup> sous-section : Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie**

Professeur Athanase BENETOS - Professeur Jean-Dominique DE KORWIN - Professeure Gisèle KANNY  
Professeure Christine PERRET-GUILLAUME – Professeur Roland JAUSSAUD – Professeure Laure JOLY

**3<sup>e</sup> sous-section : Médecine générale**

Professeur Jean-Marc BOIVIN - Professeur Paolo DI PATRIZIO

**54<sup>e</sup> Section : DÉVELOPPEMENT ET PATHOLOGIE DE L'ENFANT, GYNÉCOLOGIE-OBSTÉTRIQUE, ENDOCRINOLOGIE ET REPRODUCTION**

**1<sup>re</sup> sous-section : Pédiatrie**

Professeur Pascal CHASTAGNER - Professeur François FEILLET - Professeur Jean-Michel HASCOET -  
Professeur Cyril SCHWEITZER

**2<sup>e</sup> sous-section : Chirurgie infantile**

Professeur Pierre JOURNEAU - Professeur Jean-Louis LEMELLE

**3<sup>e</sup> sous-section : Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale**

Professeur Philippe JUDLIN - Professeur Olivier MOREL

**4° sous-section : Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques ; gynécologie médicale**  
Professeur Bruno GUERCI - Professeur Marc KLEIN - Professeur Georges WERYHA

**55° Section : PATHOLOGIE DE LA TÊTE ET DU COU**

**1° sous-section : Oto-rhino-laryngologie**

Professeur Roger JANKOWSKI - Professeure Cécile PARIETTI-WINKLER - Professeure Cécile RUMEAU

**2° sous-section : Ophtalmologie**

Professeure Karine ANGIOI - Professeur Jean-Paul BERROD – Professeur Jean-Baptiste CONART

**3° sous-section : Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie**

Professeure Muriel BRIX

=====

**PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS**

**61° Section : GÉNIE INFORMATIQUE, AUTOMATIQUE ET TRAITEMENT DU SIGNAL**

Professeur Walter BLONDEL

**64° Section : BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLÉCULAIRE**

Professeure Sandrine BOSCHI-MULLER - Professeur Pascal REBOUL

**65° Section : BIOLOGIE CELLULAIRE**

Professeure Céline HUSELSTEIN

**66° Section : PHYSIOLOGIE**

Professeur Nguyen TRAN

=====

**PROFESSEUR ASSOCIÉ DE MÉDECINE GÉNÉRALE**

**53° Section, 3° sous-section : Médecine générale**

Professeure associée Sophie SIEGRIST

Professeur associé Olivier BOUCHY

=====

**MAÎTRES DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS**

**42° Section : MORPHOLOGIE ET MORPHOGENÈSE**

**1° sous-section : Anatomie**

Docteur Bruno GRIGNON

**44° Section : BIOCHIMIE, BIOLOGIE CELLULAIRE ET MOLÉCULAIRE, PHYSIOLOGIE ET NUTRITION**

**1° sous-section : Biochimie et biologie moléculaire**

Docteure Shyue-Fang BATTAGLIA - Docteure Sophie FREMONT - Docteure Isabelle GASTIN –

Docteure Catherine MALAPLATE - Docteur Marc MERTEN

**2° sous-section : Physiologie**

Docteure Iulia-Cristina IOAN (stagiaire) - Docteur Jacques JONAS

**45° Section : MICROBIOLOGIE, MALADIES TRANSMISSIBLES ET HYGIÈNE**

**1° sous-section : Bactériologie – Virologie ; hygiène hospitalière**

Docteure Corentine ALAUZET - Docteure Hélène JEULIN - Docteure Véronique VENARD

**2° sous-section : Parasitologie et mycologie**

Docteure Anne DEBOURGOGNE

**46° Section : SANTÉ PUBLIQUE, ENVIRONNEMENT ET SOCIÉTÉ**

**1° sous-section : Epidémiologie, économie de la santé et prévention**

Docteur Cédric BAUMANN - Docteure Frédérique CLAUDOT - Docteur Arnaud FLORENTIN - Docteur Jonathan EPSTEIN –

Docteur Abdou OMOROU (stagiaire)

**2° sous-section Médecine et Santé au Travail**

Docteure Isabelle THAON

**47° Section : CANCÉROLOGIE, GÉNÉTIQUE, HÉMATOLOGIE, IMMUNOLOGIE**

**1° sous-section : Hématologie ; transfusion**

Docteur Julien BROSEUS – Docteure Maud D'AVENI

**2° sous-section : Cancérologie ; radiothérapie**

Docteure Lina BOLOTINE

**3° sous-section : Immunologie**

Docteure Alice AARNINK

**4° sous-section : Génétique**

Docteure Céline BONNET - Docteure Mathilde RENAUD

**48° Section : ANESTHÉSIOLOGIE, RÉANIMATION, MÉDECINE D'URGENCE, PHARMACOLOGIE ET**

## THÉRAPEUTIQUE

**1<sup>er</sup> sous-section : Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire**

Docteur Philippe GUERCI

**3<sup>er</sup> sous-section : Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie**

Docteur Nicolas GAMBIER - Docteure Françoise LAPICQUE - Docteur Julien SCALA-BERTOLA

## 49<sup>e</sup> Section : PATHOLOGIE NERVEUSE ET MUSCULAIRE, PATHOLOGIE MENTALE, HANDICAP ET RÉÉDUCATION

**2<sup>e</sup> sous-section : Neurochirurgie**

Docteur Fabien RECH

**3<sup>e</sup> sous-section : Psychiatrie d'adultes ; addictologie**

Docteur Thomas SCHWITZER

**4<sup>e</sup> sous-section : Pédiopsychiatrie ; addictologie**

Docteur Fabienne ROUYER-LIGIER

## 50<sup>e</sup> Section : PATHOLOGIE OSTÉO-ARTICULAIRE, DERMATOLOGIE ET CHIRURGIE PLASTIQUE

**4<sup>e</sup> sous-section : Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique ; brûlologie**

Docteure Laetitia GOFFINET-PLEUTRET

## 51<sup>e</sup> Section : PATHOLOGIE CARDIO-RESPIRATOIRE ET VASCULAIRE

**3<sup>e</sup> sous-section : Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire**

Docteur Fabrice VANHUYSSE

**4<sup>e</sup> sous-section : Chirurgie vasculaire ; Médecine vasculaire**

Docteure Nicla SETTEMBRE

## 52<sup>e</sup> Section : MALADIES DES APPAREILS DIGESTIF ET URINAIRE

**1<sup>er</sup> sous-section : Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie**

Docteur Anthony LOPEZ

## 54<sup>e</sup> Section : DEVELOPPEMENT ET PATHOLOGIE DE L'ENFANT, GYNECOLOGIE-OBSTETRIQUE, ENDOCRINOLOGIE ET REPRODUCTION

**1<sup>er</sup> sous-section : Pédiatrie**

Docteure Cécile POCHON – Docteur Amandine DIVARET-CHAUVEAU (stagiaire)

**3<sup>e</sup> sous-section : Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale**

Docteur Charline BERTHOLD (stagiaire)

**4<sup>e</sup> sous-section : Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques ; Gynécologie médicale**

Docteure Eva FEIGERLOVA

**5<sup>e</sup> sous-section : Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale**

Docteur Mikhaël AGOPIANTZ

## 55<sup>e</sup> Section : PATHOLOGIE DE LA TÊTE ET DU COU

**1<sup>er</sup> sous-section : Oto-Rhino-Laryngologie**

Docteur Patrice GALLET

=====

## MAÎTRES DE CONFÉRENCES

### 5<sup>e</sup> Section : SCIENCES ÉCONOMIQUES

Monsieur Vincent LHUILLIER

### 7<sup>e</sup> Section : SCIENCES DU LANGAGE : LINGUISTIQUE ET PHONETIQUE GÉNÉRALES

Madame Christine DA SILVA-GENEST

### 19<sup>e</sup> Section : SOCIOLOGIE, DÉMOGRAPHIE

Madame Joëlle KIVITS

### 63<sup>e</sup> Section : GÉNIE ÉLECTRIQUE, ÉLECTRONIQUE, PHOTONIQUE ET SYSTÈMES

Madame Pauline SOULET LEFEBVRE

### 64<sup>e</sup> Section : BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLÉCULAIRE

Madame Marie-Claire LANHERS - Monsieur Nick RAMALANJAONA

### 65<sup>e</sup> Section : BIOLOGIE CELLULAIRE

Madame Nathalie AUCHET – Madame Rümeyza BASCETIN (stagiaire) - Madame Natalia DE ISLA-MARTINEZ –

Monsieur Christophe NEMOS – Monsieur Simon TOUPANCE (stagiaire)

### 69<sup>e</sup> Section : NEUROSCIENCES

Madame Sylvie MULTON=====

## MAÎTRES DE CONFÉRENCES ASSOCIÉS DE MÉDECINE GÉNÉRALE

**53<sup>e</sup> Section, 3<sup>e</sup> sous-section : (Médecine générale)**

Docteur Cédric BERBE – Docteur Antoine CANTON - Docteur Jean-Charles VAUTHIER



=====

**DOCTEURS HONORIS CAUSA**

Professeur Pierre-Marie GALETTI (1982)  
*Brown University, Providence (U.S.A)*  
Professeure Mildred T. STAHLMAN (1982)  
*Vanderbilt University, Nashville (U.S.A)*  
Professeur Théodore H. SCHIEBLER (1989)  
*Institut d'Anatomie de Würzburg (R.F.A)*  
Professeur Mashaki KASHIWARA (1996)  
*Research Institute for Mathematical Sciences de  
Kyoto (JAPON)*

Professeur Ralph GRÄSBECK (1996)  
*Université d'Helsinki (FINLANDE)*  
Professeur Duong Quang TRUNG (1997)  
*Université d'Hô Chi Minh-Ville (VIËTNAM)*  
Professeur Daniel G. BICHET (2001)  
*Université de Montréal (Canada)*  
Professeur Marc LEVENSTON (2005)  
*Institute of Technology, Atlanta (USA)*

Professeur Brian BURCHELL (2007)  
*Université de Dundee (Royaume-Uni)*  
Professeur Yunfeng ZHOU (2009)  
*Université de Wuhan (CHINE)*  
Professeur David ALPERS (2011)  
*Université de Washington (U.S.A)*  
Professeur Martin EXNER (2012)  
*Université de Bonn (ALLEMAGNE)*

À mon Maître et Président du Jury,

Monsieur le Professeur PAYSANT Jean,

Professeur des Universités, Praticien Hospitalier de Médecine Physique et de Réadaptation

Vous me faites l'honneur de présider ce jury de thèse.

Je tiens tout particulièrement à vivement vous remercier pour votre accompagnement bienveillant, vos encouragements systématiques et votre disponibilité sans faille depuis mon arrivée dans la région.

À mon Maître et Juge,

Monsieur le Professeur SINDOU Marc,

Professeur des Universités, Praticien Hospitalier de Neurochirurgie

En tant que pionnier de la chirurgie de la spasticité, c'est un honneur de vous avoir parmi les membres de ce jury. Soyez assuré de toute ma gratitude et de mon profond respect à votre égard.

À mon Maître et Juge,

Monsieur le Docteur JOUD Anthony,

Praticien Hospitalier de Neurochirurgie

Vous me faites l'honneur de juger ce travail, veuillez trouver ici mes sincères remerciements et l'assurance de ma profonde estime à votre égard. Je vous souhaite une brillante carrière.

À ma Directrice de thèse,

Madame le Docteur BASTIEN Jennifer,

Docteur en Médecine Physique et de Réadaptation

Je te remercie pour ta confiance tout au long de ces années. Ta ténacité et ton efficacité sont un modèle pour moi. Sois assurée de toute ma considération.

## REMERCIEMENTS

### **A ma famille :**

A ma grand-mère. Tu as la plus haute distinction hiérarchique et c'est pas une mince affaire d'être à la tête de cette SARL ; R-E-S-P-E-C-T comme dirait Aretha.

A mes parents, Maman et Papa (ah ! ça fait bizarre hein d'inverser le fameux binôme irréversible !). Sans votre ADN, tout ça aurait été impossible (mais sans mon ADN, bye bye la 4<sup>ème</sup> part du quotient familial).

A mes frères, Pierre et Fabien (par ordre de naissance), ou Fabien et Pierre (par ordre décroissant de taille), ou Pierre (par ordre de détention d'objets en triple voire quadruple exemplaire), ou Fabien (par ordre d'intérêt pour les grues, bennes, et autres flexibles hydrauliques). On s'marre bien tous les 3 !

A mes belles-sœurs, Marie et Charline. Rappelez-vous que le lien étroit biologique que j'entretiens avec mes frères sera toujours plus fort que n'importe quel autre lien que vous entretenez/entretiendrez avec eux. Mais merci infiniment de prendre si bien soin d'eux, ils le méritent.

A mon filleul, Roméo. En te souhaitant un destin moins funeste que Roméo de Shakespeare, mais je suis très confiante sur ce point, t'es un génie en devenir toi, preuve en est, tu tenais ta tête à tout juste 3 mois. A voir si ton/ta cousin/cousine te talonne !

A mes oncles, tantes, cousins, cousines. Votre discrète gravitation autour de moi est toujours un plaisir (pas au sens strict du terme, imaginez, une vingtaine de personnes qui tournerait autour de moi dans tous les sens, 1/ ce serait une grosse amputation du champ visuel, 2/ ça donnerait la nausée et 3/ ce serait une sacrée perte de temps pour vous avec un risque non négligeable de collisions).

A ceux qui nous ont déjà quittés. Voici là l'occasion de vous accorder les honneurs que vous méritez : une ligne sur une page de remerciements. Bon je sais, c'est insuffisant, mais j'avais pas le budget pour une banderole aérienne à l'arrière d'un Alphajet.

A Le Chat, cette boule de poils inoffensive qui m'aime inconditionnellement (ou presque #croquettes).

### **A mes vieilles (et moins vieilles) amies :**

Mathilde, la jeune avocate déjà trop mûre, qui est 90% de son temps professionnelle et 90% de son temps hobbyiste. Non elle n'est pas 180%, elle maîtrise juste le multitâche.

Marie, qui trouve pratique d'habiter à proximité d'une station-service, parce qu'on peut y aller à pied. Dommage que tu l'aies pas mis en pratique pffff !

Aurélie, arrête de t'user à la tâche à accompagner des élèves, va plutôt décrocher le pactole à *N'oubliez pas les paroles*.

Alice B, l'être le plus concentrique que je connaisse. Et merci pour tes décodages des Marvel.

Lydie, ta discrétion n'a d'égal que ta gentillesse.

Alice F, tu sais toute l'affection que je te porte, « right up to the moon – and ... ».

**A tous les co-internes et/ou ex-co-externes-devenus-internes :**

De l'époque Clermont-Ferrandaise avec Chloé, Lena, Natasha, Stéphane, Gaspard, Laura ; de MPR & Cie avec Fabien & Vicky® (best AirBnB ever, je vous souhaite ABSOLUMENT le meilleur à tous les deux), Fabien 2 #Muscufab, Adeline, Le Roi Arthur, Marion(nette), Pr Pierrick, Bouchra, Mathilde, Manon, Reema, Rémi, Magalie, Vincent, Jessie, Sarah, Dorian, Benjamin, Alexandre, Pauline, Julie, Yanis, Estelle, Emma et les plus jeunes ; de BLD City avec Anne-Laure (cœur cœur cœur avec les doigts), Trécya, Arnaud, Thibault, Sally, Amandine Henry (lol) ; de Neuro Metz avec Sarah, Marina, Romain, Marius, Abdoulaye, Rodrigue, Grace, Alice ; de Verdun avec Astrid l'indomptable, Corentin, Clem, Max, Claire, Manon, Alizée & Charles, Manu, LA, Emilie & Jean-Eudes, Thomas, Aymen, Sandie, Céline, Alice, John ; de Paname avec Fidel, Domitille, Arnaud, Maxime, Marion, Tatiana. Et tous ceux que j'oublie.

**A toutes les équipes qui m'ont reçue**, médecins, rééducateurs, soignants, secrétaires médicales, cadres, j'ai pu constater que le système de soin est loin d'être en déficit de sourires (y compris face à mes blagues les plus pourries) :

Dr FRASER, Dr KHALIL, Dr GUESDON, Dr LE CHAPELAIN, Dr BERTONI, Dr BADIN, Dr BEZ, Dr MOREAU, Véronique, Isabelle, Marie-Christine, Laure<sup>2</sup>, Marion, Julie, .....

Dr VOIRANT, Dr DELATTE, Dr NOURINE, Dr ROUYER, Marif, Marianne, .....

Dr BASTIEN, Dr NGUYEN, Dr REGEF, Dr JOUD, Dr TASSIN, Karine, Isabelle, Dominique, Clarisse, Fanny, Angélique, Sabine, Flo<sup>2</sup>, Marine, Nicolas, .....

Dr FOISNEAU-LOTTIN, Dr TOUILLET, Dr FRENAY, Dr LOIRET, Dr CLAUDON, Dr DATIE, .....

Pr DUCROCQ, Dr DUCROCQ, Dr ENEA, Dr WITTWER, Dr CHERAUD-BONFORT, Dr WAGNER, Dr BAILLOT, Dr GUARAGNA, Annie, Maud, Martine, Alex, Caro, Mégane<sup>2</sup>, .....

Dr DROUIN, Dr MAIRE, Isabelle, Alex, Camille, Jennifer, Stéphanie, Séb, Gaëlle, Anne, Rachel, Myriam, Claire, Solène, .....

Pr DENYS, Pr GIULIANO, Dr EVEN, Dr BALANCA, Dr WELNIARZ, Dr JOUSSAIN, Pr CHARTIER-KASTLER, Dr POPELIN, Dr ROD, Dr BAZINET, Blandine, Laureleen-Rihanna, Maud, Naïma, Vincent, Servane, Ingrid, Mylène, Sophie, Julie, Sandra, Audrey, Isa, Françoise, Caro.....

**A tous, merci.**

## SERMENT

« Au moment d'être admise à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité. Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux. Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions. J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité. J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences. Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences. Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera. Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admise dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me sont confiés. Reçue à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs. Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences.

Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité.

Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonorée et méprisée si j'y manque ».



## LISTE DES ABRÉVIATIONS

### FRANCAIS :

AAP	Amplitudes Articulaires Passives (=PROM)
AVQ	Activités de Vie Quotidienne
EMFG	Evaluation Motrice Fonctionnelle Globale (=GMFM)
MI	Membre Inférieur
MIF Mômes	Mesure d'Indépendance Fonctionnelle de l'enfant (=WeeFIM)
MS	Membre Supérieur
PC	Paralysie Cérébrale
RDS	Radicotomie Dorsale Sélective = Radicotomie Postérieure Sélective (=SDR)
TDM-6	Test de Marche des 6 Minutes

### ANGLAIS :

6-MWT	Six-Minute Walk Test
ADL	Activities of Daily Living
BBT	Box and Block Test
CFCS	Communication Function Classification System
CP	Cerebral Palsy
FLACC	Face Legs Activity Cry Consolability
GAS	Goal Attainment Scale
GMFCS	Gross Motor Function Classification System
GMFM	Gross Motor Function Measure
KIDr	Keyhole Interlaminar Dorsal rhizotomy
LE	Lower Extremity
LSS	Level Sitting Scale
MACS	Manual Ability Classification System
MAS	Modified Ashworth Scale
MMA	Modified Melbourne Assessment = Melbourne Assessment 2
PEDI	Pediatric Evaluation of disability Inventory
PROM	Passive Range Of Motion
QUEST	Quality of Upper Extremity Skills Test
RIC-FAS	Rehabilitation Institute of Chicago Functional Assessment Scale
SATCo	Segmental Assessment of Trunk Control
SDR	Selective Dorsal Rhizotomy = SPR Selective Posterior Rhizotomy = Functional posterior/dorsal rhizotomy
SMC	Selective motor control
TCMS	Trunk Control Measurement Scale
TIS	Trunk Impairment Scale
UE	Upper Extremity
VAS	Visual analogue scale
WeeFIM	Functional Independence Measure for children

## TABLE DES MATIÈRES

<b>1-Présentation du sujet</b> .....	18
Généralités sur la paralysie cérébrale .....	19
Spasticité.....	21
Radicotomie dorsale sélective .....	21
Effets suprasegmentaires .....	22
Rationnel de l'étude.....	28
<b>2-Article</b> .....	29
Abstract.....	30
Introduction .....	31
Objective.....	32
Methods .....	32
Patients.....	33
Surgical procedure .....	33
Assessments .....	34
Upper limbs.....	34
Trunk.....	35
Drooling .....	36
Others .....	37
Results .....	37
Upper limbs .....	37
Trunk.....	43
Drooling.....	44
Others.....	44
Discussion.....	46
Methodological considerations .....	46
Assessments limitations.....	47
Upper limbs.....	47
Trunk.....	50
Drooling .....	51

Others .....	51
Confounding factors .....	53
Conclusion .....	57
Acknowledgments .....	57
<b>3-Conclusions et perspectives .....</b>	<b>58</b>
Conclusion générale .....	59
Physiopathologie .....	61
Alternatives à la RDS .....	63
Perspectives pour mon exercice futur.....	66
<b>Bibliographie.....</b>	<b>68</b>
<b>Annexes .....</b>	<b>82</b>
<i>Appendix I. Gross Motor Function Classification System .....</i>	<i>83</i>
<i>Appendix II. Tableau récapitulatif de la revue de littérature sur les études évaluant les effets suprasegmentaires, suivant la trame établie par Steinbok .....</i>	<i>84</i>
<i>Appendix III. Description of children.....</i>	<i>92</i>
<i>Appendix IV. Selective motor control scale, from 0 to 2 .....</i>	<i>94</i>
<i>Appendix V. Levame scale, for finger muscle strength .....</i>	<i>94</i>
<i>Appendix VI. Items of the Modified Melbourne Assessment MMA .....</i>	<i>95</i>
<i>Appendix VII. Items of the ABILHAND-Kids questionnaire .....</i>	<i>96</i>
<i>Appendix VIII. Segmental Assessment of Trunk Control (SATCo).....</i>	<i>97</i>
<i>Appendix IX. The drooling questionnaire (English version).....</i>	<i>98</i>
<i>Appendix X. Summary table of the different results expressed on the number of tested children for each test, according to the ICF .....</i>	<i>99</i>
<i>Appendix XI. Pressure distribution mapping in a seated position .....</i>	<i>100</i>
<i>Appendix XII. Intensive Occupational and Physical Therapy.....</i>	<i>103</i>
<i>Appendix XIII. Notable intercurrent elements after SDR.....</i>	<i>104</i>

# **1 – PRESENTATION DU SUJET**

## **Généralités sur la paralysie cérébrale**

Etudiée depuis longtemps, la paralysie cérébrale (PC) est en fait véritablement définie pour la première fois en 1964 par Bax et al [1], à l'occasion d'une rencontre d'un groupe de travail international, comme « un trouble du mouvement et de la posture dû à un défaut ou à une lésion du cerveau immature ». Cette définition visait à être facilement traduisible et largement acceptée. En fait, cette phrase reste trop imprécise, c'est pourquoi Mutch et al [2] ont développé une définition qui précise l'aspect non progressif de la pathologie, en 1992 : « un terme générique couvrant un groupe de syndromes non progressifs, mais souvent changeants, de déficience motrice secondaire à des lésions ou des anomalies du cerveau survenant aux premiers stades de développement ».

Dans le monde, le nombre d'enfants atteints de PC augmente depuis 1970 [3] (bien que Paneth et al [4] suggèrent que sa tendance serait à la baisse) ; le risque de PC augmente en raison des taux de survie accrus de ces nourrissons dont les facteurs de risque sont les naissances prématurées et très prématurées [5]. Le travail de Bhushan montre que la gestion croissante des soins intensifs néonataux semble avoir pour effet secondaire une augmentation de la prévalence de la PC [6]. En effet, la PC touchait environ 1,5 naissances pour 1000 dans les années 1960 [7] et aujourd'hui, ce trouble touche 2,0 à 2,5 naissances vivantes pour 1000 [3,8], avec un sex-ratio garçon/fille variant de 1,1:1 à 1,5:1 [8] et une prévalence plus élevée de la PC dans les milieux sociaux défavorisés [7] ; en France dans les années 2000, la prévalence de la PC est de 2 naissances vivantes pour 1000 et l'incidence de 1500 nouveaux cas chaque année [9].

Pakula et al ont détaillé les causes et les facteurs de risque, précisant que l'étiologie multifactorielle s'est avérée être la règle générale [8]. Ces causes et facteurs de risque, quel que soit le moment de l'événement, comprennent : un poids de naissance extrêmement faible (<1 000 g) et un poids de naissance très faible (<1 500 g), la prématurité, l'encéphalopathie néonatale, la grossesse multiple, la procréation médicalement assistée, les infections (infection intra-utérine ascendante en premier lieu) et l'inflammation, les accidents vasculaires cérébraux, et les facteurs génétiques (par

exemple les polymorphismes nucléotidiques simples au sein de protéines et les thrombophilies) interagissant avec les facteurs environnementaux, et dans la période néonatale en particulier [3] il existe plus spécifiquement les crises d'épilepsies néonatales, septicémies, traumatismes crâniens et événements respiratoires.

Même si la définition de la PC se concentre sur la déficience motrice associée au syndrome spastique, la PC est souvent accompagnée de déficiences et de conditions connexes telles que la déficience cognitive, les troubles du comportement, l'épilepsie, des déficiences sensitives, la douleur chronique, les déficiences visuelles et du langage, la perte auditive, les problèmes oro-gastro-intestinaux et alimentaires, les problèmes de croissance et endocriniens, les problèmes urogénitaux, la fatigue physique [7,8,10]. Les incapacités varient en fonction des lésions cérébrales causales et sont susceptibles d'évoluer avec le temps.

Une fois le diagnostic de PC posé, il faut prendre en charge ; l'équipe du Mary Sheridan Centre for Child Health propose les grands principes de la prise en charge [11] : optimiser les capacités fonctionnelles, diminuer les malformations musculosquelettiques secondaires et gérer les comorbidités, au sein d'une équipe multidisciplinaire intégrée dotée d'une expertise appropriée, utilisant les médicaments, la rééducation et la réadaptation (thérapeutes, appareillage) et la chirurgie (orthopédie, neurochirurgie).

La plupart des enfants atteints de PC auront la spasticité comme principal trouble neuro-moteur [12] et les classifications traditionnelles se sont concentrées principalement sur les membres affectés (hémiplégie, diplégie, quadriplégie) et/ou sur la description de la nature prédominante de l'anomalie du tonus ou du mouvement (spastique, dyskinétique, ataxique) [10]. Les conséquences fonctionnelles de ces troubles moteurs ont été classées à l'aide d'échelles fonctionnelles objectives; Palisano et al [13] ont élaboré un système de classification à cinq niveaux appelé Gross Motor Function Classification System for CP (GMFCS) traduit en français par Système de classification de la fonction motrice globale de la PC (**Annexe I**), cette classification est toujours largement utilisée à l'échelle internationale aujourd'hui [14].

## **Spasticité**

La spasticité est un défi majeur de la rééducation des enfants atteints de PC. Mais qu'est-ce que la spasticité ? « La spasticité est la résistance vitesse-dépendante à l'étirement d'un muscle. La spasticité est définie comme une hypertonie dans laquelle un ou les deux signes suivants sont présents : 1) la résistance d'une articulation à un mouvement imposé par une manœuvre externe augmente avec la vitesse de l'étirement et varie avec la direction du mouvement articulaire, et/ou 2) la résistance au mouvement imposé par une manœuvre externe s'accroît rapidement au-dessus d'une vitesse seuil ou d'un angle articulaire » [15], il s'agit d'une partie du syndrome pyramidal (hyperréflexie, clonus, signe de Babinski, faiblesse, perte de dextérité, syncinésies). L'outil de mesure principal pour l'examen physique de la spasticité est l'échelle d'Ashworth ou échelle d'Ashworth modifiée (Modified Ashworth Scale = MAS) [16] mesurée sur un enfant détendu et passif.

La stratégie de traitement de la spasticité chez les enfants atteints de PC [12] comprend les médicaments par voie orale, la kinésithérapie et l'ergothérapie, les orthèses et plâtres, la toxine botulique ou la chimiodénervation, la chirurgie orthopédique, le baclofène intrathécal et la radicotomie dorsale sélective, en fonction de la localisation et de l'intensité de la spasticité.

