



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA EM SAÚDE**  
**HUMANA E ANIMAL**  
**MESTRADO PROFISSIONAL EM BIOTECNOLOGIA EM SAÚDE**  
**HUMANA E ANIMAL**

**JOSIONE RÊGO FERREIRA**

**VALIDAÇÃO DE PROTOCOLO DE ESTUDO ELETROMIOGRÁFICO**  
**INTRAOPERATÓRIO PARA IDENTIFICAÇÃO DAS RAÍZES ESPINHAIS NA**  
**RIZOTOMIA DORSAL SELETIVA LOMBAR DE PACIENTES COM PARALISIA**  
**CEREBRAL ESPÁSTICA**

**TERESINA- PIAUÍ**

**2020**

JOSIONE RÊGO FERREIRA

VALIDAÇÃO DE PROTOCOLO DE ESTUDO ELETROMIOGRÁFICO  
INTRAOPERATÓRIO PARA IDENTIFICAÇÃO DAS RAÍZES ESPINHAIS NA  
RIZOTOMIA DORSAL SELETIVA LOMBAR DE PACIENTES COM PARALISIA  
CEREBRAL ESPÁSTICA

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional em Biotecnologia em Saúde Humana e Animal do Programa Profissional de Pós-Graduação em Biotecnologia em Saúde Humana e Animal da Universidade Estadual do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Biotecnologia.

Área de concentração: Biotecnologia em Saúde.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Luiz Martins Maia Filho

TERESINA- PIAUÍ

2020

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação**  
**Universidade Estadual do Ceará**  
**Sistema de Bibliotecas**

Ferreira, Josione Rego.

Validação de protocolo de estudo eletromiográfico intraoperatório para identificação das raízes espinhais na rizotomia dorsal seletiva lombar de pacientes com paralisia cerebral espástica [recurso eletrônico] / Josione Rego Ferreira. - 2020.

81 f. : il.

Dissertação (Mestrado profissional) - Universidade Estadual do Ceará, Faculdade de Veterinária, Curso de Programa de Pós-graduação em Biotecnologia em Saúde Humana e Animal Nível Mestrado, Teresina, 2020.

Orientação: Prof. Dr. Antônio Luiz Martins Maia Filho.

1. Paralisia cerebral. 2. Espasticidade. 3.

**JOSIONE RÊGO FERREIRA**

**VALIDAÇÃO DE PROTOCOLO DE ESTUDO ELETROMIOGRÁFICO  
INTRAOPERATÓRIO PARA IDENTIFICAÇÃO DAS RAÍZES ESPINHAIS NA  
RIZOTOMIA DORSAL SELETIVA LOMBAR DE PACIENTES COM PARALISIA  
CEREBRAL ESPÁSTICA**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional em Biotecnologia em Saúde Humana e Animal do Programa Profissional de Pós-Graduação em Biotecnologia em Saúde Humana e Animal da Universidade Estadual do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Biotecnologia.  
Área de concentração: Biotecnologia em Saúde.

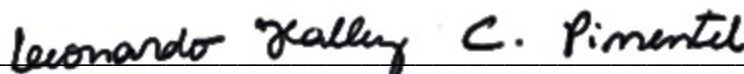
Aprovada em: 29/09/2020

BANCA EXAMINADORA



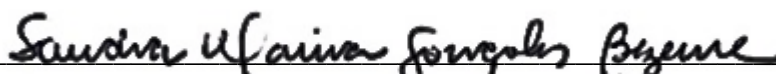
---

Prof. Dr. Antônio Luiz Martins Maia Filho  
Universidade Estadual do Piauí (UESPI)-Orientador



---

Prof. Dr. Leonardo Halley Carvalho Pimentel  
Universidade Estadual do Piauí (UESPI)-Examinador



---

Profa. Dra. Sandra Marina Gonçalves Bezerra  
Universidade Estadual do Piauí (UESPI)-Examinadora

À minha amada, Kizz Raquel.  
Aos nossos filhos: Sofia, Lucas e Mateus;  
que despertam o melhor de mim. Aos  
meus pais: Raimundo Izaías e Nazaré  
Zeneide; pelo seu amor incondicional. E  
aos meus irmãos: Josué, Vânia, Lene,  
Joque e Josi; pilares de uma grande família  
alicerçada pela fé e pelo amor.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Dr. Antônio Luiz Martins Maia Filho pelo incentivo, apoio e ensinamentos.

Aos (a) Professores (a) Doutores (a) membros da banca examinadora: Leonardo Halley Carvalho Pimentel, Sandra Marina Gonçalves Bezerra e Reginaldo da Silva Santos; por suas críticas e sugestões que resultaram em significativa contribuição científica para finalização deste trabalho.

Aos Professores Doutores: Rômulo José Vieira, Fabrício Pires de Moura do Amaral e Ney Rômulo de Oliveira Paula; pela dedicação, amizade e crescimento científico que promoveram em nossa turma de mestrado.

Às Instituições Associação Reabilitar/Centro Integrado de Reabilitação e Hospital Infantil Lucídio Portela, pela cooperação científica que permitiu acesso aos dados de pacientes deste estudo.

Aos membros do “Grupo de Espasticidade”: Francisco Alencar, Leylane Rilzer, Ana Patrícia Petillo, Leonardo Raphael e Clara Alencar. Grupo formado por profissionais dedicados à busca de conhecimento científico, com o objetivo de proporcionar constantes melhorias nos cuidados aos pacientes e seus familiares.

A Francisco Cláudio Lima de Brito por sua indispensável e acessível orientação administrativa durante o mestrado.

Em Especial, a todas os pacientes e suas famílias pela oportunidade de realizar este estudo.