## **Radicotomie dorsale sélective**

Au début des années 1900, la radicotomie dorsale sélective (RDS) a été introduite pour le traitement de la spasticité des enfants atteints de PC spastique pour la première fois en Allemagne, sur la base de la technique de Foerster qui était plutôt grossière et se compliquait par une perte sensitive, une modification de la proprioception, et des dysfonctionnements vésico-sphinctériens [17]. Puis Gros (France) a révisé la procédure dans les années 1960 en sectionnant partiellement les racines dorsales sous électromyographie. Dans les années 1970, Fasano [18] a décrit la réponse d'une racine physiologique (non pathologique) à un train de stimulus électrique comme provoquant la contraction d'un seul muscle ou groupe musculaire, les réponses étant toujours les mêmes. Et à l'inverse, il a décrit dans la PC la réponse d'une racine nerveuse pathologique comme provoquant

une réponse exagérée à la stimulation. Ces observations sont le support pour guider la procédure chirurgicale en évaluant le degré d'implication de la racine dans la spasticité et donc la proportion de la racine pathologique à sectionner. Dans le même temps, Sindou [19] a noté une réduction de la spasticité suite à sa technique de DREZotomie (initialement développée pour le traitement de la douleur) et a également effectué des RDS sur la base de la technique de Gros, hormis la section. A partir de cette période, plusieurs techniques de radicotomies ont été développées [17,20] : dans les années 1980 la technique de Peacock [21,22], dans les années 1990 celle de Parc et celle de Steinbok, et dans les années 2000 celle de Morota [23,24] puis récemment celle de Sindou [25]. En bref, sur le principe, la RDS consiste en une laminectomie lumbosacrée permettant de visualiser les racines à mesure qu'elles émergent, puis la reconnaissance de la racine dorsale cible provient de la stimulation des racines nerveuses ventrales/motrices à chaque niveau, et enfin la stimulation électrique de chaque racine dorsale/sensorielle identifiée évalue son degré d'implication dans la spasticité [26,27].

La RDS est maintenant un outil largement accepté pour réduire la spasticité des membres inférieurs chez les enfants atteints de PC et différentes expositions ont été développées. Sindou et Georgoulis ont développé la radicotomie dorsale interlaminaire dite 'Keyhole Interlaminar Dorsal rhizotomy (KIDr)' qui « offre un accès direct intradural à chacune des racines ventrales/dorsales, maximisant ainsi la fiabilité de la cartographie anatomique et permettant des tests physiologiques individuels de toutes les racines ciblées. L'approche interlaminaire est moins invasive en respectant les structures postérieures de la colonne vertébrale » [25].

### **Effets suprasegmentaires**

Des bénéfices suprasegmentaires après la RDS ont également été signalés (aussi appelés effets à distance, 'distant effects' en anglais). Ce sont des effets obtenus au-delà du niveau traité. Il s'agit notamment de l'amélioration de la coordination et de la fonction des membres supérieurs, de changements positifs dans les habiletés motrices buccales (élocution, bavage, dysarthrie), de



l'amélioration de l'attention visuelle (strabisme) et de la fonction cognitive, et peut-être du contrôle des crises d'épilepsie [28]. Il semblait important de dresser un inventaire exhaustif de ces effets secondaires positifs au moyen d'une revue de la littérature.

Une recherche systématique de la littérature a été effectuée dans la base de données PubMed jusqu'au 1er décembre 2021. Les mots clés suivants ont été utilisés : « rhizotomy AND cerebral palsy AND child AND (upper limb OR upper extremity OR suprasegmental OR cognitive OR trunk OR visual OR speech OR oral OR dexterity OR sialorrhea OR drooling OR epilepsy) ». Nos critères de recherche ont permis d'obtenir un total de 85 publications potentielles. La revue a été guidée par le cadre établi par Steinbok dans sa publication de 2001 [29].

Tous les types d'effets suprasegmentaires de la RDS ont été décrits dans 27 publications, totalisant 1092 patients (voir le tableau récapitulatif **Annexe II**). 16 études (59 %) ont été menées en Amérique du Nord (Canada et États-Unis). 25 études sont des séries de cas, 1 est une étude de cas et 1 est un essai contrôlé randomisé. Une seule étude est multicentrique. Les effets suprasegmentaires sont le critère de jugement principal dans 17 études [30–46] : 12 études ont étudié les membres supérieurs, 1 l'amélioration bucco-motrice et respiratoire, 1 la fonction cognitive, 1 les mouvements oculaires et 3 l'équilibre du tronc ou de la position assise. Les 10 autres études ont fait état de certains effets suprasegmentaires, bien que le critère de jugement principal soit lié à un autre point de la RDS. La plupart des publications comprennent à la fois des enfants diplégiques et quadriplégiques (l'étude de Salame et al [47] inclut des patients atteints de PC, mais aussi des enfants et des adultes atteints de sclérose en plaques, de lésions médullaires, de lésions cérébrales traumatiques, de sclérose latérale amyotrophique et d'ataxie spinocérébelleuse). Le temps de suivi était compris entre 1 mois (Schijman et al [48]) et plus de 9 ans (Mortenson et al [46]).

Les principaux résultats sont les suivants :

- À propos des membres supérieurs (MS) après RDS :
  - o Les premières études n'utilisaient pas d'outils validés mais des descriptions qualitatives telles que : mouvement ou fonction observés par les thérapeutes

[31,49,50], dactylographie [50], atteindre une cible, se nourrir, utiliser des ustensiles, faire sa toilette, manipuler des boutons, contrôler la motricité fine des mains [51], améliorations constatées par les aidants [52,53], s'habiller, manger, se brosser les dents, empiler des blocs, lâcher des pastilles, manipuler des pièces, manipuler un crayon [30]. Beck et al [33] ont été les premiers à effectuer une analyse statistique de scores montrant des améliorations statistiquement significatives pour l'épreuve 'empilement de blocs', tandis que Dudgeon et al [34] n'ont pas trouvé de significativité statistique aux améliorations concernant l'atteinte d'une cible et la coordination.

Des outils validés apparaissent : l'échelle RIC-FAS [31] sans amélioration significative, ou le score PEDI (Dudgeon [34] a constaté des améliorations significatives seulement chez les enfants souffrant de diglégie spastique, tandis que Chan et al [41] ont montré une amélioration significative dans l'ensemble du groupe GMFCS I à IV), ou la MIF Mômes (Loewen [39] a démontré des améliorations statistiquement significatives des compétences motrices et cognitives dans le cadre d'autosoins). Le Peabody Developmental Motor Scales a d'abord été utilisé par Buckon [35] prouvant une augmentation cliniquement significative de la performance des membres supérieurs, et Mittal [40] a montré que cela était durable (3-5 ans). Il a été découvert une amélioration significative du test Bruininks-Oseretsky Test of Motor Proficiency [35], une amélioration de la fonction des membres supérieurs mesurée par le QUEST 1 an après RDS [39] et soutenue à long terme (+9 ans) selon Mortenson et al [46]. Des améliorations significatives à la participation aux activités de vie quotidienne ont été retrouvées par Chan [41] grâce au Canadian Occupational Performance Measure.

- La spasticité a également été utilisée par des outils non validés en premier lieu : diminution de la spasticité évaluée de 0 à ++++ par Lazareff et al [54], diminution du tonus musculaire sans précision par Irwin-Carruthers [49] et Cohen [51]. L'utilisation

de l'échelle d'Ashworth modifiée, largement validée, était alors systématique : certaines études n'ont montré aucune différence [55], certaines ont montré une amélioration sans significativité [31,35,41,53] et d'autres ont montré une amélioration statistiquement significative [43,44]. Albright et al [37] ont comparé les effets de la pompe intrathécale à baclofène et de la RDS sur la spasticité des MS, en appariant rétrospectivement des enfants opérés, et ont constaté que le baclofène intrathécal et la RDS réduisent significativement la spasticité des MS de la même façon. Précisons que Wright et al [55], dans un essai contrôlé randomisé, ont mesuré les changements d'EMFG chez les enfants 1 an après la RDS comparativement à un groupe témoin recevant des séances de kinésithérapie et ergothérapie équivalentes ; aucune différence n'a été observée entre les groupes pour la spasticité des fléchisseurs de coude (critère de jugement secondaire). Un résultat intéressant de Salame et al [47] dans leur étude rétrospective sur la RDS dans le traitement de la spasticité (quelle que soit la pathologie) était la réduction de la spasticité des MS chez 65 % des patients, ce qui suggère que la chirurgie a des effets suprasegmentaires quel que soit le mécanisme lésionnel sous-jacent. Gigante et al. [43] ont relevé le défi de prédire de façon préopératoire quels patients pourraient bénéficier de la meilleure réduction de spasticité après la RDS, et il semblait s'agir de patients ayant un score moyen sur l'échelle d'Ashworth modifiée allant de 1,25 à 1,75 aux membres supérieurs. Cette série de patients a montré en outre une amélioration d'au moins 1 point sur cette échelle dans  $\geq 2$  groupes moteurs (alors que la spasticité moyenne avant/après est passée de 1,34 à 1,22 points, de manière statistiquement significative), les muscles proximaux et pronateurs étant les plus susceptibles d'avoir une spasticité réduite. La question de la significativité clinique est soulevée par D'Aquino et al [44] ; ils ont étudié les patients GMFCS IV et V et ont prouvé que l'ampleur de la réduction de la spasticité du MS après la RDS était

cliniquement (moyenne 2,9) et statistiquement significative et proportionnelle aux degrés initiaux de spasticité.

- Concernant les amplitudes articulaires passives (AAP), dans l'étude de Buckon [35] les AAP des membres supérieurs ne se sont pas améliorées mais seuls des enfants diplégiques ont été inclus, Albright et al [37] n'ont signalé aucun changement significatif dans les AAP de l'épaule ni du coude (que ce soit après la pompe à baclofène ou après la RDS), tandis que les AAP se sont améliorées mais pas de manière significative dans 2 autres études [31,53].

- À propos de l'équilibre assis ou du tronc après RDS :

Certaines études ont décrit une amélioration qualitative de l'équilibre, des commandes de la tête et du tronc [49], du positionnement et des transferts [51], une meilleure position assise aux yeux des aidants [30,52,53]. Beck et al [33] ont également montré des améliorations statistiquement significatives dans la stabilité de la position assise dans le plan frontal et le maintien de cette position à l'aide de scores. Yang et al [38] ont montré une amélioration significative de l'équilibre assis fourni par la plateforme de force Chattecx Balance System, à l'exception de la condition d'essai statique yeux fermés. Récemment, Tacchino et al [45] ont fait une analyse rétrospective d'une base de données prospective de patients atteints de PC qui ont subi une RDS et dont le contrôle du tronc et de la tête a été évalué à l'aide d'une échelle de position assise appelée Level Sitting Scale (LSS), observant un gain significatif des valeurs de LSS entre la situation avant la chirurgie et 12 mois après, ainsi qu'au dernier suivi (20 mois).

- À propos des fonctions cognitives après RDS :

En 1995, pour la première et unique fois, Craft et al [36] ont documenté des améliorations substantielles dans des opérations attentionnelles et cognitives spécifiques par rapport à un groupe apparié d'enfants diplégiques spastiques non opérés, utilisant les temps de réaction dans une tâche d'attention visuelle de l'évaluation nommée Woodcock Johnson

Psychoeducational Battery, suggérant non seulement une amélioration de l'humeur, une réduction de l'inconfort physique, peut-être dues une intervention thérapeutique accrue, mais aussi à un possible effet cortical de la chirurgie.

- À propos des fonctions visuelles après RDS :

Irwin-Carruthers et al [49] ont remarqué une position plus stable des yeux. Horinek et al [42] ont analysé les mouvements de poursuite oculaire lente et ont montré l'amélioration de la réponse des yeux au stimulus après la RDS chez deux sujets, en raison de la suppression du nystagmus de fixation spontané.

- À propos des fonctions orale et respiratoire après RDS :

La plupart des études les mentionnent, ce sont des observations plutôt anecdotiques secondaires, rapportées par des proches. Une seule étude de cas s'est vraiment penchée sur le sujet [32]. Nous avons pu identifier une amélioration de la parole (observée de façon anecdotique [33,37,52,53]), de meilleurs respiration et contrôle respiratoire [32,33,52,53], une diminution du bavage grâce à des efforts de déglutition accrus [32,49,52], un meilleur contrôle oral moteur (observé de façon anecdotique [33] et caractérisé par une meilleure articulation et intelligibilité [32]), actions de manger et boire facilitées (moins de fausses-routes alimentaires [32]). Même l'observation d'une fréquence moindre des crises d'asthme aux yeux des aidants est recueillie par Steinbok et al [52].

- Enfin, Schijman et al [48] ont observé une diminution de l'irritabilité et un meilleur contrôle des crises d'épilepsie, et une vaste étude prospective anglaise [56] a évalué la qualité de vie, indiquant une amélioration du bien-être social et de l'acceptation, une amélioration des sentiments à l'égard : du fonctionnement global, de la participation et de la santé physique, du bien-être émotionnel et de l'estime de soi, de l'accès aux services, de la santé familiale, de la douleur et de l'impact de l'incapacité.

### **Rationnel de l'étude**

Sur la base de notre expérience clinique en plus de ces données, il nous a semblé pertinent de recenser certains de ces effets suprasegmentaires, ceux fréquemment relatés par les familles mais peu objectivés dans notre Centre, avant et après RDS, dans le but de pouvoir au mieux informer les potentiels candidats à cette chirurgie selon cette technique dite KIDr, et maximiser ensuite la prise en charge multidisciplinaire là où une marge de progression semble exister, c'est-à-dire tirer au mieux profit de la chirurgie, en s'appuyant sur les bases classiques 'STRUCTURES', 'FONCTIONS', 'ACTIVITÉS' et 'PARTICIPATION' de la Classification internationale du Fonctionnement, du handicap et de la santé (CIF).

## **2 - ARTICLE**

## ABSTRACT

Selective dorsal rhizotomy is one of the treatments of choice for spasticity in children with spastic cerebral palsy. The literature reports that this surgery improves the function beyond the treated area, involving the trunk, the upper limbs or other functions supported by the head ; these are called the suprasegmental effects. In this descriptive study, we retrospectively present a broad systematic analysis of the results of SDR and intensive rehabilitation performed on 11 children (average age  $8.5 \pm 3.0$  years) suffering from spastic cerebral palsy operated at CHRU Nancy and reeducated at IRR Flavigny. Children were assessed before, and at 6 and 12 months after surgery. The main measurements included : for the upper limbs, spasticity according to the Modified Ashworth Scale, passive range of motion by goniometer, selective motor control, muscle strength, grip and pinch strengths, Box and Block Test, the Melbourne Assessment 2, the ABILHAND-Kids questionnaire ; for the trunk, the SATCo and the seated pressure mapping ; for drooling, a questionnaire ; and also the GMFM, the 6-MWT, the WeeFIM. Our results showed that SDR combined with intensive rehabilitation led to (for the majority of patients, in the short term, all GMFCS and MACS levels combined) : a gain on spasticity, grip and pinch strengths, Box and Block Test, Melbourne Assessment 2, ABILHAND-Kids questionnaire, seated pressure mapping, drooling (consistently), GMFM, 6-MWT, and WeeFIM ; no change in passive range of motion, selective motor control, muscle strength and SATCo. Some patients experienced degradations on some measured parameters, either discrete or supposedly related to an intercurrent event. This study argues that beneficial suprasegmental effects are frequent, variable in magnitude, and require customized evaluations of the different affected organ systems. Since drooling was measured for the first time and spectacularly improved in our cohort, it would be interesting to identify if this effect is systematic and durable over time.



## INTRODUCTION

Cerebral palsy (CP) is « a group of non-progressive, but often changing, motor impairment syndromes secondary to lesions or anomalies of the brain arising in the early stages of development » [1,2]. The prevalence of CP is 2 per 1000 live births and the incidence 1500 new cases each year [9]. CP is the most common physical disability of childhood [57], to varying degrees, depending on the causal brain lesion, likely to evolve with age, graded by the Gross Motor Function Classification System for CP (GMFCS) (**Appendix I**) [13,14]. It combines upper motor neurone syndrome (positive signs such as spasticity, hyper-reflexia and co-contraction, and negative signs such as weakness, loss of selective motor control, sensory deficits and poor balance) [58], and cognitive impairment, behavior problems, epilepsy, chronic pain, visual and speech impairment and hearing loss, gastrointestinal and feeding problems, growth and endocrine problems, urogenital problems, physical fatigue [7,8,10]. Global management includes [11] : optimising functional ability, decreasing secondary musculoskeletal deformity and managing comorbidities, thanks to a multidisciplinary approach, using medication, rehabilitation (therapists, devices) and surgery (orthopedic surgery, neurosurgery). Spasticity treatment is a major challenge for CP children and can involve oral medications, physical and occupational therapy, splinting, casting, botulinum toxin, chemodenervation, orthopedic surgery, intrathecal baclofen, selective dorsal rhizotomy (SDR) [12].

SDR is an old technique used for reducing lower extremity spasticity in children with CP and different exposures have been developed after the Foerster's technique [17]. The mechanism of SDR stems from an electromyographic discovery of Fasano [18] and is as follows : the partial section of the dorsal roots would decrease the related excitatory signal which is hyperactivated by loss of inhibition of the pyramidal pathway and which would be at the origin of the exaggerated motor response observed in spasticity. SDR consists in a lumbosacral laminectomy allowing to visualize the roots L2 to S2 as they emerge, then the recognition of the targeted dorsal root comes from the ventral/motor nerve root stimulation at each level, and finally the electrical stimulation of each

identified dorsal/sensory root assesses its degree of involvement in spasticity [26,27]. Recently Sindou and Georgoulis [25] developed the Keyhole Interlaminar Dorsal rhizotomy (KIDr) which « maximizes the reliability of anatomical mapping [...] and minimizes invasiveness by respecting the posterior spine structures ».

In addition to expected effects of SDR on lower limbs, suprasegmental benefits after SDR have been reported (also called distant effects) (**Appendix II**). These include improvements on the upper limbs [30,31,33–35,37,39–41,43,44,46], on oral-motor and respiratory functions [32], on cognitive function [36], on eye movements [42], on trunk or sitting balance [33,38,45], and maybe seizure control [28].

### **Objective**

The objective of our prospective case series study was to describe the short-term effects of SDR plus intensive rehabilitation on suprasegmental parameters concerning body structures, functions and activities of upper extremities, trunk, and drooling in our cohort of spastic CP children.

## **METHODS**

The CHRU de Nancy is a regional hospital serving north-east France. The IRR (Flavigny) is a rehabilitation center specializing in pediatrics. CP children benefit from multidisciplinary approach when followed in one or the other of health facilities. The 2 teams meet regularly and discuss the indications of management of harmful spasticity for each patient. This multidisciplinary team consists of nurses, physiotherapists, occupational therapists, speech therapists, psychomotor therapists, social workers, sports teachers, neurosurgeons and Physical Medicine and Rehabilitation physicians. When SDR seems indicated, the child is evaluated in consultation with his/her family by the Physical Medicine and Rehabilitation physician, neurosurgeon and physiotherapist. Physicians make the final decision concerning the suitability of each candidate, and the proportion of the dorsal rootlets pre-programmed to be cut is determined at that time. All families considering SDR for their child accept a contract guaranteeing the child follow-up, including pre-operative assessment, post-operative

assessments and follow-up consultations, and only children whose families were able to complete the post SDR reeducational program would be enrolled into the surgery.

### **Patients**

Data were collected prospectively from June 2020 to May 2022. All children with spastic cerebral palsy undergoing SDR were included in the protocol in accordance with the contract, regardless of their GMFCS, MACS [59] and CFCS [60] levels, totalling 11 patients aged 5 to 15 years old at baseline (see **Appendix III** for Subjects description). This continually updated database includes pre- and postoperative evaluations from the physiotherapy, occupational therapy, and nursing departments of IRR Flavigny Center. CP children were evaluated by the multidisciplinary team preoperatively, at 6 months and 1 year postoperatively.

### **Surgical procedure**

As described by Sindou et al [25,26], SDR is performed under general anesthesia, the child is in prone and Trendelenburg positions to reduce cerebrospinal fluid depletion. The per-operative clinical evaluation is done by the physiotherapist having access to the patient's legs. Intraoperative EMG monitoring is recorded from invasive needle-electrodes implanted in adductors (for L2–L3 roots), quadriceps (L3–L4), tibialis anterioris (L4), extensor digitorum (L5), soleus (S1), biceps femoris (S1–S2), flexor digitorum (S2), and anal sphincter (S2–S3–S4). A lumbar (Th12-S2) midline incision is performed. Roots exposure is permitted by a keyhole interlaminar dorsal rhizotomy (KIDr) which consists of an enlarged interlaminar fenestrations with preservation of spinous processes and interspinous ligaments. Each interlaminar space gives access to two adjacent roots on each side, where both their ventral and dorsal components are apparent then individualized. The sectioning of planned rootlets is guided by both preoperative neuromotor assessment and intraoperative clinical evaluation and EMG monitoring after electric stimulation of each rootlet : anatomical mapping by ventral root stimulation first, then electrophysiological testing by dorsal root stimulation (assessing how much tone circuit excitability is involved). Microsurgical dorsal root sectioning consists in cutting between one-third and four-fifths of the original rootlets. The procedure is repeated with other

---

targeted dorsal roots bilaterally, on one side first, then on the other side. The closure is carried out plan by plan, taking care to reinsert muscular aponeuroses to interspinous ligament. Postoperative care is classic, except for a lumbar corset applied during 2 weeks ; this orthosis decreases the risk of pseudomeningocele, reduces pain and authorizes early sitting, standing or walking.

### **Assessments**

All children selected for selective dorsal rhizotomy underwent a baseline assessment within 1 month before surgery. After selective dorsal rhizotomy, follow-up assessments were conducted by the rehabilitation team 6 months and 1 year later, to monitor progress and outcomes. The assessments are organized to respect the child's fatigability. Measures were selected in agreement with the rehabilitation team to measure any improvements in body structures, functions and/or activities concerning upper limbs, trunk control and drooling.

#### ***UPPER LIMBS***

Spasticity was evaluated by Modified Ashworth Scale for all children, regarding finger flexors, finger extensors, wrist flexors, wrist extensors, elbow flexors, elbow extensors, supinators, pronators, pectorals, medial and lateral shoulder rotators. It's the most frequently clinical method used for estimation of spasticity measuring passive resistance in the joint by a trained examiner [61,62], physiotherapists in our study.

Passive range of motion was measured by goniometer (in degrees) for all children : wrist, elbow, shoulder. Platz et al [63] report that ROM scores are associated with Ashworth scores among CP children and thereby ROM assessment can be a tool for follow-up assessments of spasticity-related ROM reduction in CP children.

Selective voluntary motor control or selective motor control is the ability to isolate the activation of muscles in a selected pattern in response to demands of a voluntary movement or posture and loss of this control is described as « an obligatory co-activation of synergist muscles » [64]. Measurement was carried out on children without cognitive impairment. We used the selective motor control scale from 0 to 2 (**Appendix IV**).

Muscle strength rating was evaluated manually with Manual Muscle Testing with the very popular MRC Scale [65], except the fingers using Levame scale (**Appendix V**) : well known and used scale in Nancy, more relevant for the fingers because it doesn't take into account the gravity which only plays a very weak role given the very small mass that a finger represents. Only children without cognitive impairment were tested.

Hand impairment was evaluated in children who can participate by :

- Grip strength and pinch strength (lateral pinch or Key-pinch) were measured respectively with a Baseline® (Fabrication Enterprises Inc.) Hydraulic Hand Dynamometer (kg) and with Baseline® Hydraulic Pinch Gauge Digital Model (kg) as described by McQuiddy et al [66].

- Gross manual dexterity was measured with the Box and Block Test (BBT) as described by Mathiowetz et al [67]. The patient's score was the maximum number of cubes transported individually from one compartment of a box to the other in one minute.

- The Melbourne Assessment 2 (also called Modified Melbourne Assessment MMA) is a valid and reliable measure to objectively evaluate quality of unimanual dexterity simulating occupation-based tasks in children ages 2,5 to 15 with CP. The clinical use of the MMA was comparable to the QUEST with the advantage of being faster to administer [68–70] (see **Appendix VI**).

Bimanual ability was measured with the ABILHAND-Kids questionnaire (**Appendix VII**). This instrument measures the ability to manage daily activities that require the use of the upper limbs, whatever the strategies involved, by questioning parental perception of a child's performance or capacity scored on a 3-point scale (impossible, difficult, easy). The questionnaire is validated, reliable and responsive to change for children with all types of CP between the ages of 6 years and 15 years. It is quick to complete [71–73].

### **TRUNK**

The Segmental Assessment of Trunk Control (SATCo) [74–76] is a clinical evaluation tool that tests a child's trunk postural control, reflecting function and ability. The SATCo is a reliable and valid

clinical measure that can be used with infants with cerebral palsy, on children between 9 months and 17 years of age, with all GMFCS level (children who can't independent sit as well as those who are able to sit). This tool assess all three aspects of trunk control : static control, active control and reactive control (**Appendix VIII**).

Static sitting position was evaluated by a soft pressure mapping system. Indeed, positioning determines a part of bony deformities (hip and spine) and associated secondary problems (pain, pressure ulcers, cardiovascular difficulties and restrictive lung disease) [77]. As mentioned earlier, Yang et al [38] used the Chatteex Balance system (a force platform) to measure the center of pressure (COP) in CP children after selective posterior rhizotomy surgery, finding improvements except for one testing condition. We decided to use instead a pressure mapping system to assess qualitatively and quantitatively sitting posture of children with CP as validated by Lacoste et al (64) and Fradet et al [79], this system being as effective as the force platform in assessing seated postural control in children, even if force platform remains the gold standard technique thanks to its accuracy. Indeed, pressure mapping is an interesting alternative, as it is smaller, lighter, cheaper, more readily available in routine clinical practice, particularly inside a wheelchair. We used the pressure imaging system from XSENSOR® Technology Corporation (X3 PX100 system) with the X3 MEDICAL software. Children were assessed on a regular wheelchair used for the test. Kirkland-Walsh et al [80] wrote about pressure mapping : « The best surface attributes that provide efficient pressure redistribution should have the following properties : the lowest average interface pressure, the lowest peak interface pressure, and the highest skin contact area ». This refers to the skin risk essentially, corroborating other studies [81–83], while this risk is low in CP children ; however it would seem that these parameters remain valid and to be targeted for positioning in CP children [84].

### ***DROOLING***

Drooling was estimated by the Drooling Questionnaire to determine the frequency and severity (**Appendix IX**). It's easy to administer, valid, accurate and reliable, and has high degree of correlation with gold standard objective tests [85].

## **OTHERS**

The WeeFIM (MIF Mômes in french) is an observational evaluation which measures several metrics of child functional autonomy in ADL including self-care, mobility, and cognition [86–88]. It has good construct validity and internal consistency in CP children and is correlated to the scores GMFCS and MACS [89].

Gross motor function was evaluated for all children by the Gross Motor Function Measure (GMFM-88) [90].

Walking children benefited from the Six-Minute Walk Test (6-MWT). Studies showed that 6-MWT is interesting because involving the response of multiple body systems (respiratory, cardiovascular, skeletal, nervous and muscular systems). This tool is reliable, reproducible, valid and offers also a good assessment of cardiorespiratory response [91–93].

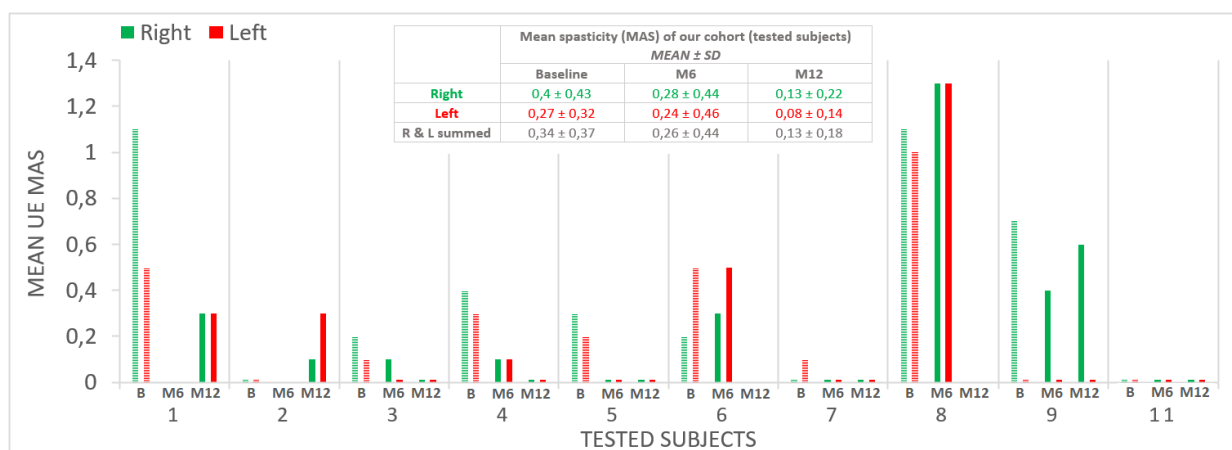
Other investigations included pain evaluation (FLACC or VAS), Goal Attainment Scale (GAS) administered to child or parent, a radiologic examination of the hips and spine, and a urodynamic study. Lastly, sensibility wasn't tested because this parameter is transiently and little affected by SDR : « since there is considerable segmental overlaps regards the sensory supply, the eventual disturbance of sensation is minimal » [49].

## **RESULTS (summary table in Appendix X)**

The baseline Subjects characteristics are summarized in **Appendix III**. There were no acute complications (during surgery or anesthesia) but one child (Subject 3) developed a post operative pony tail syndrom (postoperative spinal MRI did not find hematoma but hematic infiltration and diffuse edema). In our cohort of 11 children, the mean age for SDR was  $8,5 \pm 3,0$  years and 55% of the children were male. Among targeted dorsal rootlets,  $52,8\% \pm 17,5\%$  were transected from L2 to S2, at most.

## **UPPER LIMBS**

Spasticity (**Figure 1**) : 60% of tested children experienced reduction in their UE mean spasticity one year after SDR, the greatest improvement affecting quadrilegics (Subjects 1 and 4 with a maximum decrease of -0.8 points on the MAS). 30% experienced increase (maximum increase of +0.3 points on the MAS, so probably a clinically low impact). Left and right UE summed, mean MAS at baseline is  $0,34 \pm 0,37$  versus  $0,13 \pm 0,18$  one year after SDR ; these statistics corroborate the large dispersion and heterogeneity of MAS values in our cohort.



▲ **Figure 1** : Description of mean upper-extremity spasticity evaluated by MAS for each tested subject, right and left dissociated (GREEN=right UE, RED=left UE), respectively before SDR (B=baseline=broken lines), at 6 months after SDR (M6=first pair of continuous lines) and at 12 months after SDR (M12=second pair of continuous lines). Subject 10 has not been tested. No line = missing data. And table of mean values (SD=standard deviation).

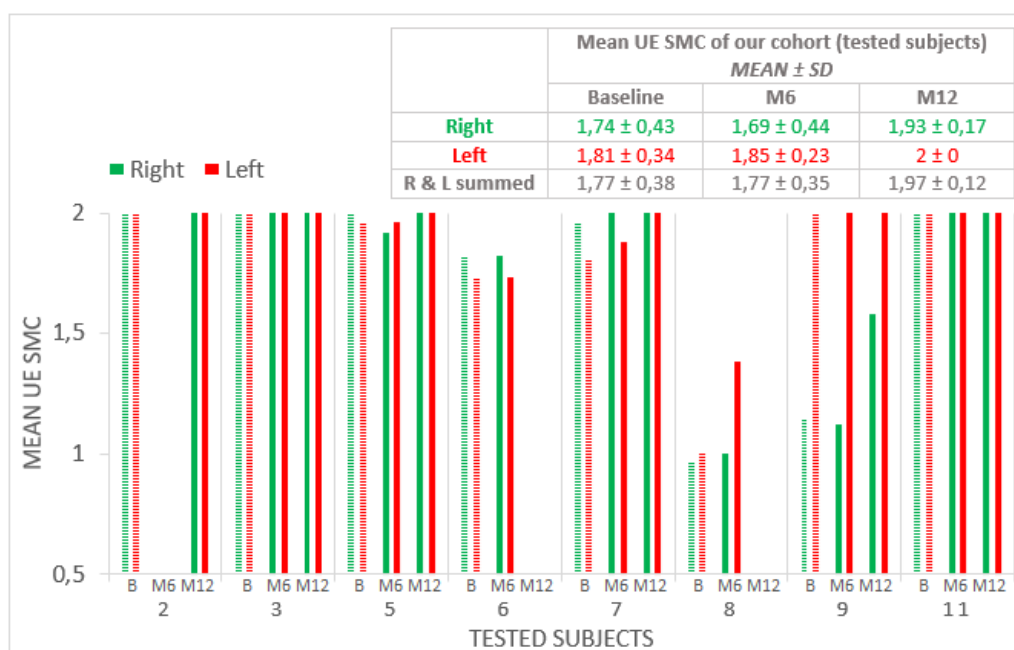
Range of motion (**Table I**) : both right and left wrist, elbow and shoulder mean PROM were quite normal at baseline. On the whole, no notable difference is observed in our study at 6 or 12 months after SDR, except some isolated values concerning the shoulder : adduction of right shoulder with  $+10,1^\circ$ , internal rotation of right shoulder with  $+10,3^\circ$ , abduction of left shoulder with  $+12,3^\circ$ .



	Right UE at baseline			Right UE at 12 months			Left UE at baseline			Left UE at 12 months			
	Mean	SD	95 CI (±)	Mean	SD	95 CI (±)	Mean	SD	95 CI (±)	Mean	SD	95 CI (±)	
Wrist	F	90,0	10,3	6,4	88,8	7,9	5,5	91,0	12,0	7,4	87,9	9,5	7,0
	E	80,0	11,3	7,0	80,6	8,6	6,0	80,0	14,3	8,9	82,1	11,9	8,8
Elbow	F	144,0	4,6	2,8	145,6	5,6	3,9	143,0	4,2	2,6	145,7	6,1	4,5
	E	-2,0	9,2	5,7	-0,6	5,6	3,9	2,0	2,6	1,6	0,7	3,5	2,6
	P	87,0	10,9	6,7	87,5	3,8	2,6	86,5	7,5	4,6	89,2	3,8	3,0
	S	83,5	8,8	5,5	88,8	6,9	4,8	86,0	8,1	5,0	89,2	5,8	4,7
Shoulder	F	145,0	20,3	12,6	150,6	8,6	6,0	149,5	16,4	10,2	153,6	11,8	8,7
	E	40,5	11,4	7,1	48,1	13,6	9,4	43,0	12,7	7,9	50,7	11,7	8,7
	ADD	35,5	24,4	15,1	45,6	16,6	11,5	38,5	24,9	15,5	45,0	17,8	13,2
	ABD	131,5	21,4	13,2	138,1	9,6	6,7	132,0	20,0	12,4	144,3	11,0	8,1
	IR	76,0	18,8	11,7	86,3	5,2	3,6	80,5	15,9	9,8	85,0	6,5	4,8
	ER	84,0	17,9	11,1	87,5	13,9	9,6	78,5	18,1	11,2	87,9	8,1	6,0

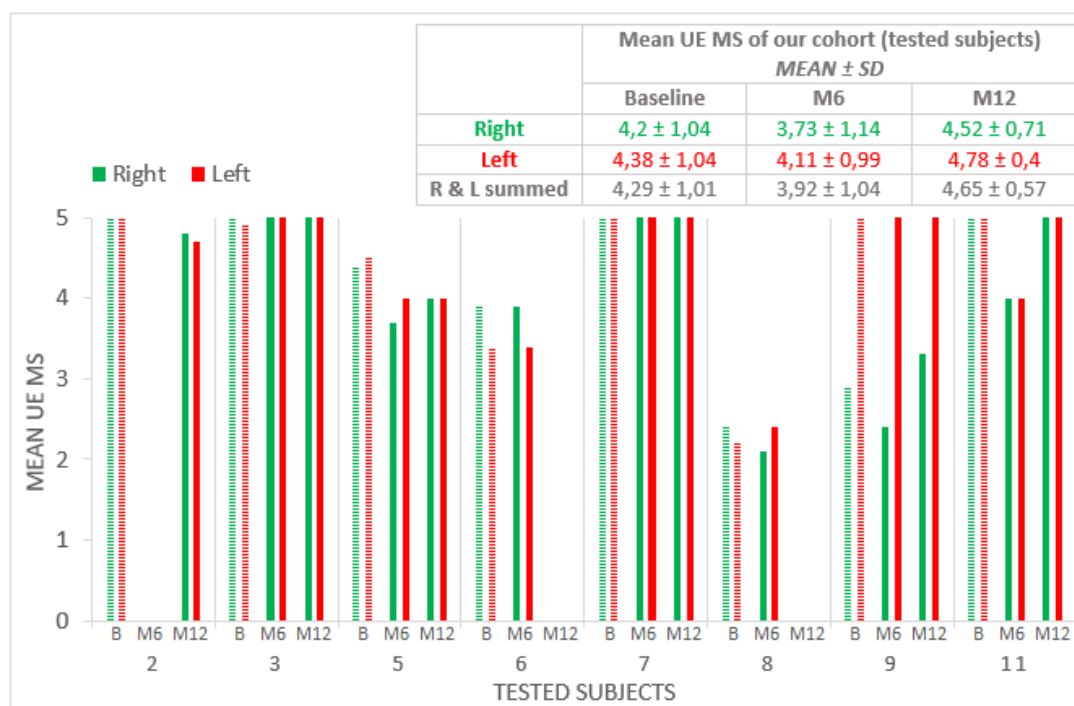
▲ **Table 1** : Mean passive range of motion of each upper-extremity joint, right and left dissociated, at baseline and 12 months after SDR. Data at 6 months are not shown here. F=Flexion. E=Extension. P=Pronation. S=Supination. ADD=Adduction. ABD=Abduction. IR=Internal Rotation. ER=External Rotation. Mean=mean passive range of motion. SD=Standard Deviation (±). 95 CI =95% confidence interval. UE=upper-extremity.

Selective motor control (**Figure 2**) : 38% of tested children experienced better UE SMC one year after SDR, 50% had no trouble at baseline with a score at 2 (diplegics). Left and right UE summed, mean SMC at baseline is  $1,77 \pm 0,38$ , the same at 6 months ( $1,77 \pm 0,35$ ) and  $1,97 \pm 0,12$  one year after SDR.



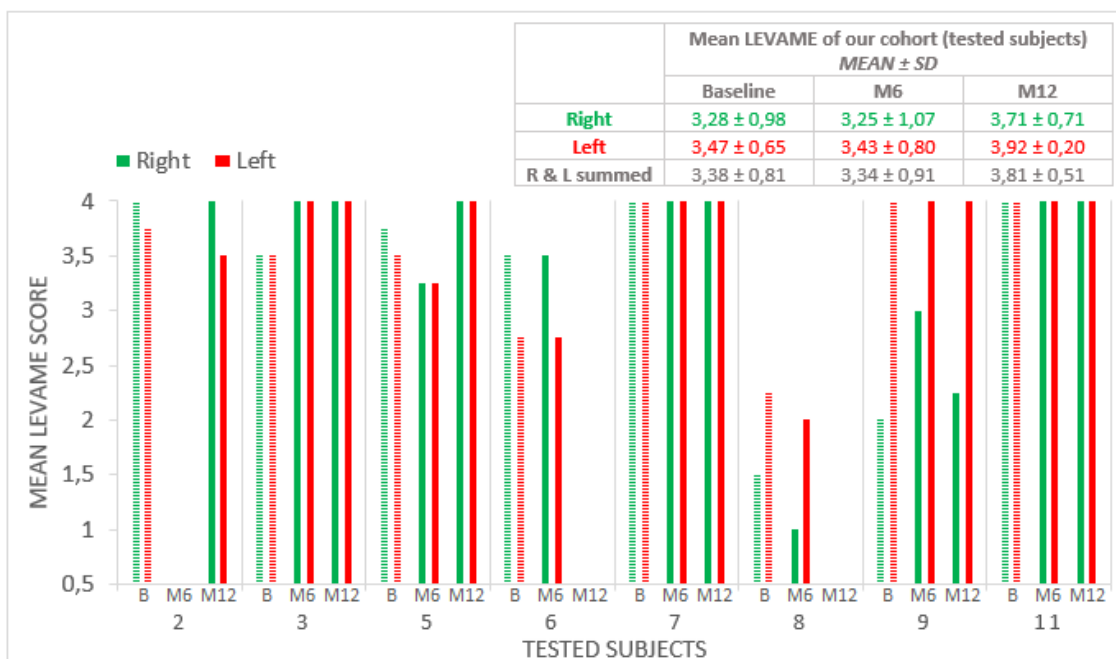
▲ **Figure 2** : Description of mean upper-extremity selective motor control (SMC) for each tested subject, right and left dissociated (GREEN=right UE, RED=left UE), respectively before SDR (B=baseline=broken lines), at 6 months after SDR (M6=first pair of continuous lines) and at 12 months after SDR (M12=second pair of continuous lines). Subjects 1, 4, 10 have not been tested. No line = missing data. And table of mean values (SD=standard deviation).

Muscle strength (**Figures 3 & 4**): Left and right UE summed, mean MS (MRC scale) at baseline is  $4,29 \pm 1,01$ , then  $3,92 \pm 1,04$  at 6 months and  $4,65 \pm 0,57$  one year after SDR. However, each tested child has overall a stable UE muscle strength between before and one year after SDR. Regarding hand strength, Levame score is improved in 3 children tested and deteriorated in 2 children, one year after SDR although mean Levame score (left and right summed) progressed between baseline and one year after SDR ( $3,38 \pm 0,81$  versus  $3,81 \pm 0,51$ ).

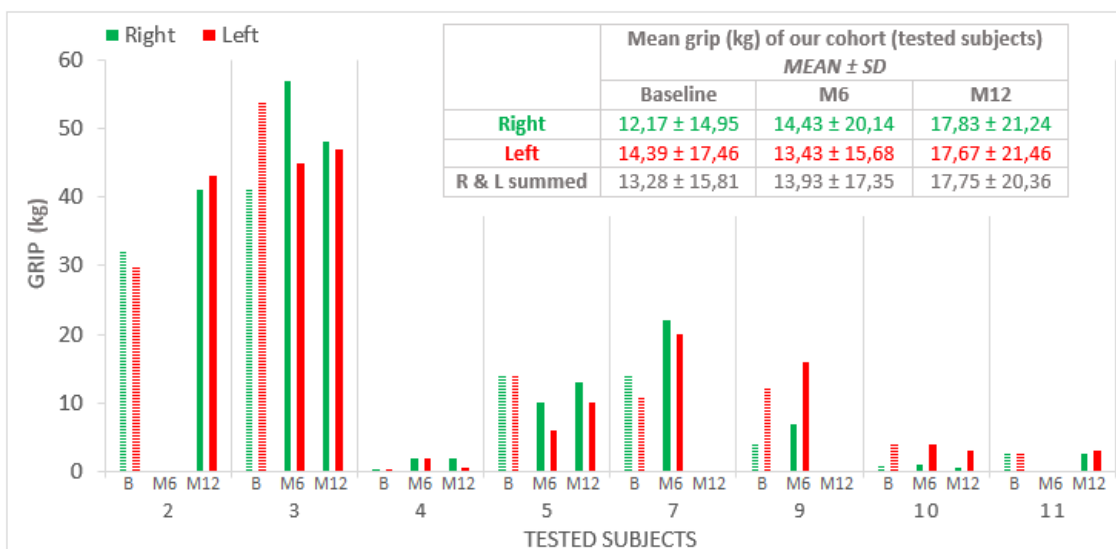


▲ **Figure 3** : Description of mean upper-extremity muscle strength for each tested subject, right and left dissociated (GREEN=right UE, RED=left UE), respectively before SDR (B=baseline=broken lines), at 6 months after SDR (M6=first pair of continuous lines) and at 12 months after SDR (M12=second pair of continuous lines). Subjects 1, 4, 10 have not been tested. No line = missing data. MS=muscle strength (MRC scale). And table of mean values (SD=standard deviation).

Grip and pinch strengths (**Figures 5 & 6**) : each child experienced stabilization or improvement in grip and pinch strengths in both hands at 12 months except for one tested child in each test. Moreover, Subject 3 which is left-handed improved his grip strength on the right but lowered his strength on the left.

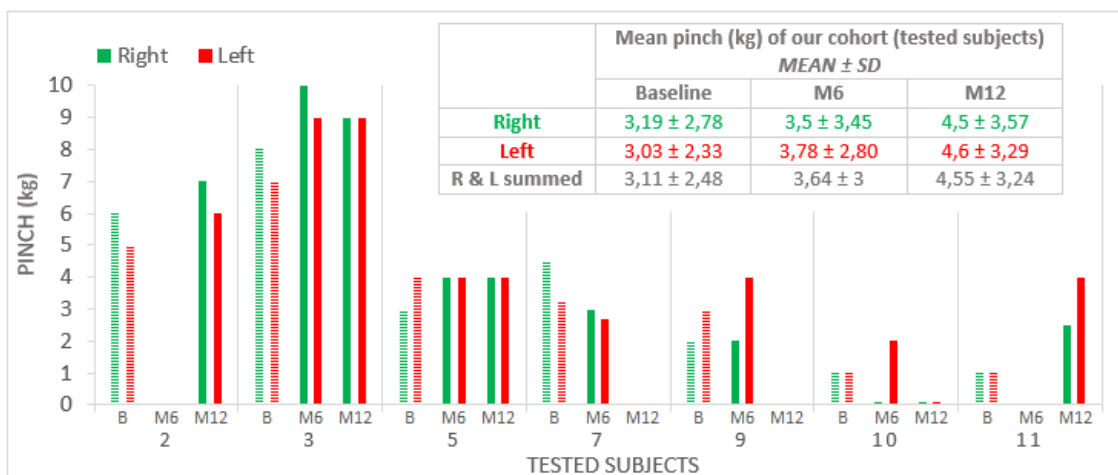


▲ **Figure 4** : Description of mean hand muscle strength evaluated by Levame scale, for each tested subject, right and left dissociated (GREEN=right UE, RED=left UE), respectively before SDR (B=baseline=broken lines), at 6 months after SDR (M6=first pair of continuous lines) and at 12 months after SDR (M12=second pair of continuous lines). *Subjects 1, 4, 10 have not been tested. No line = missing data.* And table of mean values (SD=standard deviation).

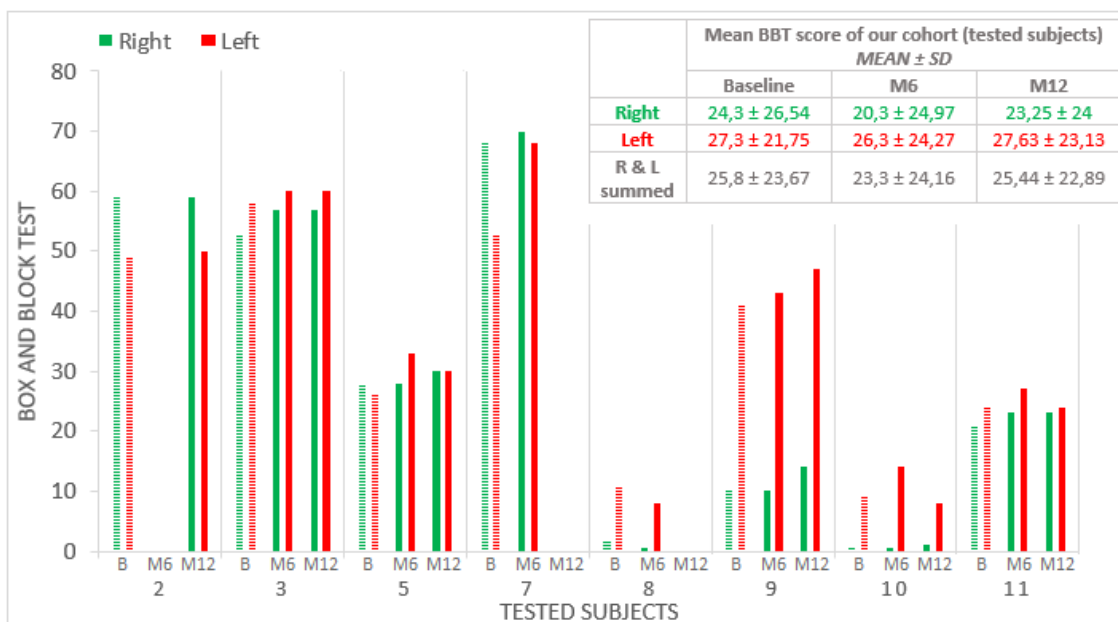


▲ **Figure 5** : Description of grip strength (kg), for each tested subject, right and left dissociated (GREEN=right UE, RED=left UE), respectively before SDR (B=baseline=broken lines), at 6 months after SDR (M6=first pair of continuous lines) and at 12 months after SDR (M12=second pair of continuous lines). *Subjects 1, 6 and 8 have not been tested. No line = missing data.* And table of mean values (SD=standard deviation).

Gross manual dexterity (**Figure 7**) : tested by BBT, 6 tested children obtained a better score at some point after SDR and 2 scored worse.



▲ **Figure 6** : Description of pinch strength (kg), for each tested subject, right and left dissociated (GREEN=right UE, RED=left UE), respectively before SDR (B=baseline=broken lines), at 6 months after SDR (M6=first pair of continuous lines) and at 12 months after SDR (M12=second pair of continuous lines). Subjects 1, 4, 6 and 8 have not been tested. No line = missing data. And table of mean values (SD=standard deviation).



▲ **Figure 7** : Description of Box and Block Test scores (BBT), for each tested subject, right and left dissociated (GREEN=right UE, RED=left UE), respectively before SDR (B=baseline=broken lines), at 6 months after SDR (M6=first pair of continuous lines) and at 12 months after SDR (M12=second pair of continuous lines). Subjects 1, 6 and 4 have not been tested. No line = missing data. And table of mean values (SD=standard deviation).

Upper-limb unimanual dexterity (**Figure 8**) : 67% of tested children experienced better MMA score after SDR, 2 children (22%) quietly worsen their score (Subjects 4 and 7), and Subject 11 who is left-handed improved her score on the right but lowered her score on the left.

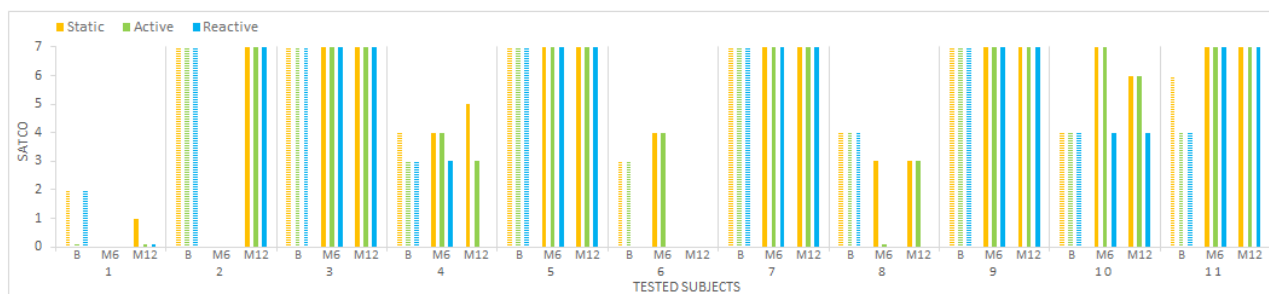
Bimanual ability : 10 parents responded to the ABILHAND-Kids questionnaire. In 80% of cases there is a small improvement, concerning at best 3 tasks among the 21, with a gain of a single level (impossible to difficult or difficult to easy). The remaining 20% are severely affected CP patients (Subjects 1 and 4) without any UE voluntary function at baseline and after SDR (all 21 tasks are impossible).



▲ **Figure 8** : Description of Modified Melbourne Assessment (MMA), for each tested subject, right and left dissociated (GREEN=right UE, RED=left UE), respectively before SDR (B=baseline=broken lines), at 6 months after SDR (M6=first pair of continuous lines) and at 12 months after SDR (M12=second pair of continuous lines). *Subjects 1 and 6 have not been tested. No line = missing data.* And table of mean values (SD=standard deviation).

## TRUNK

Trunk postural control (**Figure 9**) : 5 children (45% of tested children) had maximum SATCo scores (static, active and reactive) at baseline that remain maximum one year after SDR (4 diplegics and 1 hemiplegic with GMFCS levels I, II or III). 4 children experienced gains in trunk control at some point after SDR (Subjects 4, 6, 10, 11) : Subjects 6 and 10 progressed in both static and active trunk control, and Subject 11 progressed on the 3 aspects static, active and reactive from baseline to 12 months after SDR. 2 children lost 1 level of trunk control after SDR (Subjects 1 and 8). We therefore see that among children with bad trunk control at baseline, 67% improved after SDR.



▲ **Figure 9** : Description of SATCo scores, for each tested subject, static, active and reactive dissociated, respectively before SDR (B=baseline=broken lines), at 6 months after SDR (M6=first triplet of continuous lines) and at 12 months after SDR (M12=second triplet of continuous lines). No line = missing data. Values in the 'y' axis represent the SATCo scores as follows : 1 = Head (doesn't exist for reactive control), 2 = Upper-Thoracic, 3 = Mid-Thoracic, 4 = Lower-Thoracic, 5 = Upper-Lumbar, 6 = Lower-Lumbar and 7 = Full Trunk. Score of 0 = total loss of trunk control.

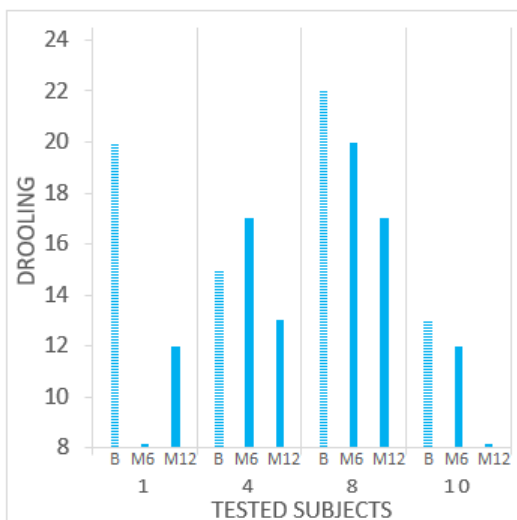
Static sitting position evaluated by a soft pressure mapping system (**Appendix XI**) : Pressure mapping of Subjects 2, 3, 4 and 8 seemed to get worse within the 1st year following SDR confirmed by worse peak and average pressures. Pressure of Subjects 5, 7, 9, 10 and 11 seemed to get better one year after SDR : peak and average pressures decreased but contact area increased only for Subjects 5, 7 and 9. Next to these parameters, pressure mapping appears qualitatively more symmetrical in Subjects 8 and 9 and more asymmetrical in Subjects 7 and 10. Pressure mapping of Subject 10 is however visually more satisfying one year after surgery (much smaller red area), not confirmed by parameters that are finally barely improved (average and peak pressures).

### **DROOLING**

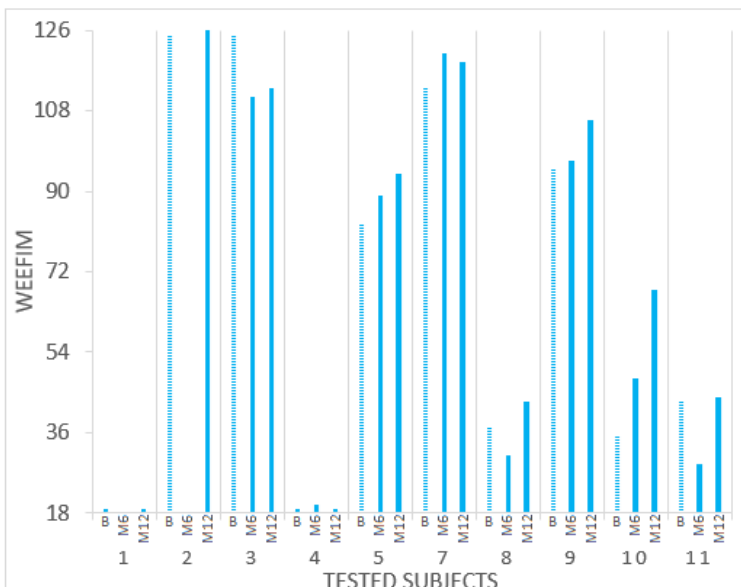
Drooling (**Figure 10**) : 4 children were suffering from drooling at baseline (GMFCS levels IV and V). All 4 had less severe drooling one year after SDR based on the Questionnaire. Caregivers' impressions were similar.

### **OTHERS**

Child functional autonomy in ADL (**Figure 11**) : 70% of tested children experienced improvement in their WeeFIM score one year after SDR, the greatest improvement affecting Subject 10 who almost doubled her score between before and one year after SDR. 20% had similar scores before and one year after SDR (Subject 1 and 4). Only one child (Subject 3) lost autonomy between baseline and one year after SDR (-12 points on WeeFIM).



▲ **Figure 11** : Description of drooling score, for each tested subject, respectively before SDR (B=baseline), at 6 months after SDR (M6) and at 12 months after SDR (M12). No line = missing data.

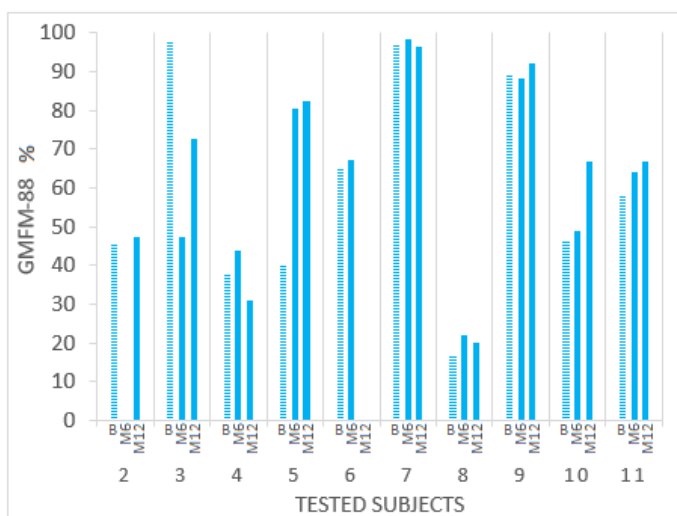


▲ **Figure 11** : Description of WeeFIM score, for each tested subject, respectively before SDR (B=baseline), at 6 months after SDR (M6) and at 12 months after SDR (M12). Subject 6 has not been tested. No line = missing data.

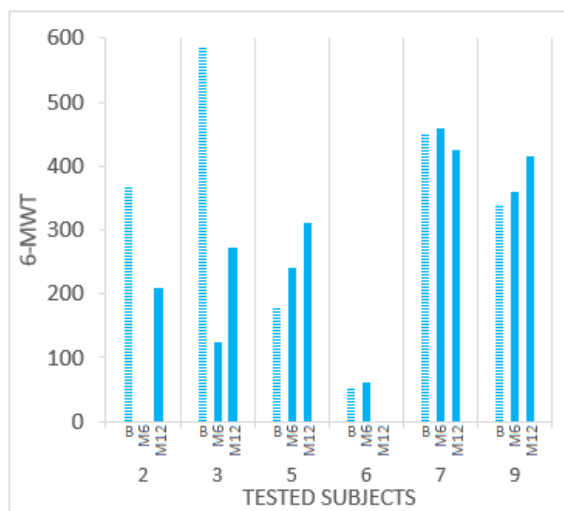
Gross motor function (**Figure 12**) : 7 children had a better gross motor function at some point after SDR, 1 stabilized et 2 had a worse gross motor function one year after SDR (Subjects 3 and 4).

Walking distance evaluated by 6-MWT in meters (**Figure 13**) : 6 children (55%) were ambulant in our cohort (GMFCS levels I to III). The results are mixed, half has progressed and half has declined one year after SDR.

Pain decreased after SDR for algic children. 2 non-algic children reported mechanical pain after SDR during physical efforts for activities now at higher levels of intensity (Subjects 3, 9, 10).



▲ **Figure 13** : Description of GMFM-88 (%), for each tested subject, respectively before SDR (B=baseline), at 6 months after SDR (M6) and at 12 months after SDR (M12). Subject 1 has not been tested. No line = missing data.



▲ **Figure 13** : Description of 6-MWT (meters), for each tested subject, respectively before SDR (B=baseline), at 6 months after SDR (M6) and at 12 months after SDR (M12). Only 6 children were ambulant. No line = missing data.

---

## DISCUSSION

### Methodological considerations

The results of this study seem to go in the same direction as the conclusions of previous studies on the trunk and upper limbs functions after SDR on CP children, and attempt for the first time to objectify an improvement in drooling. Our findings demonstrate variability in outcomes depending on the GMFCS, MACS and CFCS grades and the assessments (descriptions of MACS and CFCS grades are available in **Appendix III**).

Limitations of the study are well known. The study population is very heterogeneous in terms of the severity of motor disorders and cognitive disorders, making it impossible to standardize assessments, that's why we opted for a non-standard methodology through novel follow-up protocol ; in future it could be relevant to evaluate the part of visual and/or hearing disorders in global intellectual functioning insofar as sensorial impairments limit any type of learning. Number of subjects is small (one surgery per month) without group control, some data are missing and no statistical analysis was performed (descriptive study). This situation frequently occurs in the field of rare interventions and/or in paediatrics, when external constraints of patient availability (parents, disability, geographical distance) do not allow the recruitment of a sufficient number of patients to meet the conventional power criteria.

We are obviously more than cautious in extrapolating the results, and it seems essential that other longer studies be carried out. Indeed, long-term effects after SDR have been reviewed by Tedroff et al [94] including particularly 6 frequently cited studies [95–100] : follow-up from 10 to 28 years after surgery, low level of evidence, all retrospective, and only Munger et al [99] had a control matched group assigned retrospectively, with equivocal conclusions ; operated patients had sustainable spasticity reduction, improved gross motor function, good quality of life and ambulation, good satisfaction, whereas Munger et al [99] concluded that the SDR group had significantly worse gait compared with non-SDR group while the SDR group had significantly less spasticity compared with the non-SDR group. About suprasegmental effects, only Mortenson et al [46] studied long-term



---

UE improvement after SDR but using QUEST instrument which is not validated on children over 8 years of age.

It is almost impossible to take covariates into account in the analysis of response to surgery, which makes it impossible to identify responder patients. In rehabilitation medicine where the assessment criterion is very often functional and dependent on a personalized rehabilitation program, it is therefore impossible and irrelevant to rely on an objective criterion or biological/radiological/electromyographic marker to support the results.

### **Assessments limitations**

We identified avoidable bias such as the fact that the therapists were sometimes involved with the ongoing rehabilitation of children, and were therefore not blinded to the children's operative status and previous results, and unavoidable bias such as spontaneous developmental changes potentially responsible for the modified results.

#### ***UPPER LIMBS***

The spasticity assessed by the MAS is always subject to debate among rehabilitation specialists : although it is certainly the scale most used in clinical practice and in research, several studies [101–105] report low reliability of the MAS in children with cerebral palsy especially because of its poor inter-rater reliability, and several authors remain cautious about the fact that the decrease in spasticity leads to significant clinical benefit in CP children [99,106–109]. The effectiveness of a procedure cannot be assessed by this single evaluation parameter alone, what we have considered in our protocol. Moreover, Gigante et al [43], who strongly evaluated the changes in upper-extremity tone (mean MAS) after SDR, conclude that they cannot use UE tone as a predictor of UE improvement.

Next to spasticity, others motor dysfunctions in children with CP include weakness and diminished selective motor control. Our results show a trend of improvement or at least stabilization of SMC in UE. There is no literature about this parameter. However we found studies about SMC in lower extremity after SDR : results aren't stable. Four teams [41,110–112] show statistically

significant improvement of the selective motor control, whereas Munger et al [99] found no differences between SDR group and non-SDR group (control group) in SMC on a long-term follow-up. By analogy to the lower limbs, we hypothesized it may exist a change (rather positive) in our cohort.

According to the same analogical reasoning and in agreement with the data of the literature, we hypothesized upper limbs strength improvements. Indeed, strength gains were obtained certainly in lower limbs following SDR in the same studies [41,110–112] but not in the upper limbs as described by Buckon et al [35] maybe because upper extremities were little involved pre-operatively (diplegic children). In our study, muscle strength seems stable one year after SDR. Carraro et al [112] propose a pathophysiological hypothesis for improvement of selective motor control and muscle strength, thanks to reduced spasticity in antagonist muscles and reduced co-contractions, allowing in weak muscles gains in strength and selectivity through intensive rehabilitation.

We decided to present UE ranges of motion through the mean degrees by joint because the values were homogeneous. No notable difference is observed in our study, which is the same when looking child by child. This is close to literature results [31,35,37,53]. However we specified above (in Results) that some values of shoulder PROM were improved ; we don't consider these values because baseline PROM were normal and these gains ( $\sim 10^\circ$ ) don't change functionality as showed by Namdari et al [113].

Buckon et al [35] show significant grasp strength improvement in both dominant and not dominant hand. We have objectified in both hands stabilization or improvement in grip and pinch strengths except for one tested child. Jamar<sup>®</sup> and Baseline<sup>®</sup> dynamometers measure grip strength equivalently and can be used interchangeably [114], so if we refer to the grip norms established by McQuiddy et al [66] , at baseline, 5 children had substandard strength (Subjects 4, 8, 10, 11, and 9 on his non dominant hand only), 2 children had superior strength to the norm (Subjects 2 and 3), and 3 children had normal strength (Subjects 5, 7, and 9 on his dominant hand) ; regardless of the improvement each child remained in his/her category after SDR (inferior, normal, or superior).

Our results show an improvement in BBT in most tested children. This test is documented [115] to be sensitive to change including interventions for CP children, but, on one hand there is always the covariate 'spontaneous developmental changes' that biases the result, on the other hand Liang et al [116] recently recommended an improvement of 7 blocks as an indicator of statistically significant and clinically important change, not achieved in our study. Also, BBT seems redundant with the MMA, a lighter version of the protocol should probably prefer MMA alone.

MMA shows improvement in unimanual function. Some children experienced a decrease in performance at the end of testing because of their fatigability. The smallest detectable difference (SDD) of the MMA is 8,9% [117], only reached by Subject 5 on both right and left sides and Subject 10 on left side, and the standard error of measurement (SEM) is 3,2% [117], questioning some of our results. Administration time was one of the criteria in assessment choices ; QUEST takes 45 minutes to complete. Moreover Thorley et al [118] could not prove the validity of the QUEST for children over 8 years of age, with redundant items and necessity to analyze only by domains instead of total score. Mortenson et al fresh results [46] highly suggest that gains in upper extremity QUEST score are sustained more than 9 years after SDR within the substantial limits of QUEST reliability at late follow-up with children over 12 years of age. Lastly, SDD and SEM of QUEST are comparable to those of MMA [117].

About ABILHAND-Kids, Bleyenheuft study [72] highlights good responsiveness in the younger children (6–12y) and smaller responsiveness in the adolescents (13–19y) with the hypotheses that neuroplasticity and developmental potential are better in young children allowing greater ranges of improvement (even if the young age plasticity privilege also known as "Kennard Principle" is overestimated according to Dennis [119]). Also, because age of SDR may be a possible predictor for SDR outcome [120,121] with greater short-term improvement if SDR is performed at younger age [46] thanks to aforementioned hypotheses, and because ABILHAND-Kids has been validated for children aged between 6 and 15, the use of ABILHAND-Kids may be compromised in our protocol. Indeed, our neurosurgeon tends to operate on younger and younger children. Also we only observed

---

very discreet gains for each mild or high-functioning child, that's why we didn't use the Rasch model to convert the raw scores into a linear measure.

### **TRUNK**

Trunk control in CP children is often measured by Trunk Impairment Scale (TIS) or Trunk Control Measurement Scale (TCMS, an expanded version of the TIS) but these assessments need children able to sit on a bench without support and to understand instructions. Moreover, the tests are long and requires specific devices. We said Tacchino et al [45] reviewed a significant increase in Level Sitting Scale (LSS) values. The LSS is a static seating position assessment [122], easy to administer but quite too simple. We used the SATCo (local French translation), which measures static, active and reactive trunk control in all grades of CP children, reliable and feasible in the clinical routine setting. Our results were inconstant, with improvement in communicant quadriplegic children, and no difference in diplegics and non-communicant quadriplegics, suggesting a ceiling effect in diplegic children and a floor effect in non-communicant quadriplegic children, as described by Hansen et al [76]. We propose to reserve SATCo in GMFCS III IV V children.

Yang et al [38] used the Chattecx Balance System (center-of-pressure parameters) for highlighting improvement in sitting balance after SDR. Analyses of pressure mapping system in our cohort remains only descriptive, without weight and strict standardized position for measurements (use of pads sometimes, seat and/or back tilt), and although there is for some children a sense of better distributed pressures, no quantifiable numerical analysis can be performed. Moreover, because a good seating posture is fundamental in GMFCS III and IV children for trunk control, UE functionality and ADL, it would be interesting in future research to compare dynamic sitting balance during specific activities before and after surgery. Let's have a look at Subject 9 : this hemiplegic CP child with asymmetrical sitting and right tilt (to the less-paretic side, typical abnormality in hemiplegic CP children as described by Lee and Park [123]) corrected his asymmetry after SDR in addition to improving his pressure parameters (lower peak and average pressures and bigger area) ;

to our knowledge this is the first time that a correction of asymmetrical sitting is observed after SDR in this type of CP children.

Finally, note that children with CP GMFCS IV, V classically have hypertonia of the 4 members associated with axial hypotonia [124] which implies radically different therapeutic strategies.

### ***DROOLING***

Drooling is experienced by around 40% of CP children all GMFCS grades combined [125]. Erasmus et al [126] aimed to determine the mechanism of drooling in this population : there is no evidence in favor of hypersalivation but strong arguments for dysfunctional oral control, as previously suggested by 2 other studies [127,128]. Our cohort had 36% of children prone to drooling (GMFCS IV and V). To our knowledge, this is a pilot study by assessing quantitatively the influence of SDR on drooling, although the Questionnaire is not validated in French. Among children who drool, 100% show an improvement in their drooling score 12 months after SDR, this improvement being supported by caregivers who declare this gain as significant. Further follow-up and research are needed to know if this distant effect is constant on drooling patients and sustainable over time. In view of the mechanism previously mentioned explaining the drooling, we hypothesize that a better posture (less spasticity, better trunk control) improves both reflex and conscious saliva swallowing.

### ***OTHERS***

About WeeFIM, 70% of children gained autonomy but 2 children (Subjects 2 and 11) were fairly stable (+1 point between baseline and one year after SDR). 20% didn't change (Subject 1 and 4). Possible explanations for score stabilization about Subjects 1, 2, 4 are following : either because the patients were very autonomous before surgery and is capping (Subject 2), or because very severely affected patients with no functionality are not well assessed by this operating scale (Subjects 1 and 4). Indeed, Sanders et al [129] showed that WeeFIM had a limiting ceiling effect, especially in children with diplegia and hemiplegia undergoing surgery. On the contrary, in low-functioning GMFCS V children, the instrument seemed to have a floor effect [129], not being appropriate to highlight changes in comfort, positioning or hygiene after SDR. The other Subjects have gained

between 6 and 33 points in one year following SDR, while James et al [88] described a minimal clinically important difference of WeeFIM of 3.1 to 5.0 points. However, several limits appeared :

1/ WeeFIM must be used in children aged 3 to <8 years but in children aged 8 to 18 years, either WeeFIM or FIM can be used [88], the most appropriate instrument depending on the injured person's life stage and participation roles, and maybe FIM would have been more appropriate for high-functioning adolescents (Subjects 2 and 3).

2/ We didn't analyse which sub-part of WeeFIM has improved (motor and/or cognitive domain). But Loewen's work [39] proved statistically significant improvements in both motor and cognitive tasks.

3/ Assessments were sometimes completed by untrained assessors, while recording the rating that best describes the child's level of function is precise, so we need to be careful about the collected data with a margin of error that we hope is acceptable.

Lastly, we are not surprised about the results of Subject 3, this patient developed an incomplete ponytail syndrom in post surgery, his independence degraded at that time and then gradually he recovered as shown by the scores at 6 months and 12 months.

A large majority has improved or stabilized the GMFM-88 ; this result has already been described in 3 randomized studies [55,130,131] showing an increase of 7.0 to 12,1% as against 0 to 5,2% in controls with significant difference between groups in 2 of 3 studies. This is the primary expected functional effect of SDR, as well as the 6-MWT on ambulant children although few studies exist [132,133]. Unlike our cohort, the results of SDR on 6-MWT were more favorable at 12 months. Finally, bad results on GMFM-88 and 6-MWT concerning Subject 3 were expected, with the same trend as WeeFIM.

And, last but not least, we realize that the assessment (then the management) of suprasegmental effects brings together such a large number of available tests that the challenge lies in developing a protocol that is the optimal compromise between feasibility in current clinical practice and completeness. We focused on upper limbs, trunk, and drooling, but as mentioned in the

introduction, it is possible that speech, visual function, respiratory function are improved by SDR, this may involve protocolizing follow-up by speech therapists or orthoptists in CP children with disorders.

### **Confounding factors**

To determine whether suprasegmental functional improvements are due to SDR or to rehabilitation program or to normal evolution, a study with a control group of age- cognitive- and diagnosis-matched children who didn't undergo SDR would be interesting, inspired by the protocols of the studies reviewed by McLaughlin et al [134]. We actually did consider any distant effect after SDR to result from the sum of SDR and intensive rehabilitation on a background of natural evolution without being able to determine the part of either. Rehabilitation program for each child is available in **Appendix XII** ; obviously high-functioning children had more and longer intensive physical therapy. In walking and high-CFCS children, it is unknown if the suprasegmental functional improvements noted after SDR are not due to the post-operative intensification of rehabilitation and growth. Indeed, if we focus on spasticity, SDR reduced LE spasticity [55,94,99,130] and UE spasticity [43] in CP children. However this affirmations must be interpreted by integrating the 'natural history' variable that has been studied in this population by Hägglung and Wagner [135], reporting that MAS scores for muscle tone of the gastrocnemius-soleus increase up to 5 years of age and then decrease to 12 years of age (methodological defects cannot be eliminated), and since SDR procedures are mainly performed between the ages of 4 and 10 years, we can tell that the natural history of spasticity at least partially accounts for the MAS improvements seen post-SDR. Only a study with a non-SDR control group should be used to tell whether the SDR is responsible for an improvement in spasticity ; it has been done by Munger et al [99], with results suggesting that the SDR produced an additional reduction in LE spasticity that cannot be explained by natural history alone. This remark 'natural history' is all the more true for discrete and low amplitude effects such as suprasegmental effects, imposing caution, and can be discussed for all outcomes and measures. Unfortunately, the knowledge about the natural history of evolution of UE function, drooling or trunk control in children with CP is limited in literature : Eliasson [136] and Nordstrand [137] suggested that children with mild

UE impairment had a fairly good development while the children with severe impairment had a little trend in the development with a rapid increase of ability at younger ages followed by a stable ability level up to age 12 years ; only Parkes et al [138] found that excessive drooling declined in non-ambulant CP population over time ; and only the article of Saavedra and Goodworth in the book *Miller et al. (eds.), Cerebral Palsy, 2020* [57] brought up the subject of posture control, with spontaneous improvement in GMFCS I to III children.

Another possible confounding factor is the extent of the section : is the magnitude of the suprasegmental effects proportional to the number and percentage of sectioned roots? First of all, Lazareff participated in the writing of 3 articles about limited SDR (limited number but conventional percentage of roots cut) : in 1990 the study [54] aimed to evaluate short-term effect of limited SDR procedure on spasticity of muscles in UE and LE among a single pre-post cohort (30 children), in 1999 the study [139] aimed to compare effect of 2- vs. 3-level SDR (L5-S1 or L4-S1) on lower-limb muscle tone and gait among a single pre-post cohort (71 children), and in 2001 the study [140] aimed to evaluate whether limited SDR would reduce risk of post-operative hypotonia among a single pre-post cohort (5 children). Main conclusions were : changes in muscle tone occurred in all the LE muscle groups including those whose sensory rootlets were not divided during SDR without significant difference between the two groups L4-S1 or L5-S1 [139], spasticity was reduced not only in the LE but also in the UE muscles [54], and significant improvement in movement on gait parameters associated with reduction of spasticity without hypotonia in the postsurgical period [140]. Apart from the pathophysiology subject, these conclusions suggest that there is diffuse reduction of spasticity and that the proportionality 'number of sectioned roots – magnitude of suprasegmental effects' is unknown. Secondly, regarding percentage of cutting, a meta-analysis [134] of three randomized clinical trials showed a direct relationship between percentage of dorsal roots transection and functional improvement, whereas another study of Steinbok et al [53] found no correlation between the percentage of divided roots and the extent of the decrease in LE spasticity, and Mortenson et al [46] also found that the percentage of rootlets cut in surgery didn't influence the occurrence of



clinical UE improvement (QUEST). So the correlation 'percentage of sectioned roots – magnitude of suprasegmental effects' seems ignored. Thirdly, let's remember that the parameters 'number of sectioned roots' and 'percentage of root' are chosen according to the motor functional impairment of the child ; in no case could the search of suprasegmental effects alone justify increasing any of these parameters.

Neuromusculoskeletal pathology in CP is well known resulting in failure of longitudinal growth of skeletal muscle, earning it the name « short muscle disease » [58]. Natural history of musculoskeletal tissue in CP children during growth is as following : skeletal muscle does not relax when active because of spasticity, among children having reduced levels of activity and muscle imbalance (weakness, bad selective motor control, poor balance), causing not only contractures but also torsional deformities of long bones, joint instability, spinal deformities and osteoarthritic change. Its management overlaps spasticity management and includes rehabilitation, medical treatment (including botulinum toxin injections) or surgical procedures, whose timing is important [141]. Classical orthopedic procedures for fixed deformities are muscle–tendon lengthening, tendon transfers, neurotomies, osteotomies or joint fusions. These occur frequently among CP children. Steinbok et al [29] reviewed orthopedic procedures after SDR in several studies [50,142–144], concluded on a rate of 65% of orthopedic procedures after SDR and couldn't conclude if SDR is a protective factor for orthopedic procedures (maybe SDR led to fewer orthopedic surgeries if SDR was done among children under 4 years of age). In our cohort, 2 children received orthopedic procedure in the 1st year following SDR (**Appendix XIII**) : Subject 1 suffered from left hip subluxation corrected surgically by femoral derotation and varisation osteotomy, and Subject 2 had bilateral hamstrings lengthening and patellar tendon advancement. Orthopedic surgery on Subject 2 was followed by bilateral cast, giving an explanation for the deterioration of the walking distance at 12 months.

As previously mentioned, progressive spinal deformity is part of the natural history of CP, the severity of spinal deformities increasing with the severity of the body involvement in cerebral palsy. Many authors [145–149] have warned about relatively significant incidence of spinal deformity in

children who have undergone SDR against control, making SDR a risk factor for some spinal deformities but rarely progressive [150], which motivated clinical and radiographic long-term follow-up, and development of new surgical procedures as KIDr technique [25]. Because spinal deformities and trunk control influence each other [124], it is crucial to manage these 2 parameters as best as possible. In our study, trunk control assessment by SATCo showed that among children with bad trunk control at baseline, 67% improved after SDR and 2 lost one level of trunk control. It would be interesting to compare result of trunk control of KIDr versus 'no-KIDr SDR' to determine if, besides being less decaying, this new technique allows a better gain in trunk control compared to other surgical techniques. We didn't analyse radiographic data in this paper. Anyway, it remains essential to balance the risk for development of a relatively mild, expected and monitored spinal deformity with SDR and the risk of complicated ambulation problems or spasticity-dependant side effects without SDR.

Botulinum toxin type A is a potent muscle relaxant, widely used to diminish spasticity in CP children. In our cohort, 3 children had injections within the 1st year following SDR (**Appendix XIII**) : Subject 1 (both UE and lower-extremity among this child having received a limited SDR), Subject 7 (left gastrocnemius and tibialis while S1 root was cutted at 75% and L5 50%) and 11 (only gastrocnemius while S1 root was cutted at 75% on both side).

No orthosis or devices (**Appendix XIII**) were stopped within the 1st year following SDR. Some were modified (perhaps more because of size). Some were introduced in 3 Subjects : Subject 3 who now has 2 crutches, walking ankle-foot orthoses, and handisport equipment, and Subject 9 who accepted orthopedic shoes.

Some oral medication was modified during follow-up (**Appendix XIII**). None interacted with drooling. But some were antispastic drugs : most were reduced or weaned except in the case of Subject 1 whose BACLOFEN and CLONAZEPAM were re-instituted. Note that this is a child whose SDR has made it possible to unmask a large part of dystonia (parasitizing the initial hypertonic situation) for which the Botulinum toxin was resumed.

Lastly, we must mention the fact that our results can describe individual variability.

## **CONCLUSION**

CP children suffer consistently from various degrees of muscle weakness, motor control lack and spasticity in various parts of the body. SDR is one of the treatments for diffuse bothersome spasticity, and positive distant effects have been demonstrated previously. We described our experience with these effects especially on the trunk, upper limbs and drooling. Our study found these beneficial suprasegmental effects for the majority of tested children through several validated tests evaluating body functions and structure, and activities and participation (MAS, PROM, SMC, MRC scale, Grip and Pinch strengths, BBT, MMA, ABILHAND-Kids, SATCo, pressure mapping, drooling questionnaire, GMFM-88, 6MWT). Cerebral palsy is the first etiology of physical disability in childhood, so any improvement in function can increase activities and participation and improve quality of life. It is therefore essential to maintain a wide variety of performance measures to evaluate any intervention. Control subjects and a long-term follow-up would be ideal to determine if these short-term functional improvements are additional as a result of SDR and if they persist well over a year.

## **ACKNOWLEDGEMENTS**

We are grateful to all the children and the parents involved in the study.

We wish to thank all the professionals who participated in the data collection, namely all the team of IRR Flavigny.

We give a particularly warm thanks to Alice Fraser for proofreading this article.

## **3 – CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES**

## **Conclusion générale**

Ce travail rétrospectif porte sur 11 enfants paralysés cérébraux ayant bénéficié d'une Radicotomie Dorsale Sélective selon la technique KIDr au CHRU Nancy suivie d'une rééducation intensive à l'IRR Flavigny, nous avons évalué l'évolution de certains paramètres avant, à 6 mois et 1 an de la chirurgie, à l'aide d'un protocole établi au préalable, dans le but d'objectiver des effets suprasegmentaires ciblés. Ce protocole, axé sur les membres supérieurs, le tronc, et le bavage, se voulait être un compromis entre possibilités matérielles locales sur site, expériences et connaissances des thérapeutes (évaluateurs), outils validés, efficaces et sensibles, et enfin temps de passation acceptable, le tout étant capable de décrire le handicap certes selon la structure et la fonction mais aussi l'activité et la participation comme le propose la CIF. Le protocole final utilise : pour les membres supérieurs la spasticité selon l'échelle d'Ashworth modifiée, les amplitudes articulaires au goniomètre, le contrôle moteur sélectif, la force musculaire, la force de préhension (grip et pinch), le Box and Block Test, le Melbourne Assessment 2, le questionnaire ABILHAND-Kids ; pour le tronc le SATCo et la nappe de pression en station assise ; pour le bavage un questionnaire ; et aussi l'EMFG, le TDM6, la MIF mêmes, l'évaluation de la douleur.

La population étudiée comporte 6 garçons et 5 filles, âgés en moyenne de  $8,5 \pm 3,0$  ans au moment de la chirurgie présentant une quadriplégie spastique (5), une diplégie spastique (5) ou une hémiplegie spastique (1). Les niveaux fonctionnels des enfants avant la RDS étaient : GMFCS I (1), GMFCS II (3), GMFCS III (2), GMFCS IV (2) et GMFCS V (3). Une partie des enfants avait pour objectif les soins de nursing, le confort, la station assise et la verticalisation, et non un objectif purement fonctionnel, tandis que l'autre partie visait classiquement un gain fonctionnel sur la marche.

Parmi les racelles dorsales ciblées,  $52,8 \% \pm 17,5 \%$  ont été sectionnées de L2 à S2, tout au plus. Certains enfants ont bénéficié d'une radicotomie limitée devant une atteinte limitée et/ou asymétrique alors que d'autres ont au contraire eu une radicotomie élargie.

A 1 an de la RDS nous avons noté :

- Concernant les membres supérieurs :

- pour les enfants ayant une fonction et une commande volontaire : une amélioration de la spasticité, de la force de préhension (grip et pinch), du Box and Block Test, du Melbourne Assessment 2, et du questionnaire ABILHAND-Kids, et pas de changement sur les amplitudes articulaires, le contrôle moteur sélectif, ni la force musculaire.
- pour les enfants n'ayant pas de fonction (GMFCS V) : une amélioration de la spasticité, pas de changement sur les amplitudes articulaires, mais des mouvements plus fluides avec facilitation du nursing d'après les aidants.

- Concernant le tronc :

- pour les enfants ayant déjà un bon contrôle du tronc (GMFCS I à III) : un plafonnement ou une amélioration du SATCo c'est-à-dire pas de dégradation après chirurgie, et une distribution des pressions assises meilleure après chirurgie pour 3 enfants testés contre moins bonne pour 2.
- pour les enfants ayant un mauvais contrôle du tronc (GMFCS IV et V) : 2 voient leur SATCo s'aggraver et 3 le voient s'améliorer, et la distribution des pressions assises s'améliore dans la moitié des cas et s'aggrave pour l'autre moitié.

- Concernant le bavage :

Tous les enfants sujets au bavage s'améliorent sur ce point au regard du Questionnaire et aux dires des aidants.

- Concernant les autres paramètres :

L'EMFG progresse sauf dans le cas de 2 sujets où il s'aggrave, le TDM6 se dégrade pour la moitié et s'améliore pour l'autre, et la MIF mêmes est soit améliorée soit stabilisée hormis un sujet qui s'aggrave.

Les objectifs premiers de la RDS ont été majoritairement remplis, et nous avons donc pu objectiver la présence d'effets suprasegmentaires bénéfiques dans notre cohorte, ou effets seconds, pour la grande majorité des sujets.

Cependant ces données sont tirées d'observations cliniques et sont à prendre en compte dans les limites de l'étude (peu de sujets et population hétérogène, données manquantes, étude descriptive, absence de groupe contrôle, limites des tests, facteurs de confusion). Elles n'ont pas de poids statistique.

Nos résultats, certes à pondérer avec l'objectif premier de la RDS et la remarque précédente, sont cohérents avec la littérature et incitent à penser que ces effets « bonus » aident à plaider en faveur de la chirurgie notamment chez les enfants quadriplégiques, au polyhandicap lourd, avec peu voire pas de fonction.

D'autre part les effets sur le long terme restent à étudier sur notre population, et nous sommes curieux de voir si les gains constatés sur le bavage sont pérennes.

### **Physiopathologie**

La découverte d'effets suprasegmentaires interroge forcément la physiopathologie, et ce depuis qu'ils ont été notés.

Pour une meilleure compréhension, nous diviserons artificiellement cette physiopathologie en 3 catégories qui s'additionnent : l'hypothèse biomécanique, l'hypothèse attentionnelle et l'hypothèse de la plasticité neuronale.

L'hypothèse biomécanique : toutes les parties du corps étant solidaires et inter-dépendantes, nous pouvons supposer que des membres inférieurs raides, spastiques, parfois asymétriques, parfois sièges de déformations orthopédiques, avec défaut de force musculaire et de commande volontaire, soient en partie responsables d'une déstabilisation du tronc, d'un mauvais contrôle de ce dernier voire de déformations rachidiennes, d'une mauvaise posture, impliquant ainsi une moins bonne fonctionnalité des membres supérieurs dont le tronc est le support et une tenue de tête incorrecte, pouvant, elle, être le lit de troubles oro-pharyngés comme le bavage [126,151]. Le raisonnement inverse cranio-caudal reste applicable, un trouble de l'extrémité céphalique impliquant des désordres en chaîne des structures inférieures (il a en effet été démontré chez les enfants PC que le contrôle du

tronc était un excellent facteur prédictif de la capacité de marche [152]). Ces relations peuvent en fine participer à un cercle vicieux. Ainsi, en traitant la spasticité des membres inférieurs avec la RDS, nous émettons l'hypothèse de meilleurs posture, équilibre et contrôle du tronc, meilleure fonction des membres supérieurs (il existe une forte corrélation positive entre le contrôle du tronc et la fonction des membres supérieurs chez les enfants avec PC spastique [153]), meilleure tenue de tête pouvant limiter une partie des troubles oro-pharyngés notamment le bavage.

L'hypothèse attentionnelle : il se peut que le soulagement de la spasticité aux membres inférieurs suite à la RDS allège la demande attentionnelle liée à la spasticité et permette de rediriger cette nouvelle disponibilité mentale vers d'autres fonctions. Cette hypothèse était suggérée par Craft et al [36] et plus tard Ojemann et al [154] ont par contre montré chez 3 enfants diplégiques à l'aide d'IRMc fonctionnelles que la RDS chez ne conduit pas, pour 2 d'entre eux, à une réorganisation étendue du cortex dédié à la représentation du membre supérieur, ne plaidant pas forcément en faveur d'une demande attentionnelle modifiée pour les membres supérieurs, avec schéma cortical d'activation essentiellement normal avant comme après la RDS, à l'inverse du 3<sup>ème</sup> cas.

L'hypothèse de la plasticité neuronale : pour expliquer leurs résultats, plusieurs auteurs [36,43,46,52,155] ont cité les travaux de Steinbok et al [52] : chez plus de 15 % enfants en per-opératoire, la stimulation des racines nerveuses lombo-sacrées a provoqué une propagation de la réponse avec contraction des muscles du membre inférieur controlatéral et des muscles des membres supérieurs, du visage et du cou. En cas de PC spastique, l'inhibition supraspinale normale des interneurons rachidiens serait donc diminuée, de sorte que les impulsions nerveuses entrant dans la moelle épinière par l'intermédiaire des racines postérieures se propagent excessivement, à la fois de manière controlatérale et de haut en bas de la moelle épinière, via les interneurons spinaux. Il est donc supposé que, lorsque les racines dorsales sont coupées par RDS, l'apport sensoriel global aux interneurons spinaux est réduit, ce qui supprime une partie de l'activité excitatrice qui aurait pénétrée la moelle épinière à partir des membres inférieurs, et se serait propagée plus haut dans le système nerveux, dans la moelle cervicale, tronc cérébral et peut-être même dans les hémisphères



cérébraux. Cependant, Ojemann et al [154] proposent 3 observations intéressantes chez le diplégique : 1/ la RDS étant volontairement une déafférentation partielle, cela expliquerait que cette chirurgie n'induit pas de réorganisation majeure des représentations corticales des membres, 2/ la principale neuroplasticité suite à la RDS concernerait donc en premier lieu la moelle épinière ou les zones sous-corticales plus que le cortex (bien que chez le seul patient diplégique avec petite atteinte clinique des membres supérieurs, la représentation corticale somatosensorielle de la main se soit étendue après RDS), et 3/ le cortex sensori-moteur anormal chez les enfants CP pourrait ainsi ne pas présenter la même plasticité que celle observée dans d'autres pathologies.

### **Alternatives à la RDS**

En cas de spasticité diffuse dans le contexte de la PC, il est globalement admis que la prise en charge de cette dernière se fait chirurgicalement, soit par RDS, soit par baclofène intrathécal, et dans une moindre mesure par DREZotomie microchirurgicale dont nous n'avons pas l'expérience. Ce choix se fait en fonction : des recommandations, indications, contre-indications, du rapport bénéfices/risques ou avantages/inconvénients, des objectifs, des habitudes/compétences des équipes et de la faisabilité locale, des possibilités d'observance et suivi à court, moyen et long terme, elles-mêmes fonction des déterminants individuels (socio-économiques, motivationnels, culturels) et/ou environnementaux (distance domicile - structure compétente), du choix des familles (croyances, compréhension, acceptation) et théoriquement du coût bien qu'en France ce paramètre soit rarement déterminant.

Revenons sur certains de ces points.

Les recommandations n'existent pas sous cet intitulé-là, mais dernièrement Novak et al [156] ont examiné via une large revue les meilleures interventions fondées sur les données probantes disponibles dans la littérature pour prévenir et gérer les incapacités due à la PC : la RDS apparaît tout à fait recommandée (DO IT) pour diminuer la spasticité des membres inférieurs tout comme la pompe à baclofène (cependant selon un nombre d'études moindre pour la pompe) et améliorer le

schéma de marche, et plutôt recommandée (PROBABLY DO IT) pour améliorer la fonction motrice globale et la participation, et prévenir la subluxation de hanche. La pompe est plutôt recommandée (PROBABLY DO IT) pour améliorer la fonction motrice globale elle aussi, et la marche. La DREZotomie n'est pas du tout évoquée, non prise en compte d'emblée dans la méthodologie. Il apparaît de façon assez attendue qu'aucune de ces 3 techniques chirurgicales n'est citée pour la prise en charge du bavage et de la santé bucco-dentaire.

Concernant les indications et contre-indications, historiquement, la RDS était plutôt réservée aux enfants marchant du fait de sa sélectivité tandis que la pompe était plutôt réservée aux enfants non marchant. Cette préférence existe toujours mais n'est pas un dogme ; en effet, le papier de Novak et al [156] montre bien que la pompe est également indiquée pour les enfants marchant (moyennant des modalités de test et des doses adaptées), d'autre part la RDS reste indiquée pour les enfants non marchant soit d'emblée à des visées pauci ou non fonctionnelles et/ou de confort ou aisance des soins [44] soit après une pompe à baclofène [155], soutenue aussi par les effets suprasegmentaires. Par ailleurs, en plus de ne pas être concurrentes, ces 2 techniques peuvent être cumulatives, leur association peut être une option pertinente dans le cas précis d'un enfant GMFCS IV ou V avec PC à la fois spastique et dystonique (hypertonie mixte) de façon diffuse, le baclofène intrathécal étant un traitement de choix de la dystonie diffuse [157,158].

Les avantages/inconvénients de chacune des techniques sont connus : la RDS est une chirurgie définitive, irréversible, très invasive, à la technique fastidieuse nécessitant des équipes hautement compétentes et rôdées ce qui en rend son accès difficile et rare, les techniques sont variables, et bien que ce soit une vieille chirurgie, il existe peu de consensus sur les indications et les techniques, au sens 'Guidelines', mais son coût est unique et fixe. Les complications post-opératoires et à distance sont très variables en fréquence et en intensité [94]. Le baclofène intrathécal est réversible, c'est une chirurgie techniquement facile et de courte durée, peu invasive, mais avec implantation de matériel justifiant une rigueur per-opératoire. L'accès à cette chirurgie est facile et démocratisé, la diffusion du baclofène ajustable. Il existe des complications médicamenteuses et du

matériel, le coût cumulatif est élevé (matériel, remplissage, médicament), et la taille du dispositif est parfois un facteur limitant chez les plus petits gabarits, malgré les progrès technologiques. La pompe à baclofène exige un suivi régulier non négociable pouvant s'avérer être un facteur limitant. La DREZotomie présente les mêmes caractéristiques que la RDS hormis la technique qui serait moins fastidieuse et la chirurgie ainsi plus accessible, l'ensemble faisant de la DREZotomie l'option à privilégier dans les pays en voie de développement d'après le travail récent en Inde de Goyal et al [159] : le titre traduit « DREZotomie microchirurgicale dans la PC spastique : la pompe à baclofène du pauvre ? » est d'emblée évocateur, et nous amène à réfléchir les dépenses de santé. Enfin, la RDS a des effets suprasegmentaires « bonus », ainsi que la pompe à baclofène documentés sur le paramètre 'spasticité des membres supérieurs' [37,160], qui existent y compris lorsque le cathéter est bas implanté et s'expliquent en premier lieu par le phénomène de diffusion intrathécale vers le haut. A notre connaissance, aucun effet de ce type n'a été décrit dans la littérature dans le cas de la DREZotomie lombosacrée ; cependant, les effets antispastiques segmentaires de la DREZotomie étant expliqués par l'interruption chirurgicale des afférences du réflexe myotatique privant ainsi la corne dorsale de la moelle épinière d'apports excitatoires [161], se rapprochant du principe de la RDS, nous pouvons émettre l'hypothèse que des effets suprasegmentaires existent avec la DREZotomie selon les mêmes mécanismes physiopathologiques.

Enfin, quant aux habitudes ou aux préférences ou aux compétences, celles-ci sont variables certes à l'échelle internationale (cf les publications très majoritairement outre-atlantiques), mais aussi à l'échelle continentale et nationale. A proportions égales de sous-types de PC et niveaux GMFCS, Hägglund et al [162] ont prouvé qu'il existe des différences significatives dans la répartition des traitements de la spasticité tels que la RDS et la pompe à baclofène (ainsi que la toxine botulinique) entre les pays d'Europe du Nord, en raison de l'accès différent aux méthodes de traitement et/ou des divergences dans les préférences des méthodes de traitement entre les professionnels dans les pays. Cette constatation est vraie par expérience au sein de notre pays, et justifie la nécessité de communiquer.

### **Perspectives pour mon exercice futur**

Cette étude et ce travail mûris tout au long de mon internat m'ont permis de souligner plusieurs aspects de la spécialité de Médecine Physique et de Réadaptation.

C'est une spécialité de coordination et d'échanges avec les équipes, ce qui est éminemment vrai lorsqu'un protocole est proposé dans le Centre, impliquant tous les corps de métiers. Ce rôle de 'manager' impose une attitude positive et ouverte, à l'écoute, une souplesse, tout en fixant un cadre et en motivant les professionnels. C'est peut-être un des rôles les plus délicats pour une jeune médecin !

C'est une spécialité transversale avec un champ d'application si large que la somme de connaissances est illimitée ; la littérature est florissante bien que les consensus ne soient pas la règle, justifiant d'allier expérience, pratique clinique, discussions avec les pairs et littérature.

C'est une spécialité, du fait de sa transversalité, en étroite collaboration avec d'autres spécialités (chirurgicales et médicales), qui se déploie notamment au sein de centres experts, véritables plateformes de soin et de recherche sur-spécialisées où les patients sont reçus par une équipe pluridisciplinaire, intégrant une expertise médicale/paramédicale et un plateau technique de pointe, proposant un parcours de soin unique et des stratégies thérapeutiques innovantes peu voire pas diffusées en soins courants. J'ai eu la chance d'expérimenter 2 centres experts, l'IIR à Nancy et l'Hôpital Raymond Poincaré à Garches, et ainsi de confronter les parcours de soin et les prises en charge, de rencontrer des professionnels hautement qualifiés, et de profiter d'une formation de qualité.

C'est une spécialité en perpétuelle évolution. Des mises à jour régulières sont nécessaires, avec partage de connaissances, de compétences, avec ses pairs et avec les rééducateurs, participation à des travaux de recherche. L'exemple le plus parlant est celui du SATCo, outil récent de mesure du contrôle du tronc, que nous avons instauré, avec grande satisfaction auprès des thérapeutes qui ont appris la passation. En effet, il permet d'approcher objectivement le contrôle du

tronc et d'orienter ensuite la rééducation posturale. Il existait finalement un besoin pour mesurer et quantifier facilement le développement du contrôle du tronc chez ces enfants.

Enfin et surtout, c'est LA spécialité de la fonction et du handicap, indissociable de la Classification internationale du Fonctionnement, du handicap et de la santé (CIF) proposée par l'OMS, socle de notre spécialité. En effet, nous avons une mission médico-sociale visant à appliquer toutes les mesures pour prévenir et/ou réduire les conséquences fonctionnelles, physiques, psychiques, cognitives, sociales et économiques des atteintes à la structure, à la fonction, aux activités et aux participations, c'est-à-dire la mission de prendre en charge le patient dans sa globalité et préserver et/ou restaurer son niveau fonctionnel sans oublier l'impact de son environnement potentiellement handicapant. La rééducation neuropédiatrique de l'enfant paralysé cérébral est une parfaite illustration de cet aspect multidimensionnel, multidisciplinaire, avec cette particularité propre à l'enfance qu'est la croissance. Parmi les facteurs environnementaux, il est crucial de prendre en compte les aidants (naturels ou non) ; leur charge est majeure et toute réflexion de prise en charge doit les inclure. Ce souci d'évaluer et de reconnaître le fardeau des aidants peut motiver l'utilisation en pratique clinique du 'Zarit Burden Interview' (ZBI) traduit en français par 'Inventaire du fardeau' [163].

Au total, ces quelques années m'ont apporté une vision sans cesse renouvelée sur la spécialité ou en tous cas sur les pratiqueS de la spécialité, et il me tient à cœur de faire de ses expériences enrichissantes la base solide de ma pratique future.

# **Bibliographie**

1. Bax M. Terminology and classification of cerebral palsy. *Developmental Medicine & Child Neurology*. 1964;6(3):295-7.
2. Mutch L, Alberman E, Hagberg B. Cerebral Palsy Epidemiology: Where are We Now and Where are We Going? *Developmental Medicine & Child Neurology*. 1992;34:547-51.
3. Reddiough DS, Collins KJ. The epidemiology and causes of cerebral palsy. *Australian Journal of Physiotherapy*. 2003;49(1):7-12.
4. Paneth N, Hong T, Korzeniewski S. The Descriptive Epidemiology of Cerebral Palsy. *Clinics in Perinatology*. juin 2006;33(2):251-67.
5. Pharoah PO, Platt MJ, Cooke T. The changing epidemiology of cerebral palsy. *Archives of Disease in Childhood - Fetal and Neonatal Edition*. 1 nov 1996;75(3):F169-73.
6. Bhushan V, Paneth N, Kiely J. Impact of improved survival of very low birth weight infants on recent secular trends in the prevalence of cerebral palsy. *Pediatrics*. 1993;91:1094-100.
7. Odding E, Roebroek ME, Stam HJ. The epidemiology of cerebral palsy: Incidence, impairments and risk factors. *Disability and Rehabilitation*. janv 2006;28(4):183-91.
8. Pakula AT, Van Naarden Braun K, Yeargin-Allsopp M. Cerebral Palsy: Classification and Epidemiology. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*. août 2009;20(3):425-52.
9. Chaléat-Valayer E, Porte M, Buchet-Poyau K, Roumenoff-Turcant F, D'Anjou MC, Boulay C, et al. Management of drooling in children with cerebral palsy: A French survey. *European Journal of Paediatric Neurology*. juill 2016;20(4):524-31.
10. Rosenbaum P, Paneth N, Leviton A. A report: the definition and classification of cerebral palsy April 2006. *Developmental Medicine & Child Neurology*. févr 2007;49:8-14.
11. Shaunak M, Kelly VB. Cerebral palsy in under 25 s: assessment and management (NICE Guideline NG62). *Arch Dis Child Educ Pract Ed*. août 2018;103(4):189-93.
12. Shamsoddini A, Amirsalari S, Hollisaz MT, Rahimnia A, Khatibi-Aghda A. Management of Spasticity in Children with Cerebral Palsy. *Iran J Pediatr*. 2014;24(4):7.
13. Palisano R, Rosenbaum P, Walter S, Russell D, Wood E, Galuppi B. Development and reliability of a system to classify gross motor function in children with cerebral palsy. *Developmental Medicine & Child Neurology*. 1997;39(4):214-23.
14. Wood E, Rosenbaum P. The Gross Motor Function Classification System for Cerebral Palsy: a study of reliability and stability over time. *Dev Med Child Neurol*. mai 2000;42(5):292-6.
15. Sanger TD, Delgado MR, Gaebler-Spira D, Hallett M. Classification and Definition of Disorders Causing Hypertonia in Childhood. *Pediatrics*. 2003;111:89-97.

16. Meseguer-Henarejos AB. Inter- and intra-rater reliability of the Modified Ashworth Scale: a systematic review and meta-analysis. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*. 2018;54(4):15.
17. Enslin JMN, Langerak NG, Fieggan AG. The Evolution of Selective Dorsal Rhizotomy for the Management of Spasticity. *Neurotherapeutics*. janv 2019;16(1):3-8.
18. Fasano V, Broggi G, Barolat-Romana G, Sguazzi A. Surgical Treatment of Spasticity in Cerebral Palsy. *Childs Brain*. 1978;4:289-305.
19. Sindou M. Microsurgical DREZotomy (MDT) for pain, spasticity, and hyperactive bladder: A 20-year experience. *Acta neurochir. mars* 1995;137(1-2):1-5.
20. Pasquali C, Deletis V, Sala F. Selective dorsal rhizotomy: functional anatomy of the conus-cauda and essentials of intraoperative neurophysiology. *Childs Nerv Syst*. sept 2020;36(9):1907-18.
21. Peacock WJ, Eastman RW. The neurosurgical management of spasticity. *South African medical journal*. 1981;60:849-50.
22. Peacock WJ, Arens LJ. Selective posterior rhizotomy for the relief of spasticity in cerebral palsy. *South African medical journal*. 1982;62:119-24.
23. Morota N. Functional posterior rhizotomy: the Tokyo experience. *Childs Nerv Syst*. 2 août 2007;23(9):1007-14.
24. Morota N. Clinically practical formula for preoperatively estimating the cutting rate of the spinal nerve root in a functional posterior rhizotomy. *Childs Nerv Syst*. avr 2019;35(4):665-72.
25. Sindou M, Georgoulis G. Keyhole interlaminar dorsal rhizotomy for spastic diplegia in cerebral palsy. *Acta Neurochir*. juill 2015;157(7):1187-96.
26. Sindou M, Joud A, Georgoulis G. How I do it: Selective dorsal rhizotomy, using interlaminar approaches, for spastic diplegia/quadriplegia in children with cerebral palsy. *Acta Neurochir*. oct 2021;163(10):2845-51.
27. Abbott R. The selective dorsal rhizotomy technique for spasticity in 2020: a review. *Childs Nerv Syst*. sept 2020;36(9):1895-905.
28. Peacock WJ, Arens LJ, Berman B. Cerebral Palsy Spasticity. Selective Posterior Rhizotomy. *Pediatric Neuroscience*. 1987;13:61-6.
29. Steinbok P. Outcomes after selective dorsal rhizotomy for spastic cerebral palsy: Child's Nerv Syst. 19 janv 2001;17(1-2):1-18.
30. Kinghorn J. Upper Extremity Functional Changes Following Selective Posterior Rhizotomy in Children With Cerebral Palsy. *The American Journal of Occupational Therapy*. 1 juin 1992;46(6):502-7.
31. Lewin JE, Mix CM, Gaebler-Spira D. Self-Help and Upper Extremity Changes in 36 Children with Cerebral Palsy Subsequent to Selective Posterior Rhizotomy and Intensive



- Occupational and Physical Therapy. *Physical & Occupational Therapy In Pediatrics*. 1993;13(3):25-42.
32. Flower P. Oral-Motor and Respiratory Changes in Children With Spastic Cerebral Palsy Following Selective Posterior Rhizotomy. *Modification de la motricite orale et de la respiration chez des enfants ayant la paralysie cerebrale spasmodique apres une rhizotomie posterieure selective*. *Journal of Speech-Language Pathology and Audiology*. 1993;17:5.
  33. Beck AJ, Gaskill SJ, Marlin AE. Improvement in Upper Extremity Function and Trunk Control After Selective Posterior Rhizotomy. *The American Journal of Occupational Therapy*. 1 août 1993;47(8):704-7.
  34. Dudgeon BJ, Libby AK, McLaughlin JF, Hays RM, Bjornson KF, Roberts TS. Prospective measurement of functional changes after selective dorsal rhizotomy. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. janv 1994;75(1):46-53.
  35. Buckon C, Sienko Thomas S, Aiona M, Piatt J. Assessment of upper-extremity function in children with spastic diplegia before and after selective dorsal rhizotomy. *Developmental Medicine & Child Neurology*. 1995;967-75.
  36. Craft S, Park TS, White DA, Schatz J, Noetzel M, Arnold S. Changes in Cognitive Performance in Children with Spastic Diplegic Cerebral Palsy following Selective Dorsal Rhizotomy. *Pediatr Neurosurg*. 1995;23(2):68-75.
  37. Albright, Barry, Fasick, Janosky. Effects of continuous intrathecal baclofen infusion and selective posterior rhizotomy on upper extremity spasticity. *Pediatric Neurosurgery*. 1995;23(2):83-5.
  38. Yang TF, Chan RC, Wong TT, Bair WN, Kao CC, Chuang TY, et al. Quantitative measurement of improvement in sitting balance in children with spastic cerebral palsy after selective posterior rhizotomy. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*. sept 1996;75(5):348-52.
  39. Loewen P, Steinbok P, Holsti L, MacKay M. Upper Extremity Performance and Self-Care Skill Changes in Children with Spastic Cerebral Palsy following Selective Posterior Rhizotomy. *Pediatr Neurosurg*. 1998;29(4):191-8.
  40. Mittal S, Farmer JP, Al-Atassi B, Montpetit K, Gervais N, Poulin C, et al. Impact of Selective Posterior Rhizotomy on Fine Motor Skills. *Pediatr Neurosurg*. 2002;36(3):133-41.
  41. Chan SH shan, Yam KY, Yiu-Lau BP heung, Poon CY ching, Chan NN chi, Cheung HM, et al. Selective Dorsal Rhizotomy in Hong Kong: Multidimensional Outcome Measures. *Pediatric Neurology*. juill 2008;39(1):22-32.
  42. Hořínek D, Hoza D, Černý R, Vyhnálek M, Sturm D, Bojar M, et al. Two cases of improvement of smooth pursuit eye movements after selective posterior rhizotomy. *Childs Nerv Syst*. nov 2008;24(11):1283-8.

43. Gigante P, McDowell MM, Bruce SS, Chirelstein G, Chiriboga CA, Dutkowsky J, et al. Reduction in upper-extremity tone after lumbar selective dorsal rhizotomy in children with spastic cerebral palsy: Clinical article. *PEP*. déc 2013;12(6):588-94.
44. D'Aquino D, Moussa AA, Ammar A, Ingale H, Vloeberghs M. Selective dorsal rhizotomy for the treatment of severe spastic cerebral palsy: efficacy and therapeutic durability in GMFCS grade IV and V children. *Acta Neurochir*. 2017;160(4):811-21.
45. Tacchino CM, Calevo MG, Pavanello M, Lanteri P, Bertamino M. Improved trunk and neck control after selective dorsal rhizotomy in children with spastic cerebral palsy. *Childs Nerv Syst*. févr 2021;37(2):351-2.
46. Mortenson P, Sadashiva N, Tamber MS, Steinbok P. Long-term upper extremity performance in children with cerebral palsy following selective dorsal rhizotomy. *Childs Nerv Syst*. juin 2021;37(6):1983-9.
47. Salame K, Ouaknine GER, Rochkind S, Constantini S, Razon N. Surgical Treatment of Spasticity by Selective Posterior Rhizotomy: 30 Years Experience. *The Israel Medical Association journal*. 2003;5(8):543-6.
48. Schijman E, Erro MG, Meana NV. Selective posterior rhizotomy: experience of 30 cases. *Child's Nerv Syst*. déc 1993;9(8):474-7.
49. Irwin-Carruthers SH, Davids LM, Rensburg CKV, Magasiner V, Scott D. Early physiotherapy in selective posterior rhizotomy. *Physiotherapy*. 1985;(2):6.
50. Arens LJ, Peacock WJ, Peter J. Selective posterior rhizotomy: a long-term follow-up study. *Child's Nerv Syst*. juin 1989;5(3):148-52.
51. Cohen AR, Webster HC. How selective is selective posterior rhizotomy? *Surgical Neurology*. avr 1991;35(4):267-72.
52. Steinbok P, Langill L, Cochrane DD, Keyes R. Observations on electrical stimulation of lumbosacral nerve roots in children with and without lower limb spasticity. *Child's Nerv Syst*. oct 1992;8(7):376-82.
53. Steinbok P, Gustavsson B, Kestle JRW, Reiner A, Cochrane DD. Relationship of intraoperative electrophysiological criteria to outcome after selective functional posterior rhizotomy. *Journal of Neurosurgery*. juill 1995;83(1):18-26.
54. Lazareff, Mata-Acosta, Garcia-Mendez. Lazareff JA, Mata-Acosta AM, Garcia-Mendez MA. Limited selective posterior rhizotomy for the treatment of spasticity secondary to infantile cerebral palsy: a preliminary report. *Neurosurgery*. 1990 Oct;27(4):535-8. doi: 10.1097/00006123-199010000-00005. PMID: 2234354. *Neurosurgery*. 1990;27:535-8.
55. Wright FV, Sheil EMH, Drake JM, Wedge JH, Naumann S. Evaluation of selective dorsal rhizotomy for the reduction of spasticity in cerebral palsy: a randomized controlled trial. *Developmental Medicine & Child Neurology*. 1998;40(4):239-47.
56. Summers J, Coker B, Eddy S, Elstad M, Bunce C, Bourmpaki E, et al. Selective dorsal rhizotomy in ambulant children with cerebral palsy: an observational cohort study. *The Lancet Child & Adolescent Health*. juill 2019;3(7):455-62.

57. Miller F, Bachrach S, Lennon N, O'Neil ME, éditeurs. Cerebral Palsy [Internet]. 2<sup>e</sup> éd. Cham: Springer International Publishing; 2020 [cité 8 mai 2022]. Disponible sur: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-74558-9>
58. Graham HK, Selber P. Musculoskeletal aspects of cerebral palsy. *The Journal of Bone and Joint Surgery British volume*. mars 2003;85-B(2):157-66.
59. Eliasson AC, Krumlinde-Sundholm L, Rösblad B, Beckung E, Arner M, Öhrvall AM, et al. The Manual Ability Classification System (MACS) for children with cerebral palsy: scale development and evidence of validity and reliability. *Dev Med Child Neurol*. juill 2006;48(07):549.
60. Hidecker MJC, Paneth N, Rosenbaum PL, Kent RD, Lillie J, Eulenberg JB, et al. Developing and validating the Communication Function Classification System for individuals with cerebral palsy: Developing a Communication Classification System. *Developmental Medicine & Child Neurology*. août 2011;53(8):704-10.
61. Biering-Sorensen F, Nielsen J, Klinge K. Spasticity-assessment: a review. *Spinal Cord*. 2006;44:708-22.
62. Rekand T. Clinical assessment and management of spasticity: a review: Clinical assessment and management of spasticity. *Acta Neurologica Scandinavica*. juill 2010;122:62-6.
63. Platz T, Eickhof C, Nuyens G, Vuadens P. Clinical scales for the assessment of spasticity, associated phenomena, and function: a systematic review of the literature. *Disability and Rehabilitation*. janv 2005;27(1-2):7-18.
64. Dobson F. Assessing selective motor control in children with cerebral palsy. *Developmental Medicine & Child Neurology*. 19 mars 2010;52(5):409-10.
65. Manikowska F, Chen BPJ, Józwiak M, Lebedowska MK. Validation of Manual Muscle Testing (MMT) in children and adolescents with cerebral palsy. *NRE*. 30 janv 2018;42(1):1-7.
66. McQuiddy VA, Scheerer CR, Lavalley R, McGrath T, Lin L. Normative Values for Grip and Pinch Strength for 6- to 19-Year-Olds. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. sept 2015;96(9):1627-33.
67. Mathiowetz V, Federman S, Wiemer D. Box and Block Test of Wan al Dex, Norms for 6-19 Year Olds. *Canadian Journal of Occupational Therapy*. 1985;52(5):241-5.
68. Randall M, Imms C, Carey L. Establishing Validity of a Modified Melbourne Assessment for Children Ages 2 to 4 Years. *American Journal of Occupational Therapy*. 1 juill 2008;62(4):373-83.
69. Randall M, Imms C, Carey L. Further evidence of validity of the Modified Melbourne Assessment for neurologically impaired children aged 2 to 4 years: Melbourne Assessment for Children Aged 2 to 4 Years. *Developmental Medicine & Child Neurology*. mai 2012;54(5):424-8.

70. Bard R, Chaléat-Valayer E, Combey A, Bleu PE, Perretant I, Bernard JC. Upper limb assessment in children with cerebral palsy: Translation and reliability of the French version for the Melbourne unilateral upper limb assessment (test de Melbourne). *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*. mai 2009;52(4):297-310.
71. Arnould C, Penta M, Renders A, Thonnard JL. ABILHAND-Kids: A measure of manual ability in children with cerebral palsy. *Neurology*. 28 sept 2004;63(6):1045-52.
72. Bleyenheuft Y, Gordon AM, Rameckers E, Thonnard JL, Arnould C. Measuring changes of manual ability with ABILHAND-Kids following intensive training for children with unilateral cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*. mai 2017;59(5):505-11.
73. de Jong LD, van Meeteren A, Emmelot CH, Land NE, Dijkstra PU. Reliability and sources of variation of the ABILHAND-Kids questionnaire in children with cerebral palsy. *Disability and Rehabilitation*. 13 mars 2018;40(6):684-9.
74. Butler PB, Saavedra S, Sofranac M, Jarvis SE, Woollacott MH. Refinement, Reliability, and Validity of the Segmental Assessment of Trunk Control. *Pediatric Physical Therapy*. 2010;22(3):246-57.
75. Curtis DJ, Woollacott M, Bencke J, Lauridsen HB, Saavedra S, Bandholm T, et al. The functional effect of segmental trunk and head control training in moderate-to-severe cerebral palsy: A randomized controlled trial. *Developmental Neurorehabilitation*. 17 févr 2018;21(2):91-100.
76. Hansen L, Erhardsen KT, Bencke J, Magnusson SP, Curtis DJ. The Reliability of the Segmental Assessment of Trunk Control (SATCo) in Children with Cerebral Palsy. *Physical & Occupational Therapy In Pediatrics*. 27 mai 2018;38(3):291-304.
77. Gudjonsdottir B, Mercer VS. Hip and Spine in Children with Cerebral Palsy: Musculoskeletal Development and Clinical Implications. *Pediatric Physical Therapy*. 1997;9(4):179-85.
78. Lacoste M, Therrien M, Côté JN, Shrier I, Labelle H, Prince F. Assessment of Seated Postural Control in Children: Comparison of a Force Platform Versus a Pressure Mapping System. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. déc 2006;87(12):1623-9.
79. Fradet L, Tiernan J, Mcgrath M, Murray E, Braatz F, Wolf SI. The use of pressure mapping for seating posture characterisation in children with cerebral palsy. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*. janv 2011;6(1):47-56.
80. Kirkland-Walsh H, Teleten O, Wilson M, Raingruber B. Pressure Mapping Comparison of Four OR Surfaces. *AORN Journal*. juill 2015;102(1):61.e1-61.e9.
81. Braden B, Bergstrom N. A Conceptual Schema for the Study of the Etiology of Pressure Sores. *Rehabilitation Nursing*. janv 1987;12(1):8-12.
82. Matsuo J, Sugama J, Sanada H, Okuwa M, Nakatani T, Konya C, et al. Development and validity of a new model for assessing pressure redistribution properties of support surfaces. *Journal of Tissue Viability*. mai 2011;20(2):55-66.

83. Eitzen I. Pressure mapping in seating: a frequency analysis approach. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. juill 2004;85(7):1136-40.
84. McDonald RL, Wilson GN, Molloy A, Franck LS. Feasibility of three electronic instruments in studying the benefits of adaptive seating. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*. nov 2011;6(6):483-90.
85. Job A, Naina P, Syed KA, Thomas M, John M, Varghese AM. Validation of a drooling questionnaire in Indian children with cerebral palsy. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*. sept 2018;112:55-60.
86. Charmet E, Bethoux F, Calmels P, Gautheron V, Minaire P. MIF Momes: étude de la reproductibilité et analyse d'une population témoin d'enfants sains de 1 à 9 ans (échantillon de 167 sujets). *Annales de Réadaptation et de Médecine Physique*. 1996;39(1):5.
87. Ottenbacher KJ, Msall ME, Lyon N, Duffy LC, Ziviani J, Granger CV, et al. The WeeFIM Instrument: Its Utility in Detecting Change in Children With Developmental Disabilities. 2000;81:10.
88. James S, Ziviani J, Boyd R. A systematic review of activities of daily living measures for children and adolescents with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*. mars 2014;56(3):233-44.
89. Gunel MK, Mutlu A, Tarsuslu T, Livanelioglu A. Relationship among the Manual Ability Classification System (MACS), the Gross Motor Function Classification System (GMFCS), and the functional status (WeeFIM) in children with spastic cerebral palsy. *Eur J Pediatr*. avr 2009;168(4):477-85.
90. Ko J, Kim M. Reliability and Responsiveness of the Gross Motor Function Measure-88 in Children With Cerebral Palsy. *Physical Therapy*. 1 mars 2013;93(3):393-400.
91. Maher CA, Williams MT, Olds TS. The six-minute walk test for children with cerebral palsy. *International Journal of Rehabilitation Research*. juin 2008;31(2):185-8.
92. Nsenga Leunkeu A, Shephard RJ, Ahmaid S. Six-Minute Walk Test in Children With Cerebral Palsy Gross Motor Function Classification System Levels I and II: Reproducibility, Validity, and Training Effects. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. déc 2012;93(12):2333-9.
93. Fitzgerald D, Hickey C, Delahunt E, Walsh M, O'Brien T. Six-Minute Walk Test in Children With Spastic Cerebral Palsy and Children Developing Typically. *Pediatric Physical Therapy*. 2016;28(2):192-9.
94. Tedroff K, Hägglund G, Miller F. Long-term effects of selective dorsal rhizotomy in children with cerebral palsy: a systematic review. *Dev Med Child Neurol*. mai 2020;62(5):554-62.
95. Nordmark E, Josenby AL, Lagergren J, Andersson G, Strömblad LG, Westbom L. Long-term outcomes five years after selective dorsal rhizotomy. *BMC Pediatr*. déc 2008;8(1):54.

96. Langerak NG, Lamberts RP, Fiegeen AG, Peter JC, Peacock WJ, Vaughan CL. 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. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. juin 2009;90(6):994-1003.
97. Josenby AL, Wagner P, Jarnlo GB, Westbom L, Nordmark E. Motor function after selective dorsal rhizotomy: a 10-year practice-based follow-up study: Motor Function 10 Years After SDR. *Developmental Medicine & Child Neurology*. mai 2012;54(5):429-35.
98. Ailon T, Beauchamp R, Miller S, Mortenson P, Kerr JM, Hengel AR, et al. Long-term outcome after selective dorsal rhizotomy in children with spastic cerebral palsy. *Childs Nerv Syst*. mars 2015;31(3):415-23.
99. Munger ME, Aldahondo N, Krach LE, Novacheck TF, Schwartz MH. Long-term outcomes after selective dorsal rhizotomy: a retrospective matched cohort study. *Dev Med Child Neurol*. nov 2017;59(11):1196-203.
100. Park T, Liu JL, Edwards C, Walter DM, Dobbs MB. Functional Outcomes of Childhood Selective Dorsal Rhizotomy 20 to 28 Years Later. *Cureus* [Internet]. 17 mai 2017 [cité 2 avr 2022]; Disponible sur: <http://www.cureus.com/articles/6802-functional-outcomes-of-childhood-selective-dorsal-rhizotomy-20-to-28-years-later>
101. Charalambous CP. Interrater Reliability of a Modified Ashworth Scale of Muscle Spasticity. In: Banaszkiwicz PA, Kader DF, éditeurs. *Classic Papers in Orthopaedics* [Internet]. London: Springer London; 2014 [cité 22 mars 2022]. p. 415-7. Disponible sur: [http://link.springer.com/10.1007/978-1-4471-5451-8\\_105](http://link.springer.com/10.1007/978-1-4471-5451-8_105)
102. Mutlu A, Livanelioglu A, Gunel MK. Reliability of Ashworth and Modified Ashworth Scales in Children with Spastic Cerebral Palsy. *BMC Musculoskelet Disord*. déc 2008;9(1):44.
103. Yam WKL, Leung MSM. Interrater Reliability of Modified Ashworth Scale and Modified Tardieu Scale in Children With Spastic Cerebral Palsy. *J Child Neurol*. déc 2006;21(12):1031-5.
104. Damiano DL, Quinlivan JM, Owen BF, Payne P, Nelson KC, Abel MF. What does the Ashworth scale really measure and are instrumented measures more valid and precise? *Dev Med Child Neurol*. 5 févr 2002;44(02):112.
105. Scholtes VA, Becher JG, Beelen A, Lankhorst GJ. Clinical assessment of spasticity in children with cerebral palsy: a critical review of available instruments. *Dev Med Child Neurol*. 19 déc 2005;48(01):64.
106. McLellan A, Cipparone C, Giancola D, Armstrong D, Bartlett D. Medical and Surgical Procedures Experienced by Young Children With Cerebral Palsy. *Pediatric Physical Therapy*. 2012;24(3):268-77.
107. Novak I, McIntyre S, Morgan C, Campbell L, Dark L, Morton N, et al. A systematic review of interventions for children with cerebral palsy: state of the evidence. *Dev Med Child Neurol*. oct 2013;55(10):885-910.

108. Funk JF, Panthen A, Bakir MS, Gruschke F, Sarpong A, Wagner C, et al. Predictors for the benefit of selective dorsal rhizotomy. *Research in Developmental Disabilities*. févr 2015;37:127-34.
109. Graham HK, Rosenbaum P, Paneth N, Dan B, Lin JP, Damiano DL, et al. Cerebral palsy. *Nat Rev Dis Primers*. 22 déc 2016;2(1):15082.
110. Engsberg JR, Ross SA, Collins DR, Park TS. Effect of selective dorsal rhizotomy in the treatment of children with cerebral palsy. *Journal of Neurosurgery: Pediatrics*. juill 2006;105(1):8-15.
111. Cole GF, Farmer SE, Roberts A, Stewart C, Patrick JH. Selective dorsal rhizotomy for children with cerebral palsy: the Oswestry experience. *Archives of Disease in Childhood*. 1 sept 2007;92(9):781-5.
112. Carraro E, Zeme S, Ticcinelli V, Massaroni C, Santin M, Peretta P, et al. Multidimensional outcome measure of selective dorsal rhizotomy in spastic cerebral palsy. *European Journal of Paediatric Neurology*. nov 2014;18(6):704-13.
113. Namdari S, Yagnik G, Ebaugh DD, Nagda S, Ramsey ML, Williams GR, et al. Defining functional shoulder range of motion for activities of daily living. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*. sept 2012;21(9):1177-83.
114. Mathiowetz V, Vizenor L, Melander D. Comparison of Baseline Instruments to the Jamar Dynamometer and the B&L Engineering Pinch Gauge. *The Occupational Therapy Journal of Research*. juill 2000;20(3):147-62.
115. Araneda R, Ebner-Karestinos D, Paradis J, Saussez G, Friel KM, Gordon AM, et al. Reliability and responsiveness of the Jebsen-Taylor Test of Hand Function and the Box and Block Test for children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*. oct 2019;61(10):1182-8.
116. Liang KJ, Chen HL, Shieh JY, Wang TN. Measurement properties of the box and block test in children with unilateral cerebral palsy. *Sci Rep*. déc 2021;11(1):20955.
117. Klingels K, De Cock P, Desloovere K, Huenaerts C, Molenaers G, Van Nuland I, et al. Comparison of the Melbourne Assessment of Unilateral Upper Limb Function and the Quality of Upper Extremity Skills Test in hemiplegic CP. *Developmental Medicine & Child Neurology*. déc 2008;50(12):904-9.
118. Thorley M, Lannin N, Cusick A, Novak I, Boyd R. Construct validity of the Quality of Upper Extremity Skills Test for children with cerebral palsy: Construct validity of the QUEST. *Developmental Medicine & Child Neurology*. nov 2012;54(11):1037-43.
119. Dennis M, Spiegler BJ, Juranek JJ, Bigler ED, Snead OC, Fletcher JM. Age, plasticity, and homeostasis in childhood brain disorders. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. déc 2013;37(10):2760-73.
120. Grunt S, Fieggen AG, Vermeulen RJ, Becher JG, Langerak NG. Selection criteria for selective dorsal rhizotomy in children with spastic cerebral palsy: a systematic review of the literature. *Dev Med Child Neurol*. avr 2014;56(4):302-12.

121. Macwilliams BA, Johnson BA, Shuckra AL, D'Astous JL. Functional decline in children undergoing selective dorsal rhizotomy after age 10: SDR and Functional Decline in Older Children. *Developmental Medicine & Child Neurology*. août 2011;53(8):717-23.
122. Flfe S, Roxborough L, Armstrong R, Harris S, Gregson J, Field D. Development of a Clinical Measure of Postural Control for Assessment of Adaptive Seating in Children with Neuromotor Disabilities. *Physical Therapy*. 1991;71(12):981-93.
123. Lee IH, Park S young. Abnormal sitting pressures of hemiplegic cerebral palsy children on a school chair. *J Phys Ther Sci*. 2015;27(2):499-500.
124. Brunner R. Development and conservative treatment of spinal deformities in cerebral palsy. *Journal of Children's Orthopaedics*. févr 2020;14(1):2-8.
125. Reid SM, Mccutcheon J, Reddihough DS, Johnson H. Prevalence and predictors of drooling in 7- to 14-year-old children with cerebral palsy: a population study: Drooling in Children with CP. *Developmental Medicine & Child Neurology*. nov 2012;54(11):1032-6.
126. Erasmus CE, Van Hulst K, Rotteveel LJC, Jongerius PH, Van Den Hoogen FJA, Roeleveld N, et al. Drooling in cerebral palsy: hypersalivation or dysfunctional oral motor control? *Developmental Medicine & Child Neurology*. juin 2009;51(6):454-9.
127. Sochaniwskyj E, Koheil RM, Bablich K, Milner M, Kenny DJ. Oral Motor Functioning, Frequency of Swallowing and Drooling in Normal Children and in Children with Cerebral Palsy. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 1986;67:9.
128. Senner JE, Logemann J, Zecker S, Gaebler-Spira D. Drooling, saliva production, and swallowing in cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol [Internet]*. déc 2004 [cité 8 mai 2022];46(12). Disponible sur: <http://doi.wiley.com/10.1017/S0012162204001409>
129. Sanders JO, McConnell SL, King R, Lanford A, Montpetit K, Gates P, et al. A Prospective Evaluation of the WeeFIM in Patients With Cerebral Palsy Undergoing Orthopaedic Surgery. *Journal of Pediatric Orthopaedics*. juill 2006;26(4):542-6.
130. Steinbok P, Reiner AM, Beauchamp R, Armstrong RW, Cochrane DD. A randomized clinical trial to compare selective posterior rhizotomy plus physiotherapy with physiotherapy alone in children with spastic diplegic cerebral palsy. *Developmental Medicine & Child Neurology*. 1997;39(3):178-84.
131. McLaughlin JF, Bjornson KF, Astley SJ, Graubert C, Hays RM, Roberts TS, et al. Selective dorsal rhizotomy: efficacy and safety in an investigator-masked randomized clinical trial. *Developmental Medicine & Child Neurology*. 1998;40(4):220-32.
132. Pawłowski M, Gaşior JS, Bonikowski M, Dziedzic E, Błaszczuk JW. Long-term benefits from selective dorsal rhizotomy in a young patient with cerebral palsy. *Polish Annals of Medicine*. août 2017;24(2):256-60.
133. Gillespie CS, George AM, Hall B, Toh S, Islim AI, Alder Hey Physiotherapy Group, et al. The effect of GMFCS level, age, sex, and dystonia on multi-dimensional outcomes after selective dorsal rhizotomy: prospective observational study. *Childs Nerv Syst*. mai 2021;37(5):1729-40.

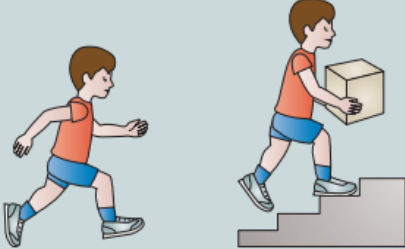
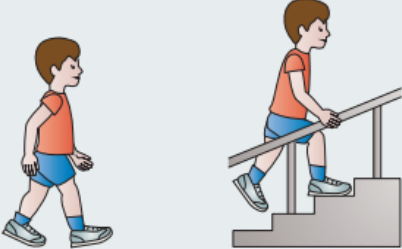
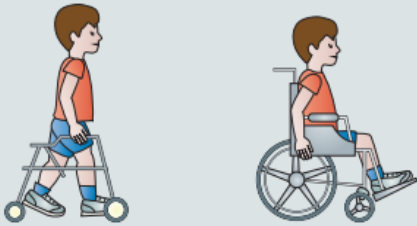
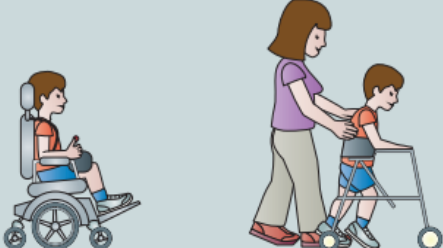



134. McLaughlin J, Bjornson K, Temkin N, Steinbok P, Wright V, Reiner A, et al. Selective dorsal rhizotomy: meta-analysis of three randomized controlled trials. *Dev Med Child Neurol.* 24 janv 2002;44(01):17.
135. Hägglund G, Wagner P. Development of spasticity with age in a total population of children with cerebral palsy. *BMC Musculoskelet Disord.* déc 2008;9(1):150.
136. Eliasson AC. Improving the Use of Hands in Daily Activities. *Phys & Occupational Therapy In Pediatrics.* 16 août 2005;25(3):37-60.
137. Nordstrand L, Eliasson AC, Holmefur M. Longitudinal development of hand function in children with unilateral spastic cerebral palsy aged 18 months to 12 years. *Dev Med Child Neurol.* oct 2016;58(10):1042-8.
138. Parkes J, Hill N, Platt MJ, Donnelly C. Oromotor dysfunction and communication impairments in children with cerebral palsy: a register study: Oromotor and Communication Impairments in CP. *Developmental Medicine & Child Neurology.* déc 2010;52(12):1113-9.
139. Lazareff JA, Garcia-Mendez MA, De Rosa R, Olmstead C. Limited (L4-S1, L5-S1) Selective Dorsal Rhizotomy for Reducing Spasticity in Cerebral Palsy. *Acta Neurochirurgica.* 13 juill 1999;141(7):743-52.
140. Galarza M, Fowler EG, Chipps L, Padden TM, Lazareff JA. Functional Assessment of Children with Cerebral Palsy Following Limited (L4-S1) Selective Posterior Rhizotomy - A Preliminary Report. *Acta Neurochirurgica.* 1 sept 2001;143(9):865-72.
141. Novacheck TF, Gage JR. Orthopedic management of spasticity in cerebral palsy. *Childs Nerv Syst.* sept 2007;23(9):1015-31.
142. Greene W, Dietz F, Goldberg M, Gross R, Miller F, Sussman MD. Rapid progression of hip subluxation in cerebral palsy after selective posterior rhizotomy. *Journal of Pediatric Orthopaedics.* 1991;11(4):494-7.
143. Marty GR, Dias LS, Gaebler-Spira D. Selective posterior rhizotomy and soft-tissue procedures for the treatment of cerebral diplegia.: *The Journal of Bone & Joint Surgery.* mai 1995;77(5):713-8.
144. Chicoine MR, Park TS, Kaufman BA. Selective dorsal rhizotomy and rates of orthopedic surgery in children with spastic cerebral palsy. *Journal of Neurosurgery.* janv 1997;86(1):34-9.
145. Johnson MB, Goldstein L, Thomas SS, Piatt J, Aiona M, Sussman M. Spinal Deformity After Selective Dorsal Rhizotomy in Ambulatory Patients With Cerebral Palsy. *J Pediatr Orthop.* 2004;24(5):8.
146. Spiegel DA, Loder RT, Alley KA, Rowley S, Gutknecht S, Smith-Wright DL, et al. Spinal Deformity Following Selective Dorsal Rhizotomy. *J Pediatr Orthop.* 2004;24(1):7.

147. Steinbok P, Hicdonmez T, Sawatzky B, Beauchamp R, Wickenheiser D. Spinal deformities after selective dorsal rhizotomy for spastic cerebral palsy. *Journal of Neurosurgery: Pediatrics*. mai 2005;102(4):363-73.
148. Golan JD, Hall JA, O’Gorman G, Poulin C, Benaroch TE, Cantin MA, et al. Spinal deformities following selective dorsal rhizotomy. *Journal of Neurosurgery: Pediatrics*. juin 2007;106(6):441-9.
149. Li Z, Zhu J, Liu X. Deformity of lumbar spine after selective dorsal rhizotomy for spastic cerebral palsy: Deformity of Lumbar Spine. *Microsurgery*. janv 2008;28(1):10-2.
150. Britz E, Langerak NG, Lamberts RP. A narrative review on spinal deformities in people with cerebral palsy: Measurement, norm values, incidence, risk factors and treatment. *S Afr Med J*. 29 juill 2020;110(8):767.
151. Larnert G, Ekberg O. Positioning improves the oral and pharyngeal swallowing function in children with cerebral palsy. *Acta Paediatrica*. juin 1995;84(6):689-93.
152. Balzer J, Marsico P, Mitteregger E, van der Linden ML, Mercer TH, van Hedel HJA. Influence of trunk control and lower extremity impairments on gait capacity in children with cerebral palsy. *Disability and Rehabilitation*. 18 déc 2018;40(26):3164-70.
153. Yildiz A, Yildiz R, Elbasan B. Trunk Control in Children with Cerebral Palsy and its Association with Upper Extremity Functions. *J Dev Phys Disabil*. oct 2018;30(5):669-76.
154. Ojemann JG, McKinstry RC, Mukherjee P, Park TS, Burton H. Hand somatosensory cortex activity following selective dorsal rhizotomy: report of three cases with fMRI. *Childs Nerv Syst*. févr 2005;21(2):115-21.
155. Ingale H, Ughratdar I, Muquit S, Moussa AA, Vloeberghs MH. Selective dorsal rhizotomy as an alternative to intrathecal baclofen pump replacement in GMFCS grades 4 and 5 children. *Childs Nerv Syst*. févr 2016;32(2):321-5.
156. Novak I, Morgan C, Fahey M, Finch-Edmondson M, Galea C, Hines A, et al. State of the Evidence Traffic Lights 2019: Systematic Review of Interventions for Preventing and Treating Children with Cerebral Palsy. *Curr Neurol Neurosci Rep*. févr 2020;20(2):3.
157. Motta F, Stignani C, Antonello CE. Effect of Intrathecal Baclofen on Dystonia in Children With Cerebral Palsy and the Use of Functional Scales. *Journal of Pediatric Orthopaedics*. mars 2008;28(2):213-7.
158. Nahm NJ, Graham HK, Gormley ME, Georgiadis AG. Management of hypertonia in cerebral palsy: Current Opinion in Pediatrics. *Current Opinion in Pediatrics*. févr 2018;30(1):57-64.
159. Goyal N, Arora S, Kulshreshtha P, Gupta P. Microsurgical DREZotomy in Spastic Cerebral Palsy: Poor Man’s Baclofen Pump. *World Neurosurgery*. mai 2021;149:e170-7.
160. Albright AL, Gilmartin R, Swift D, Krach LE, Ivanhoe CB, McLaughlin JF. Long-term intrathecal baclofen therapy for severe spasticity of cerebral origin. *Journal of Neurosurgery*. févr 2003;98(2):291-5.

161. Sindou MP. Surgical Dorsal Root Entry Zone Lesions for Pain. In: Textbook of Stereotactic and Functional Neurosurgery. Berlin/Heidelberg: Springer; 2009. p. 2269-89.
162. Hägglund G, Hollung SJ, Ahonen M, Andersen GL, Eggertsdóttir G, Gaston MS, et al. Treatment of spasticity in children and adolescents with cerebral palsy in Northern Europe: a CP-North registry study. *BMC Neurol.* déc 2021;21(1):276.
163. Hébert R, Bravo G, Prévile M. Reliability, Validity and Reference Values of the Zarit Burden Interview for Assessing Informal Caregivers of Community-Dwelling Older Persons with Dementia. *Can J Aging.* 2000;19(4):494-507.

# **ANNEXES**

	<p><b>GMFCS level I</b> Children walk at home, school, outdoors and in the community. They can climb stairs without the use of a railing. Children perform gross motor skills such as running and jumping, but speed, balance and coordination are limited.</p>
	<p><b>GMFCS level II</b> Children walk in most settings and climb stairs holding onto a railing. They may experience difficulty walking long distances and balancing on uneven terrain, inclines, in crowded areas or confined spaces. Children may walk with physical assistance, a hand-held mobility device or use wheeled mobility over long distances. Children have only minimal ability to perform gross motor skills such as running and jumping.</p>
	<p><b>GMFCS level III</b> Children walk using a hand-held mobility device in most indoor settings. They may climb stairs holding onto a railing with supervision or assistance. Children use wheeled mobility when travelling long distances and may self-propel for shorter distances.</p>
	<p><b>GMFCS level IV</b> Children use methods of mobility that require physical assistance or powered mobility in most settings. They may walk for short distances at home with physical assistance or use powered mobility or a body support walker when positioned. At school, outdoors and in the community children are transported in a manual wheelchair or use powered mobility.</p>
	<p><b>GMFCS level V</b> Children are transported in a manual wheelchair in all settings. Children are limited in their ability to maintain antigravity head and trunk postures and control leg and arm movements.</p>

Appendix I. Gross Motor Function Classification System, étendu et révisé pour les enfants atteints de paralysie cérébrale, âgés de 6 à 12 ans. Créé par Palisano et al. Image issue de *Graham et al. Cerebral palsy. Nat Rev Dis Primers. 2016* [109].

Année/Pays Auteur [réf]	Type d'étude	N	Type de PC	Outils de mesure des résultats	Durée de suivi	Stat.	Résultats	Technique chirurgicale
1985/Afrique du Sud Irwin-Carruthers [49]	Série de cas prospective Monocentrique	4	Diplégie & quadriplégie	Position assise/debout, amplitudes articulaires (ROM), tonus musculaire, force musculaire, équilibre, mouvements actifs	4-22 semaines	non	Amélioration du tonus musculaire, du contrôle de la tête, des mouvements actifs des bras, de la fonction des bras, du bavage, et de la position des yeux chez un patient.	Comme décrite par Peacock and Arens 1982.
1989/Afrique du Sud Arens [50]	Série de cas prospective Monocentrique	51	Diplégie & quadriplégie	Mouvement global MS	3-7 ans	non	Amélioration de la fonction des MS chez 68 % des enfants qui avaient eu des problèmes avant la RDS. Non seulement cette amélioration s'est maintenue à long terme, mais dans 11 cas, elle s'est poursuivie.	Non précisée.
1990/Mexique Lazareff [54]	Série de cas prospective Monocentrique	30	Non précisé	Spasticité de 0 à ++++ des fléchisseurs d'épaule, coude, poignet et MI	6 mois	non	Une réduction de la spasticité a été observée dans tous les groupes musculaires, et tous les patients présentaient une amélioration fonctionnelle des capacités motrices.	Une laminectomie de L5-S1 a été réalisée. Les racines dorsales de L4, L5, S1 ont été identifiées. Elles ont été stimulées électriquement. Le rapport entre racelles sectionnées et racelles stimulées était de 40% de L4 et de 50% de L5 et S1.
1991/USA Cohen [51]	Série de cas rétrospective Monocentrique	22	Diplégie & quadriplégie	Modifications fonctionnelles et du tonus dans les MS.	Non précisé	non	Amélioration du positionnement assis et des transferts. 18 des 22 enfants qui ont subi une RDS des racelles lombosacrées ont subi une réduction de tonus dans les MS, associée à une amélioration fonctionnelle chez 11 enfants. Les changements fonctionnels notés dans les MS comprenaient l'amélioration de la portée, de l'alimentation et de l'utilisation des ustensiles, de la toilette et de la capacité de boutonner, ainsi qu'un meilleur contrôle de la motricité fine des mains. La parole s'est améliorée chez 2 enfants après RDS.	Grâce à une exposition médiane, une laminectomie lombaire à plusieurs niveaux a été réalisée pour fournir une exposition intradurale de la queue de cheval. Les racines dorsales de L2 à S2 ont été isolées bilatéralement des racines ventrales au niveau du foramen intervertébral, puis subdivisées en 4 à 6 racelles. La surveillance peropératoire se fait à l'aide d'un système de stimulation et d'enregistrement EMG.
1992/Canada Steinbok [52]	Série de cas prospective Monocentrique	50	Diplégie & quadriplégie	Effets Suprasegmentaires	6 à 48 mois	non	Effets suprasegmentaires chez 81%, amélioration des membres supérieurs pour 53%, amélioration de la parole 34%, meilleur contrôle de la respiration. Beaucoup d'enfants étaient assis plus droits, moins penchés et la tête moins fléchie. Autres améliorations : diminution du bavage, position droite, comportement	Les laminotomies L1 à S1 ont été réalisées comme décrit par Cochrane et Steinbok. Chez les 28 premiers patients, les réponses ont été enregistrées à l'aide d'une machine à potentiels évoqués changée par la suite pour une autre machine.

							<i>amélioré, sommeil meilleur, asthme moins sévère.</i>	
1992/Canada Kinghorn* [30]	Série de cas prospective Monocentrique	7	Diplégie & quadriplégie	Empiler des blocs, lâcher des pastilles, manipuler des pièces, manipuler un crayon MAS	1 an	non	<i>Amélioration de l'empilement des blocs mais pas des autres tests de contrôle moteur fin des MS. Les observations subjectives des parents ont suggéré des améliorations dans les compétences de jeu, l'endurance, l'équilibre assis et debout, et les AVQ. Des changements positifs ont été mesurés dans le développement de la parole et du langage, y compris l'augmentation du nombre de mots par minute, l'amélioration de l'intelligibilité, l'intensité accrue de la voix, et la diminution du bavage.</i>	<i>Non précisée.</i>
1993/USA Beck* [33]	Série de cas prospective Monocentrique	14	Marchant & non marchant	Stabilité de la position assise dans le plan frontal et maintien de cette position à l'aide de scores, et empilement de blocs.	1 an	oui	<i>Des améliorations statistiquement significatives ont été observées dans les trois tests, avec des valeurs p de 0,0003, 0,0001 et 0,0044 respectivement.</i>	<i>Non précisée.</i>
1993/Argentine Schijman [48]	Série de cas rétrospective Monocentrique	27	Diplégie & quadriplégie	Évaluation qualitative des fonctions MS	1 à 30 mois	non	<i>Amélioration de la déglutition, réduction de l'irritabilité et amélioration du contrôle des crises d'épilepsie. Amélioration des compétences en position assise et debout. Presque tous les patients ont montré une diminution de la spasticité de leurs MS.</i>	<i>Laminectomie minimale (8-10 mm de large) entre L2 et L5. On sépare les radicelles et on les stimule ensuite, en coupant de 20 % à 100 % des radicelles sur la base des critères bien connus de réponse anormale clinique et EMG.</i>
1993/USA Lewin* [31]	Série de cas prospective Monocentrique	36	Diplégie & quadriplégie	Echelle RIC-FAS. ROM. Echelle modifiée d'Ashworth (MAS). Atteindre une cible, saisir un objet.	1 an	oui	<i>Mobilité des MS et tonus musculaire améliorés pour 4 enfants, alimentation améliorée pour 13, et habillage du haut du corps amélioré pour 19. Mais sans résultats statistiquement significatifs.</i>	<i>Tous les enfants ont bénéficié d'une section des radicelles dorsales L2-S1.</i>
1993/Canada Flower* [32]	Etude de cas	1	Quadriplégie	Contrôle de la parole, de la motricité orale et de la respiration, bavage, manger/boire avec : <i>The Goldman-Fristoe Test of Articulation</i> , et la phonation soutenue a été utilisée pour refléter la capacité respiratoire maximale et la valvule laryngée.	1 an	non	<i>Améliorations dans tous les domaines à un moment donné au cours de la période de référence.</i>	<i>Non précisée.</i>
1994/USA Dudgeon* [34]	Série de cas prospective Monocentrique	29	Diplégie & quadriplégie	Coordonner et atteindre une cible avec les MS. PEDI.	1 an	oui	<i>Les scores des enfants dans les tâches 'atteindre une cible' et de coordination des MS ne s'amélioreraient pas</i>	<i>Toutes les procédures chirurgicales ont été effectuées par un neurochirurgien avec une approche normalisée pour la</i>

			gie				systématiquement. Des améliorations significatives des scores PEDI pour les domaines de mobilité fonctionnelle et d'autosoins ont été observées chez les enfants ayant une diplégie spastique, mais pas de quadriplégie spastique.	sélection des radicelles en utilisant la surveillance clinique et EMG de L1 à S2. En moyenne, 42 % des radicelles de L2 à S1 ont été sectionnées.
1995/USA Buckon* [35]	Série de cas prospective Monocentrique	26	Diplégie	ROM MS, Echelle de Ashworth-Bohannon modifiée, force musculaire, force de préhension (dynamomètre Jamar), schémas de manipulation (sections du <i>Peabody Developmental Motor Scales</i> et du <i>Bruininks-Oseretsky Test of Motor Proficiency</i> )	1 an	oui	Aucune différence significative n'a été observée dans la spasticité MS, ROM MS et la force musculaire. Les schémas de manipulation des MS se sont améliorés de façon significative dans le MS dominant et non dominant. Une amélioration significative a été constatée dans le contrôle visuo-moteur et la dextérité manuelle. Une différence significative a été observée pour la toilette, l'habillage et le déshabillage.	La RDS a été effectué conformément à la méthode proposée par Peacock. Le nombre total de radicelles sectionnées variait de 40 à 60 %, avec une moyenne de 48 % aux niveaux L2-S1.
1995/USA Craft* [36]	Série de cas prospective Monocentrique	16	Diplégie (témoins = appariés selon la gravité de la PC et la quantité de PEC rééducative)	<i>Visual Attention Task</i> = tâche d'attention visuelle. <i>Woodcock Johnson Psychoeducational Battery Measures (WJPBM)</i> (mesure la capacité cognitive et le rendement scolaire des enfants)	6 mois	oui	- <i>Visual Attention Task</i> : Lors des tests de suivi, les enfants qui ont eu une RDS étaient beaucoup plus rapides que les enfants non opérés dans la condition de test où l'indice visuel était invalide. - <i>WJPBM</i> : Les patients ayant subi une RDS ont montré une amélioration sensiblement plus importante que l'un des deux autres groupes dans la tâche d'apprentissage associatif visuo-auditif du deuxième test.	Procédure de Phillips et Park. Des laminectomies limitées ont été effectuées de L2 à S1 suivie par l'ouverture de la dure-mère. Deux crochets neurochirurgicaux ont été utilisés pour surveiller les réponses dans cinq muscles des MI. La réponse réflexe a ensuite été notée sur une échelle de cinq points : les réponses notées 0, 1 et 2 ont été épargnées, les réponses 3 et 4 ont été sectionnées. À l'aide de ces critères, environ 60 à 75 % des radicelles examinées ont été sectionnées.
1995/Canada Steinbok [53]	Série de cas prospective Monocentrique	76 (1 décès)	Diplégie & quadriplégie	Changements suprasegmentaires : MAS, ROM, fonction des MS	1-5 ans	non	Des changements suprasegmentaires ont été notés par les soignants chez 22 des 24 patients vivants (92 %) à la phase 1, 16 des 19 patients (84 %) à la phase 2, et 23 des 33 (70 %) à la phase 3. Amélioration des membres supérieurs, caractérisée par moins de spasticité, plus de fonction et/ou plus d'amplitude de mouvement étaient les constatations les plus courantes et se sont produites chez 75 % des patients ayant une atteinte MS à la phase 1, et	Les laminectomies L1 à S1 ont été réalisées selon le procédé de Cochrane et Steinbok. Les critères de détermination des radicelles nerveuses à couper ont évolué pendant la période de l'étude en trois phases distinctes. Phase 1 : Chez les 25 premiers patients, les radicelles nerveuses étaient considérées comme impliquées dans le processus spastique si elles répondaient à un ou plusieurs des 3



							chez 74 % aux phases 2 et 3. Les autres changements suprasegmentaires relativement courants comprenaient une amélioration de la parole, un meilleur contrôle de la respiration, et station assise plus droite avec la tête moins fléchie.	critères précis. Phase 2 : Chez les 19 patients suivants, les critères EMG restent inchangés, mais les chirurgiens économisent davantage de racines nerveuses L3 et L4 (pour diminuer le degré de faiblesse musculaire du quadriceps). Phase 3 : Chez les 33 derniers patients, un seul critère EMG a été utilisé : l'étendue de la réponse se propage aux muscles controlatéraux des MI et aux muscles des MS, du cou et du visage. Les efforts délibérés pour épargner davantage de racines nerveuses L3 et L4 sont poursuivis.
1995/USA Albright* [37]	Série de cas prospective Monocentrique	76	Diplégie & quadriplégie	MAS biceps et triceps ROM flexion épaule, extension coude, supination	1 an	oui	Le tonus MS des enfants traités par pompe a diminué de 2,07 avant à 1,66 1 an après pose ( $p < 0,01$ ). Le tonus MS des enfants traités par SDR a diminué de 2,03 avant à 1,70 un an après ( $p = 0,005$ ) et la probabilité d'une réduction cliniquement significative du tonus musculaire (1 point ou plus) était plus grande chez les enfants ayant un tonus musculaire MS plus élevée. RDS et pompe réduisent la spasticité MS dans la même mesure. Il n'y a eu aucun changement significatif des amplitudes articulaires MS, que ce soit 6 ou 12 mois après pompe ou après RDS. Il n'y avait aucune corrélation entre le pourcentage de racines lombaires postérieures divisées lors de la RDS et la réduction subséquente du tonus MS. Les familles ont rapporté des effets positifs sur la fonction manuelle, les AVQ, la parole.	RDS : technique de Peacock. Implantation de la pompe à baclofène : non précisée.
1996/Taiwan Yang* [38]	Série de cas prospective RESUME	17	Non précisé	Équilibre en position assise à l'aide d'une mesure quantitative de la stabilité en position assise représentée par un indice de dispersion fourni par le Chattecx Balance System (stabilité en position assise dans des conditions statiques et dynamiques, yeux ouverts et yeux fermés)	3 mois	oui	Leur équilibre assis a montré une amélioration significative lors de l'évaluation postopératoire, à l'exception de la condition d'essai 'statique yeux fermés'.	Non précisée.

1998/Canada Loewen* [39]	Série de cas prospective Monocentrique	36	Diplégie & quadriplé gie	QUEST. WeeFIM.	1 an	oui	<i>Un an après la RDS, les scores QUEST totaux étaient nettement meilleurs (amélioration médiane = 3,2 %, p &lt; 0,0001), tout comme le sous-score moteur de la WeeFIM (amélioration médiane = 9,5, p &lt; 0,0001), sous-score cognitif (amélioration médiane = 1,0, p &lt; 0,008) et score total (amélioration médiane = 11,0, p &lt; 0,0001). Les résultats indiquent des améliorations quantifiables de la fonction des MS et des compétences motrices et cognitives en matière d'autosoins chez les enfants 1 an après RDS.</i>	<i>La RDS impliquait des radicotomies postérieures partielles de L2 à S2, via des laminotomies de L1 à S1. La sélection des racelles nerveuses à couper était principalement basée sur l'évaluation clinique de l'étendue et de la sévérité de la spasticité, avec une décision prise au préalable sur la quantité approximative de la racine postérieure à couper à chaque niveau. En général, le plan consistait à ne pas couper plus de 50 % de S2 en raison de préoccupations au sujet d'un éventuel dysfonctionnement de la vessie, 40 à 50 % de L4 afin d'éviter une hypotonie excessive du quadriceps, et 50 à 70 % de L2, L3, L5 et S1.</i>
1998/Canada Wright [55]	Essai contrôlé randomisé Monocentrique	24	Diplégie : Des patients diplégiqu es légers à modérés ont été affectés au hasard à un groupe témoin rééduc seule (CG : N=12) ou à un groupe RDS + rééduc (RG : N=12).	GMFM. MAS, ROM, biomécanique du réflexe d'étirement de la cheville, contraction isométrique et composantes temporelles de la démarche.	1 an	oui	<i>Les résultats de GMFM dans le groupe RG se sont améliorés de 12,1 points de pourcentage par rapport à 4,4 points de pourcentage dans le groupe GC (P&lt;0,02). Aucune différence n'a été notée entre les 2 groupes pour le tonus du coude (MAS).</i>	<i>Après une laminectomie partielle de L2 à L5, les racines postérieures de L2 à S2 ont été légèrement isolées. En moyenne, environ 50 % de chaque racine dorsale a été divisée. Toutes les interventions ont été effectuées par le même neurochirurgien.</i>
2002/Canada Mittal* [40]	Série de cas prospective Monocentrique	70	Diplégie & quadriplé gie	<i>Peabody Developmental Motor Scales (PDMS).</i>	5 ans (25) 3 ans (45)	oui	<i>L'analyse statistique a révélé des améliorations importantes de la saisie, de l'utilisation des mains, de la coordination oculo-manuelle et de la</i>	<i>Les racines lombaires dorsales ont été exposées par un rabat de laminotomie L1-S2 étroit. Une fois le protocole de surveillance EMG terminé, les racines</i>

					1 an (70)		<i>dextérité manuelle un an après la RDS. Toutes les améliorations ont été maintenues à 3 et 5 ans après RDS.</i>	<i>ont été divisées en radicelles. Le neurophysiologiste et le kinésithérapeute ont évalué les réponses motrices à la stimulation électrique des racines sensorielles et des radicelles. En fonction de leurs réponses à la stimulation évoquée, les radicelles ont été sectionnées en utilisant des critères de section prédéfinis.</i>
2003/Israël Salame [47]	Série de cas rétrospective Monocentrique	154	PC (N=60 sans précision), SEP, BM, TC, SLA, Ataxie spinocérébelleuse. Adultes & enfants.	MAS MI, mouvement, position assise/debout, marche, spasticité et performance des MS, fonctionnement vésical, parole, cognition, et présence ou absence de spasmes douloureux dans les MI	>1 an	non	<i>Tous patients confondus : une réduction de la spasticité dans les MI a été obtenue dans tous les cas, avec une amélioration des mouvements dans 86% des cas. Les spasmes douloureux ont été atténués dans 80% des cas. L'amélioration de la vessie neurologique a été observée dans 42%. Une minorité de patients a également montré une amélioration de la parole et des performances cognitives. La spasticité des membres supérieurs, qui était présente chez 93 patients avant l'intervention chirurgicale, a diminué chez 60 patients (65 %), ce qui a entraîné une amélioration des fonctions comme l'alimentation et l'écriture chez 52 patients (48 %). La réduction de la spasticité a persisté au même degré pour les 60 patients atteints de PC. La diminution de la spasticité après RDS a été observée notamment chez les patients atteints de PC.</i>	<i>Après laminectomie de L1, seule ou avec L2 (niveau du cône médullaire), la dure-mère est ouverte et une résection partielle microscopique d'une moitié à deux tiers des radicelles des racines postérieures (radicellectomies) de L1 à S1 est effectuée avec la préservation des artères radiculaires. Une résection partielle unilatérale de S2 peut également être réalisée en cas de vessie spastique. La résection sélective des "radicelles spastiques" dépend du testing musculaire préopératoire (bien que 36 patients aient subi une stimulation EMG pré- et peropératoire).</i>
2008/Hong Kong Chan* [41]	Série de cas prospective Monocentrique	20	Diplégie & quadriplégie	MAS, ROM, GMFM, PEDI, la <i>Canadian Occupational Performance Measure</i> , et l'analyse de la marche en 3D.	1 an	oui	<i>Il n'y a eu aucun changement statistiquement significatif dans le score d'Ashworth des MS (<math>P = 0,225</math>) ni des amplitudes articulaires (<math>P &gt; 0,1</math>). L'ensemble du groupe a montré une amélioration significative du score GMFG (<math>P = 0,001</math>).</i>	<i>Le ligament jaune entre les niveaux L5-S1 a été ouvert. Des laminotomies étagées L2-S1 ont été réalisées. Après l'ouverture de la dure-mère sur la ligne médiane, la queue de cheval a été entièrement exposée en L2-S1. La section sélective des radicelles a été guidée par l'évaluation neuromotrice préopératoire et les résultats de l'électromyogramme peropératoire après stimulation électrique de</i>

								chaque radicelle, selon 3 critères électrophysiologiques précis.
2008/République tchèque Hořínek* [42]	Série de cas prospective Monocentrique	4	Diplégie & quadriplégie	Changements dans le contrôle des mouvements oculaires : nystagmus, mouvements oculaires en poursuite lente (SPEM) et saccades par vidéo-oculographie. MAS.	Non précisé	non	<i>L'analyse des SPEM a montré l'amélioration du coefficient de corrélation de la réponse de l'œil au stimulus après RDS chez deux sujets. L'amélioration des performances des SPEM était largement due à la suppression du nystagmus de fixation spontanée. Chez deux des quatre sujets, nous avons observé une diminution de la spasticité dans les membres supérieurs mesurée par la MAS.</i>	<i>Une laminectomie à plusieurs niveaux a été réalisée pour exposer les racines dorsales pour la stimulation électrique. Les racines dorsales ont été identifiées, puis divisées en radiculles. Selon des critères prédéfinis, les radiculles ont été stimulées, et celles ayant la réponse motrice la plus anormale ont été sectionnées. Après RDS, une laminoplastie a été effectuée chez tous les patients.</i>
2013/USA Gigante* [43]	Série de cas rétrospective Monocentrique	42	Diplégie & quadriplégie	MAS	2 à 40 mois	oui	<i>Dans les MS, 23 (92 %) des 25 patients présentaient une amélioration d'au moins 1 point d'Ashworth dans 2 groupes moteurs indépendants ou plus sur la MAS. Les scores MAS moyens pour tous les groupes musculaires des MS ont montré une amélioration de 1,34 points avant RDS à 1,22 points après (p &lt; 0,001). Les groupes musculaires proximaux et pronateurs étaient les plus susceptibles de présenter un tonus réduit. Les patients dont le score moyen de MAS pour les membres supérieurs est entre 1,25 à 1,75 peuvent rencontrer la plus grande réduction du tonus MS.</i>	<i>Toutes les RDS ont été effectuées par un neurochirurgien pédiatrique unique et consistaient en une laminectomie à un seul niveau (L1) à la jonction cône médullaire-queue de cheval (technique de Park) avec section des radiculles nerveuses L1-S1 guidée par une surveillance EMG et clinique. L'objectif était une section d'environ 60% des radiculles.</i>
2017/Angleterre D'Aquino* [44]	Série de cas rétrospective Monocentrique	54	Quadriplégie	MAS MS et MI	14 mois	oui	<i>Réduction significative des scores de spasticité des membres supérieurs après RDS (moyenne de 2,9). Dans l'ensemble, l'amélioration du tonus des MS et MI à la suite de la RDS (+++ si scores d'Ashworth à 0 en post-op) étaient cliniquement et statistiquement significatifs chez les patients GMFCS IV et V.</i>	<i>Une laminectomie à un seul niveau a été réalisée au niveau du cône, et la dure-mère est ouverte. Dans la plupart des cas, l'EMG peropératoire a été utilisé comme complément à la localisation anatomique, bien que cela ne soit pas obligatoire pour le protocole chirurgical (par expérience). Les radiculles ayant les réponses les plus intenses et les plus diffuses ont été coupées de façon sélective, soit environ 60 à 70 % de chaque racine sensorielle de L2 à S1. Dans les cas où la procédure a été effectuée sans EMG, une proportion équivalente de</i>

radice serait coupée en utilisant une approche entièrement anatomique de la localisation des racines sensorielles.

La RDS a été réalisée avec une laminectomie ou laminoplastie de niveau unique avec une section partielle des racines nerveuses dorsales guidée par la neurophysiologie, de L1 à S1. Les radicelles responsables des réponses neurophysiologiques les plus importantes ont été sectionnées.

2019/Angleterre Summers [56]	Série de cas prospective Multicentrique (5)	137	Diplégie	GMFM-66. <i>Cerebral Palsy Quality of Life Questionnaire for Children</i> .  MAS. Contrôle moteur sélectif MI ( <i>Boyd and Graham Scale</i> ). Analyse de la marche. Evaluations kiné.	2 ans	oui	La RDS a amélioré la fonction et la qualité de vie des enfants GMFCS II et III dans les 24 mois suivant l'intervention chirurgicale.	La RDS a été réalisée avec une laminectomie ou laminoplastie de niveau unique avec une section partielle des racines nerveuses dorsales guidée par la neurophysiologie, de L1 à S1. Les radicelles responsables des réponses neurophysiologiques les plus importantes ont été sectionnées.
2021/Italie Tacchino* [45]	Série de cas rétrospective Monocentrique	37	Diplégie & quadriplégie	Contrôle du tronc et du cou avec <i>Level sitting scale (LSS)</i>	7–20 mois	oui	Nous observons une augmentation significative des valeurs LSS de t0 à t1, de t0 à t2, de t0 à t3 et de t0 au dernier suivi (Test t de Student).	Une approche mini-invasive de RDS a été choisie, avec guidage clinique et EMG de la section partielle des racines nerveuses sensorielles.
2021/Canada Mortenson* [46]	Série de cas prospective Monocentrique	32	Diplégie & quadriplégie	Performance des MS avec la QUEST	9+ ans	oui	Améliorations significatives du QUEST pour le mouvement dissocié, saisir et les scores totaux. Les comparaisons par paires étaient significatives entre préop et postop précoce (<2 ans) pour tous les scores QUEST, maintenu à l'évaluation postop tardive (9 ans et plus) pour la préhension et les scores totaux.	Toutes les RDS ont été effectuées par un seul groupe de neurochirurgiens pédiatriques et consistaient en laminoplasties L1–S1 (1987–2005) ou en laminectomie de niveau unique (L1) à la jonction cône médullaire-queue de cheval (à partir de 2005), avec section des radicelles nerveuses L1-S1 guidée par les résultats clinique et l'EMG. L'objectif était d'environ la moitié ou les deux tiers de section des radicelles.

**Appendix II. Tableau récapitulatif de la revue de littérature sur les études évaluant les effets suprasegmentaires, suivant la trame établie par Steinbok P. Outcomes after selective dorsal rhizotomy for spastic cerebral palsy. *Childs Nerv Syst.* 2001 [29].** \*effet suprasegmentaire=critère de jugement principal. Stat=Statistiques. MI Membres Inférieurs. MS Membres Supérieurs. AVQ Activités de Vie Quotidienne. MAS Modified Ashworth Scale = Echelle d'Ashworth modifiée. ROM Range of Motion = Amplitudes articulaires. GMFM Gross Motor Function Measure = EMFG. PEDI Pediatric Evaluation of Disability Inventory. WeeFIM Functional Independence Measure for Children = MIF Mômes. QUEST Quality of Upper Extremity Skills Test. SEP Sclérose en plaque. BM Blessés Médullaires. TC Traumatisés crâniens traumatiques. SLA Sclérose Latérale Amyotrophique.

Subject	Age at surgery	Gender	Type of CP	GMFCS MACS	CFCS	Dominant hand	Surgery		
1	7	M	Quadriplegic	V V	V	/	L5	R ½	L ½
							S1	3/4	3/4
2	12	M	Diplegic	II I	I	R	L2	R ½	L ½
							L3	2/3	2/3
							L4	½	½
							S1	2/3	2/3
3	15	M	Diplegic	II I	I	L	L2	R 1/3	L 1/3
							L3	2/3	2/3
							L4	½	1/3
							S1	2/3	2/3
4	6	M	Quadriplegic	V IV	IV	/	L2	R ½	L 2/3
							L3	½	1/3
							L4	1/3	½
							L5	1/3	½
							S1	¾	¾
							S2	½	0
5	9	F	Diplegic	III II	II	R	L2	R ½	L 1/3
							L3	¾	2/3
							L4	½	½
							S1	1/3	1/3
							S2	1/3	1/3
6	5	M	Diplegic	III III	III	R	L2	R 1/3	L ½
							L3	2/3	2/3
							L4	1/3	½
							L5	1/3	½
							S1	½	2/3
							S2	1/3	2/3
7	9	F	Diplegic	I I	II	R	L4	R 0	L ½
							L5	0	½
							S1	0	3/4
8	5	F	Quadriplegic	V III	III	L	L2	R ½	L ½
							L3	2/3	2/3
							L4	½	½
							L5	1/3	1/3
							S1	¾	¾
S2	1/3	1/3							
9	9	M	Hemiplegic	II III	I	L	L2	R ½	L 0
							L3	½	0
							L4	½	0
							L5	½	0
							S1	3/4	0
10	10	F	Quadriplegic	IV III	II	L	L2	R 2/3	L 2/3
							L3	2/3	2/3
							L4	½	½
							L5	½	0
							S1	¾	2/3
							S2	1/3	¼
11	7	F	Quadriplegic	IV IV	III	L	L2	R ½	L ½
							L3	2/3	2/3
							L4	½	½

L5	½	½
S1	¾	¾
S2	1/3	¼

**Appendix III. Description of children.** M Male. F Female. R Right. L Left.

MACS Manual Ability Classification System from *Eliasson et al. The Manual Ability Classification System (MACS) for children with cerebral palsy: scale development and evidence of validity and reliability. Dev. Med Child Neur. 2006 [59]*. The MACS is a tool used to classify the ability of children from 4 – 18 years old with cerebral palsy for handling objects in everyday activities, categorised into 5 levels. MACS I = Objects are handled easily and successfully. MACS II = Handles most objects but with some reduced quality and/or speed. MACS III = Handles objects with difficulty, the child will need help to prepare and/or modify activities. MACS IV = Handles a limited selection of easily managed objects and always requires some help from others. MACS V = The child is not able to handle objects or to complete even simple actions with their hands.

CFCS Communication Function Classification System from *Hidecker et al. Developing and validating the Communication Function Classification System (CFCS) for individuals with cerebral palsy, Developmental Medicine and Child Neurology. 2011 [60]*. The CFCS is a tool used to classify the everyday communication of an individual with cerebral palsy into one of five levels according to effectiveness of everyday communication. CFCS I = A person independently and effectively alternates between being a sender and receiver of information with most people in most environments. CFCS II = A person independently alternates between being a sender and receiver with most people in most environments but the conversation may be slower. CFCS III = A person usually communicates effectively with familiar communication partners, but not unfamiliar partners, in most environments. CFCS IV = The person is not always consistent at communicating with familiar communication partners. CFCS V = A person is seldom able to communicate effectively even with familiar people.

#### Cotation du contrôle moteur sélectif (CMS).

- 0 : Pas de CMS, contraction minimale.
- 0,5 : Contraction et mouvements minimes et/ou beaucoup de co-contractions.
- 1 : Mauvais contrôle sélectif, commande dissociée, mouvement limité, co-contractions possibles.
- 1,5 : CMS correct mais défaut de fluidité ou limitations dans le mouvement (co-contractions)
- 2 : CMS parfait, contraction et muscles appropriés.

Appendix IV. Selective motor control scale, from 0 to 2.

#### La cotation de Levame (échelle de 0 à 4)

- 0 : Force nulle
- 1 : Force minimale soit contraction musculaire visible ou palpable
- 2 : Force médiocre soit mouvement possible sans résistance
- 3 : Force passable soit mouvement possible avec faible résistance
- 4 : Force normale comparative au côté sain

Appendix V. Levame scale, for finger muscle strength. Doesn't take into account gravity or joint amplitude.



Test de Melbourne		
1. Atteindre vers l'avant	1.1	Amplitude du mouvement
	1.2	Précision du mouvement
	1.3	Fluidité du mouvement
2. Atteindre vers l'avant et vers le haut	2.1	Amplitude du mouvement
	2.2	Précision du mouvement
	2.3	Fluidité du mouvement
3. Atteindre sur le côté et vers le haut	3.1	Amplitude du mouvement
	3.2	Précision du mouvement
	3.3	Fluidité du mouvement
4. Prendre le crayon		
5. Tenir le crayon pour dessiner		
6. Lâcher le crayon	6.1	Amplitude du mouvement
	6.2	Qualité du mouvement
	6.6	Précision du mouvement
7. Prendre un bonbon		
8 Lâcher le bonbon	8.1	Amplitude du mouvement
	8.2	Qualité du mouvement
	8.3	Précision du mouvement
9. Manipuler le cube	9.1	Dextérité digitale
	9.2	Fluidité du mouvement
10. Pointer du doigt	10.1	Carré rouge
	10.2	Carré vert
	10.3	Carré jaune
	10.4	Carré bleu
11. Passer la main sur la tête du front à la nuque	11.1	Amplitude du mouvement
	11.2	Fluidité du mouvement
12. Atteindre la fesse avec la paume de la main	12.1	Amplitude du mouvement
	12.2	Fluidité du mouvement
13. Prono-supination		
14. Passer la baguette d'une main à l'autre		
15. Atteindre l'épaule opposée	15.1	Amplitude du mouvement
	15.2	Précision du mouvement
	15.3	Fluidité du mouvement
16. Porter la main à la bouche et la redescendre	16.1	Amplitude du mouvement
	16.2	Précision du mouvement
	16.3	Fluidité du mouvement
	16.4	Vitesse du mouvement

#### Appendix VI. Items of the Modified Melbourne Assessment MMA (French version)

[70]. The MMA is a standardized assessment of quality of unilateral upper limb movement for children aged 2.5 to 15 years with neurological impairments. The assessment scores 4 elements of movement quality (range, accuracy, fluency and dexterity) as a child performs everyday tasks. The tasks require the child to reach, grasp, release and manipulate simple items such as a crayon, pellet and cube. Movement elements are scored on a 0 to 2, 3 or 4 points scale according to specific criteria. The total score can range from 0 to 122 points and can be converted to a percentage.








**ABILHAND-Kids - Manual Ability Measure**  
**French version**

Patient \_\_\_\_\_

Date \_\_\_\_\_

Quelle est la <b>DIFFICULTE</b> des activités suivantes?	Impossible	Difficile	Facile	?
1. Ouvrir un pot de confiture				
2. Mettre un sac à dos				
3. Ouvrir le capuchon du tube de dentifrice				
4. Ouvrir une tablette de chocolat				
5. Se laver le haut du corps				
6. Retourner la manche d'un pull				
7. Tailler un crayon				
8. Enlever un T-shirt				
9. Etaler du dentifrice sur une brosse à dents				
10. Ouvrir une boîte à tartines				
11. Dévisser le bouchon d'une bouteille				
12. Fermer la tirette d'un pantalon				
13. Boutonner une chemise ou un pull				
14. Remplir un verre d'eau				
15. Allumer une lampe de chevet				
16. Mettre un bonnet				
17. Fermer la pression d'une veste				
18. Boutonner un pantalon				
19. Ouvrir un paquet de chips				
20. Fermer la tirette d'une veste				
21. Prendre de la monnaie dans la poche				

**Appendix VII. Items of the ABILHAND-Kids questionnaire (French version).** ABILHAND-Kids is a measure of bimanual ability for children with upper limb impairments as a test focused on the child's difficulty perceived by the child's parents. It measures a child's ability to manage daily activities that require the use of the upper limbs, whatever the strategies involved : 21 manual activities perceived by parents, each item is answered on a 3-level scale (impossible, difficult, easy). The activities that the child does not perform because they are too difficult must be scored as "Impossible". The activities are presented in a random order to avoid any systematic effect : 10 different random orders of presentation are used, the evaluator selects the next one of the 10 orders for each new assessment, no matter which patient is tested. [71-73]

Client Name:	Level of Manual Support	Functional Level	Static	Active	Reactive	Comments
Ref# :	Pelvic / thigh strap used except as indicated	Arms and hands in air except as indicated	Maintain vertical neutral position of head and trunk above manual support level			
Tester Name:			Minimum of 5 seconds	While turning head with arms lifted	Maintain / quickly regain following brisk nudge	
Date:						
	Shoulder girdle testers hand position may vary from horizontal	<b>Head control</b> Arms may be supported throughout			<b>NOT tested for head control</b>	
	Axillae	<b>Upper Thoracic Control</b>				
	Inferior scapula	<b>Mid Thoracic Control</b>				
	Over lower ribs	<b>Lower Thoracic Control</b>				
	Below ribs	<b>Upper Lumbar Control</b>				
	Pelvis	<b>Lower Lumbar Control</b>				
	No support given and pelvic/thigh straps removed	<b>Full Trunk Control</b>				
Fixed spinal deformity?	Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Comments:				
Limitation of cervical rotation	Left <input type="checkbox"/> Right <input type="checkbox"/>	Comments:				

#### Appendix VIII. Segmental Assessment of Trunk Control (SATCo) [74-76].

Child positioning : The child is placed in sitting on a bench, knees at 90 and feet supported. The pelvic is hold in neutral with straps.

Scoring the SATCo : Control is graded as present or absent: there is no 'in-between'. It is assessed under three conditions at each segment: *Static control* = maintain a neutral vertical head/trunk posture for 5 seconds. *Active (anticipatory) control* = hold neutral vertical posture while turning head to 45° and/or reaching to both left and to right. *Reactive control* = maintain or quickly return to neutral vertical posture when perturbed. A brisk nudge, sufficient to displace the child, is given at the top of the sternum, C7/T1 and laterally, both left and right (acromion). These locations are consistent whichever segment is under test. *Note : reactive control is not tested at the head segment.*

We used a French translation validated locally.

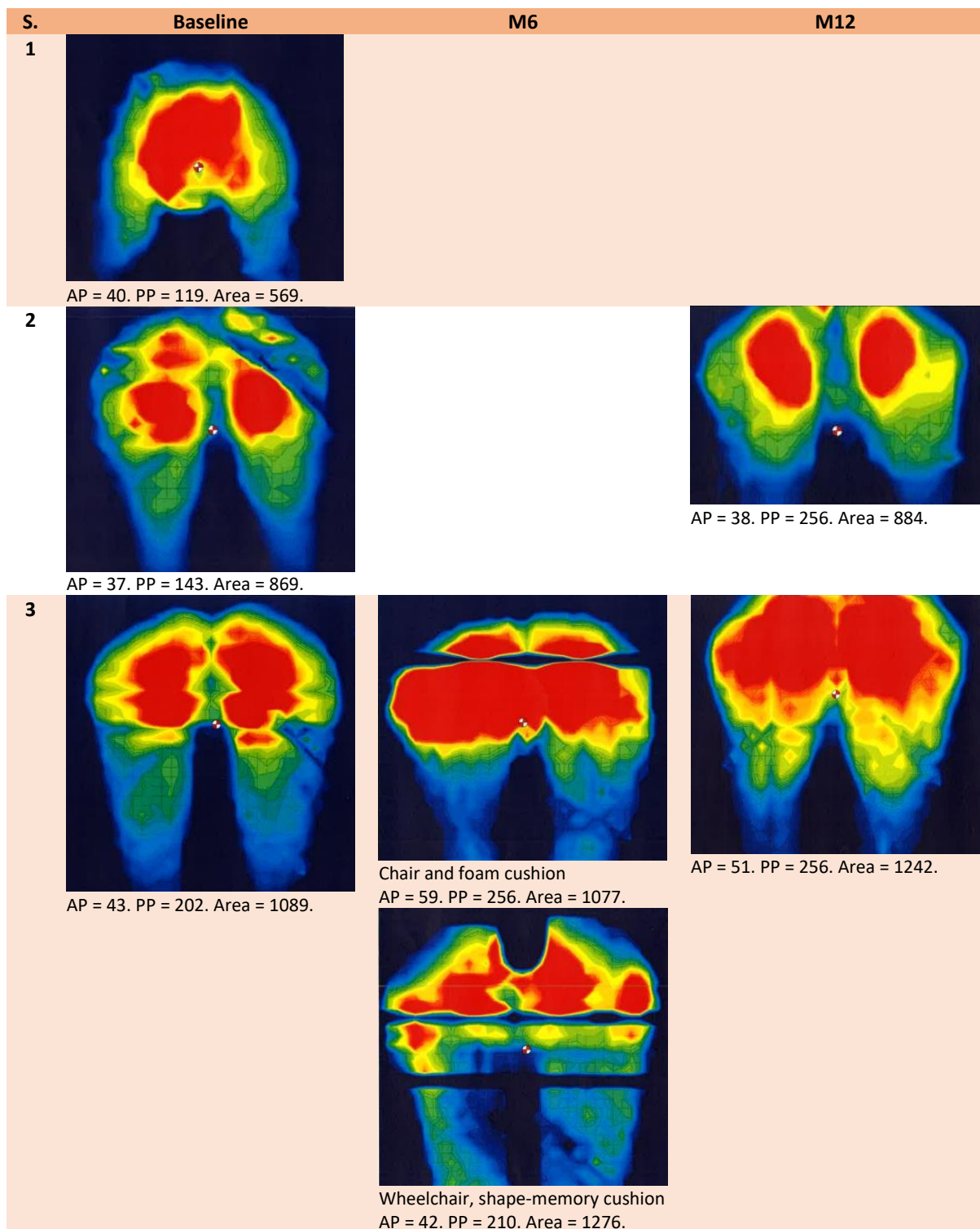
	1	2	3	4
How often does the child drool	Never	Occasionally	Frequently	Constantly
How many shirts/dresses are changed per day	0-1	2-3	4-5	>5
How many towels around the neck are changed	0-1	2-4	5-7	>8
How often does the child suffer from circumoral ulcers	Never	Occasionally	Frequently	Constantly
Where does the drool fall	Only lips	Lips and chin	Clothes and hands	Floor and surrounding objects
Is the smell of the saliva offensive	Never	Occasionally (evident only on prolonged contact with the child)	Frequently	Always (evident when the child enters the room)
How often does the child need mouth wiping	Never	Occasionally (once in 2-3 hours)	Frequently (every half an hour)	Constantly (every 5 minutes)
Does the child drool more while eating	Never	Occasionally	Frequently	Always
Does the child drool more while sleeping	Never	Occasionally	Frequently	Always
Does drooling prevent your child from playing with other children	Never	Occasionally	Frequently (is friends only with familiar family members)	Constantly (most children avoid him/her)
Do adults avoid your child due to drooling	Never	Deals mainly with familiar family members and occasionally with unfamiliar	Only familiar family members interact with the child	Constantly

Appendix IX. The drooling questionnaire (English version). Extracted from *Job et al. Validation of a drooling questionnaire in Indian children with cerebral palsy. Int J Pediatr Otorhinolaryngol. 2018 [85].* We used a French translation validated locally.

Outcome	Measure	International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF)					
		Body structure & function			Activities & participation		
		improvement	deterioration	unchanged	improvement	deterioration	unchanged
UE spasticity	MAS	6/10*	3/10*	1/10*	-	-	-
UE PROM	Goniometer (°)	1/10*	2/10*	7/10*	-	-	-
UE SMC	Scale from 0 to 2	3/8*	0/8*	5/8*	-	-	-
UE MS	MRC Scale	1/8*	2/8*	5/8*	-	-	-
	Levame Scale	3/8*	2/8*	3/8*	-	-	-
Grip strength	Baseline dynamometer (kg)	4/8*	1/8*	3/8*	-	-	-
Pinch Strength	Pinch gauge (kg)	5/7*	2/7*	0/7*	-	-	-
Unilateral gross manual dexterity	BBT	-	-	-	6/8*	2/8*	0/8*
Unimanual dexterity	MMA	-	-	-	6/9*	3/9*	0/9*
Bimanual ability	ABILHAND-Kids	-	-	-	8/10	0/10	2/10
Sitting trunk control	SATCo	4/11**	2/11**	5/11**	-	-	-
Sitting pressure distribution	Pressure mapping	5/9	4/9	0/9	-	-	-
Drooling	Drooling questionnaire	-	-	-	4/4	0/4	0/4
Functional autonomy in ADL	WeeFIM	-	-	-	7/10	1/10	2/10
Gross motor function	GMFM	-	-	-	7/10	2/10	1/10
Walking distance	6-WMT	-	-	-	3/6	3/6	0/6

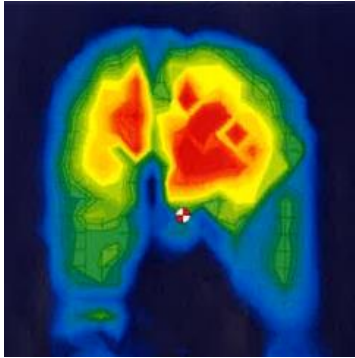
**Appendix X. Summary table of the different results expressed on the number of tested children for each test, according to the ICF.**

UE Upper Extremity. MAS Modified Aschworth Scale. PROM Passive Range of Motion. SMC Selective motor control. MS Muscle strength. ADL Activities of Daily Life. BBT Box and Block Test. SATCo Segmental Assessment of Trunk Control. WeeFIM Functional Independence Measure for children. GMFM Gross motor function measure. 6-WMT 6-Walk Meter Test. \* right and left sides summed. \*\*static, active and reactive controls summed.

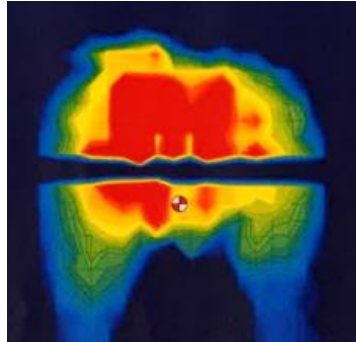




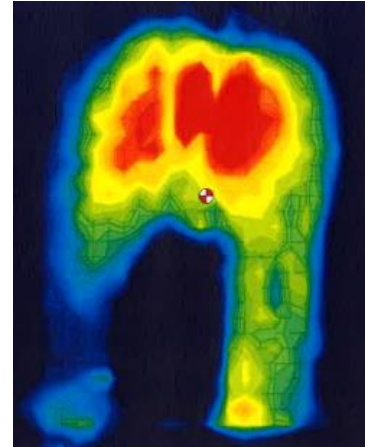
4



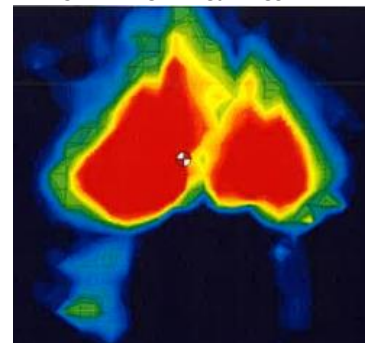
AP = 32. PP = 73. Area = 663.



AP = 42. PP = 141. Area = 526.

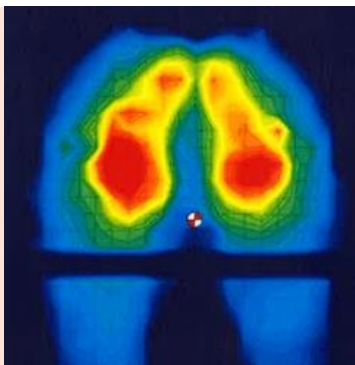


Simulation wheelchair  
AP = 37. PP = 87. Area = 789.

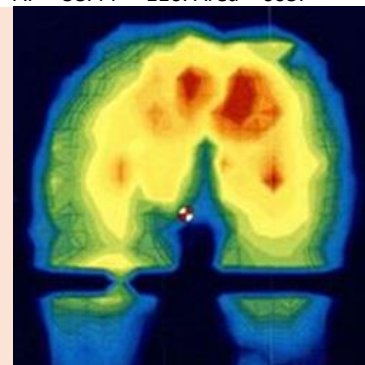


Wheelchair with seat-brace  
AP = 38. PP = 116. Area = 605.

5

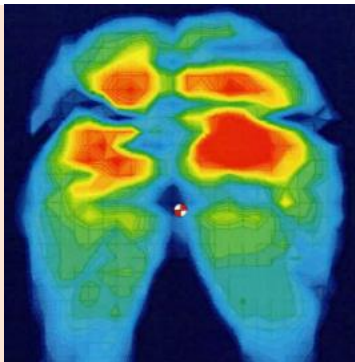


AP = 39. PP = 104. Area = 732.

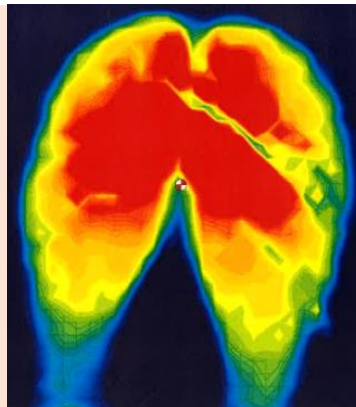


AP = 34. PP = 74. Area = 758.

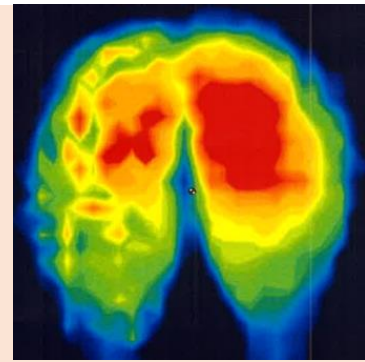
6



AP = 42. PP = 98. Area = 1003.

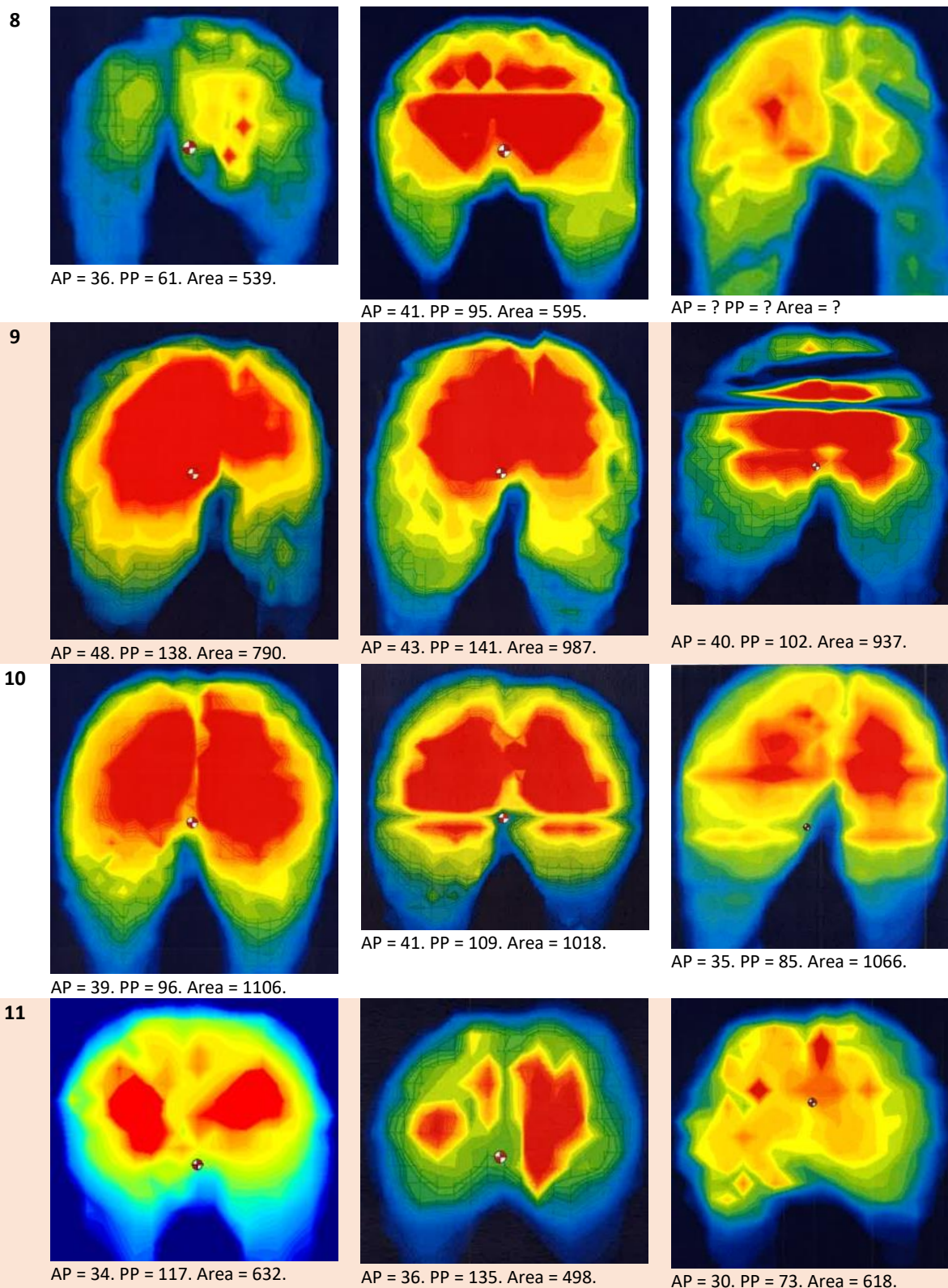


AP = 46. PP = 139. Area = 1226.



AP = 37. PP = 95. Area = 1058.

7



**Appendix XI. Pressure distribution mapping in a seated position.** S Subjects. AP Average pressure (mmHg) : Average interface pressure is the average pressure load between the skin and the support surface of a full body or the specific area calculated by the XSENSOR pressure mapping device. PP Peak pressure (mmHg) : Peak interface pressure is the highest pressure load between the skin and the support surface. Area in cm<sup>2</sup> : Skin contact area is the total contact area between the skin and the support surface. *No image = missing data. Subject 6 has not been tested.*



Subject	Inpatient care	Outpatient care
1	17 days Physiotherapy (passive mobilization, respiratory physiotherapy) Relaxation Occupational therapy	
2	30 days Physiotherapy (walking, passive and active mobilization, muscle strengthening) Adapted physical activities (stress training)	Physiotherapy 5 days per week
3	45 days (ponytail syndrom) Physiotherapy (stretching, passive and active mobilization, muscle strengthening, verticalization, walking) Adapted physical activities (stress training, strengthening, endurance)	Day Hospital from 10/2020 to 02/2022 Then Physiotherapy
4	26 days	Physiotherapy 2 days per week Occupational Therapy : random Speech therapy 1 day per week Psychomotricity 1 day per week Educational follow-up 1 day per week Physiotherapy 5 days per week
5	30 days Physiotherapy (walking, passive and active mobilization, muscle strengthening) Adapted physical activities (stress training) Occupational Therapy (Wheelchair, Cognitive Support and Upper Limbs)	
6	19 days Physiotherapy Occupational Therapy	Day Hospital from 01/2021 to 07/2021 Then Physiotherapy Occupational Therapy Speech therapy
7	16 days Physiotherapy (stretching, passive and active mobilization, muscle strengthening) Adapted physical activities (stress training) Occupational Therapy (Wheelchair, Upper Limbs) Speech therapy	Day Hospital from 02/2021 to today Physiotherapy Occupational Therapy Speech therapy Psychomotricity Adapted physical activities Orthoptics Cognitive neuro-rehabilitation
8	32 days Physiotherapy Occupational Therapy Speech therapy Psychomotricity	Day Hospital from 03/2021 to today Physiotherapy Occupational Therapy Speech therapy Psychomotricity
9	25 days Physiotherapy (stretching, passive and active mobilization, muscle strengthening, walking) Adapted physical activities (stress training) Occupational Therapy (Upper Limbs) Speech therapy	Physiotherapy 3 days per week Occupational Therapy 1 day per week Speech therapy 1 day per week Psychomotricity 1 day per week
10	23 days	Physiotherapy 2 days per week Speech therapy 2 days per week Occupational Therapy 3 days per week Psychomotricity 1 day per week
11	33 days Physiotherapy Occupational Therapy	

**Appendix XII. Intensive Occupational and Physical Therapy after SDR. No data = missing data.**

Notable intercurrent elements after selective dorsal rhizotomy				
Subject	Adjunctive orthopedic procedures	Adjunctive botulinum toxin injections	Orthosis & Devices	Treatment
1	09/2021 Left femoral derotation and varisation osteotomy	L Hamstrings, L rectus femoris, L iliacus, L gracilis. L & R flexor digitorum superficialis, adductor pollicis, gracilis, adductor magnus.	Moulded mattress Standing device Roll Stand Shell Seat Bath seat Orthopaedic shoes ULTRAFLEX cruropedic orthotics with abduction bar Posture wrist orthosis	CLONAZEPAM (increased) BACLOFEN (increased) LEVETIRACETAM MELATONIN PARACETAMOL IBUPROFEN TRAMADOL ESOMEPRAZOL
2	Bilateral hamstrings lengthening and patellar tendon advancement	/	ULTRAFLEX night splints Manual wheelchair SCALAMOBILE modular seat	PARACETAMOL GABAPENTIN
3	/	/	2 crutches** Walking ankle-foot orthoses** Manual wheelchair Handisport equipment**	/
4	/ (awaiting bilateral varisation osteotomy and Achilles tendon lengthening)	/ (but it was discussed)	MOTILO walker Moulded mattress Seat-brace with hip abduction Standing device Wheelchair High-top orthopaedic shoes	LEVETIRACETAM TOPIRAMATE MIDAZOLAM ESOMEPRAZOL MACROGOL
5	/	/	Walking sticks Walking ankle-foot orthoses	TRIHENYPHENIDYL (ARTANE*) DIAZEPAM
6	/	/	Manual wheelchair Posterior walking frame Orthopaedic shoes Lifter ankle foot orthosis ULTRAFLEX splints TONICROSS Tricycle	TOPIRAMATE MIDAZOLAM PARACETAMOL DESLORATADINE
7	/ (awaiting Achilles tendon lengthening)	L gastrocnemius, L tibialis posterior, L tibialis anterior followed by a cast	Orthopaedic shoes Night splints	/
8	/	/	Orthopaedic shoes MOTILO walker Standing device Seat-brace Night splints	/
9	/	/	Orthopaedic shoes** On the right side : Walking ankle-foot orthose Night splint	/
10	/	/	ULTRAFLEX night splints Corset	TRIHENYPHENIDYL (ARTANE*)
11	/	L & R gastrocnemius followed by a cast	Moulded mattress with hip abduction Seat-brace Manual wheelchair Orthopaedic shoes ULTRAFLEX splints	/

### Appendix XIII. Notable intercurrent elements after selective dorsal rhizotomy

\*\*new during the follow-up period

VU

NANCY, le **16 mai 2022**

Le Président de Thèse

**Professeur Jean PAYSANT**

NANCY, le **17 mai 2022**

Le Doyen de la Faculté de Médecine

**Professeur Marc BRAUN**

AUTORISE À SOUTENIR ET À IMPRIMER LA THÈSE/ **12478C**

NANCY, le **20 mai 2022**

LE PRÉSIDENT DE L'UNIVERSITÉ DE LORRAINE,

**Professeur Pierre MUTZENHARDT**

---

## **RÉSUMÉ DE LA THÈSE**

La radicotomie dorsale sélective est un des traitements de choix de la spasticité gênante chez les enfants atteints de paralysie cérébrale spastique. La littérature rapporte que cette chirurgie améliore la fonction au-delà de la zone traitée, que ce soit le tronc, les membres supérieurs ou d'autres fonctions portées par l'extrémité encéphalique ; ce sont les effets suprasegmentaires. Dans cette étude descriptive, nous présentons rétrospectivement une analyse systématique large des résultats de la RDS et rééducation intensive effectuées sur 11 enfants (âge moyen de  $8,5 \pm 3,0$  ans) souffrant de paralysie cérébrale spastique opérés au CHRU Nancy et rééduqués à l'IRR Flavigny. Les enfants ont été évalués avant, et à 6 et 12 mois après la chirurgie. Les principales mesures comprenaient : pour les membres supérieurs, la spasticité selon l'échelle d'Ashworth modifiée, les amplitudes articulaires au goniomètre, le contrôle moteur sélectif, la force musculaire, la force de préhension (grip et pinch), le Box and Block Test, le Melbourne Assessment 2, le questionnaire ABILHAND-Kids ; pour le tronc, le SATCo et la nappe de pression en station assise ; pour le bavage, un questionnaire ; et aussi l'EMFG, le TDM6, la MIF mêmes. Nos résultats ont montré que la RDS associée à la réduction intensive ont entraîné, pour la majorité des patients, à court-terme, tous niveaux GMFCS et MACS confondus : un gain sur la spasticité, la force de préhension (grip et pinch), le Box and Block Test, le Melbourne Assessment 2, le questionnaire ABILHAND-Kids, la nappe de pression en station assise, le bavage de façon systématique, l'EMFG, le TDM6, et la MIF mêmes ; pas de changement des amplitudes articulaires, du contrôle moteur sélectif, de la force musculaire et du SATCo. Certains patients ont expérimenté des dégradations sur certains paramètres mesurés, soit discrètes, soit supposément liées à un événement intercurrent. Cette étude soutient que les effets suprasegmentaires bénéfiques sont fréquents, d'amplitude variable, et nécessitent des évaluations personnalisées des différents systèmes touchés. Le bavage étant pour la première fois mesuré et spectaculairement amélioré dans notre cohorte, il serait intéressant de voir si cet effet est systématique et durable dans le temps.

---

**TITRE EN ANGLAIS : Suprasegmental Effects following Selective Dorsal Rhizotomy and Intensive Rehabilitation in children with spastic Cerebral Palsy : multidimensional outcome measures of a French experience**

---

THÈSE : MÉDECINE SPÉCIALISÉE – ANNÉE 2022

---

MOTS CLEFS : Radicotomie, Suprasegmentaire, Paralysie Cérébrale, Membres Supérieurs, Tronc, Bavage

---

INTITULÉ ET ADRESSE :

**UNIVERSITÉ DE LORRAINE**

**Faculté de Médecine de Nancy**

9, avenue de la Forêt de Haye

54505 VANDOEUVRE LES NANCY Cedex

---