“Há um tempo em que é preciso abandonar as roupas usadas,  
que já têm a forma do nosso corpo, e esquecer os nossos caminhos,  
que nos levam sempre aos mesmos lugares. É o tempo da travessia: e, se não  
ousarmos fazê-la, teremos ficado, para sempre, à margem de nós mesmos”

Fernando Pessoa

## RESUMO

Grande número de publicações científicas defendem o uso da rizotomia dorsal seletiva (RDS) para tratamento da espasticidade de crianças com paralisia cerebral (PC). No entanto, existem opiniões divergentes sobre muitos aspectos deste tratamento, como: seu uso em crianças com PC grave; a adoção de técnica cirúrgica com laminectomia extensa ou com acesso cirúrgico no cone medular; e a utilidade do estudo eletromiográfico intra-operatório para a identificação das raízes espinhais. Neste trabalho, são discutidos os parâmetros neurofisiológicos adotados para a identificação das raízes espinhais expostas na cauda equina de 59 crianças com PC grave, submetidas a RDS lombar com acesso cirúrgico no cone medular, e apresentados os resultados funcionais alcançados com a cirurgia. No período de 5 anos, 97 crianças com diagnóstico de PC foram submetidas a RDS lombar. Destas, foram incluídas para estudo 59 crianças com PC grave, com idade entre 3 e 9 anos, submetidas a RDS lombar com acesso cirúrgico no cone medular, e com auxílio de estudo eletromiográfico intra-operatório. Os pacientes foram acompanhados por equipe multidisciplinar e realizaram reabilitação física intensiva após a cirurgia. Os resultados funcionais foram medidos pelas escalas de Ashworth modificado e GMFM-88 após 10 meses da realização da cirurgia. Observou-se que os parâmetros neurofisiológicos relacionados a intensidade de estímulo da raiz espinhal, seja ventral ou dorsal, são capazes de diferenciar raízes ventrais, ou motoras, de raízes dorsais, ou sensitivas, sem capacidade discriminatória sobre o nível segmentar de cada raiz espinhal; enquanto o tempo de latência da raiz dorsal, ou sensitiva, apresentou valores específicos somente para algumas raízes dorsais de alguns grupos etários. Desse modo, preferiu-se utilizar diversos parâmetros neurofisiológicos em associação, para aumentar a confiança na etapa de identificação de raízes espinhais do estudo eletromiográfico intra-operatório. Na avaliação funcional, observou-se que o relaxamento muscular documentado nos membros inferiores pela escala de Ashworth modificado, resultou em melhora funcional significativa nas dimensões A e B da escala GMFM-88, que estão associadas as funções motoras grossas do tronco, como: deitar, rolar e sentar. A associação de parâmetros neurofisiológicos permitiu a identificação segura das raízes espinhais durante o estudo eletromiográfico intra-operatório. A RDS lombar promoveu relaxamento muscular nos membros inferiores, com melhora significativa de funções motoras grossas em crianças com PC espástica grave. Acredita-se que estudos prospectivos com acompanhamento de longo prazo, realizados em um maior número de pacientes, serão úteis para dimensionar o impacto da RDS lombar em crianças com PC espástica grave.

**Palavras-chave:** Paralisia cerebral. Espasticidade. Rizotomia dorsal seletiva. Monitorização neurofisiológica.



## ABSTRACT

A large number of scientific publications advocate the use of selective dorsal rhizotomy (SDR) to treat spasticity in children with cerebral palsy (CP). However, there are divergent opinions on many aspects of this treatment, such as: its use in children with severe CP; the adoption of a surgical technique with extensive laminectomy or with surgical access to the medullary cone; and the utility of intraoperative electromyographic study to identify the spinal roots. In this work, we discuss the neurophysiological parameters that we adopted to identify the spinal roots exposed in the cauda equina of 59 children with severe CP submitted to lumbar SDR with surgical access to the medullary cone, and we present the functional results achieved with the surgery. In the period of 5 years, 97 children diagnosed with CP were submitted to lumbar SDR. Of these, 59 children with severe CP, aged between 3 and 9 years, submitted to lumbar SDR with surgical access to the medullary cone, and with the aid of intraoperative electromyographic study, were included for study. The patients were followed up by a multidisciplinary team and underwent intensive physical rehabilitation after surgery. Functional results were measured using the modified Ashworth and GMFM-88 scales 10 months after surgery. We observed that the neurophysiological parameters related to the stimulation intensity of the spinal root, whether ventral or dorsal, are able to differentiate ventral, or motor, roots from dorsal or sensitive roots, without discriminatory capacity on the segmental level of each spinal root; while the latency time of the dorsal root, or sensitive, showed specific values only for some dorsal roots of some age groups. Thus, we preferred to use several neurophysiological parameters in association, to increase our confidence in the stage of identification of spinal roots of the intraoperative electromyographic study. In the functional evaluation, we observed that the muscle relaxation documented in the lower limbs by the modified Ashworth scale, resulted in significant functional improvement in dimensions A and B of the GMFM-88 scale, which are associated with the thick motor functions of the trunk, such as: lying down, rolling and to sit. The association of neurophysiological parameters allowed the safe identification of spinal roots during the intraoperative electromyographic study. Lumbar SDR promoted muscle relaxation in the lower limbs, with significant improvement in gross motor functions in children with severe spastic CP. We believe that prospective studies with long-term follow-up, performed in a larger number of patients, will be useful to measure the impact of lumbar SDR in children with severe spastic CP.

**Key-words:** Cerebral palsy, Spasticity, Selective dorsal rhizotomy, Neurophysiological monitoring.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1 -</b>	<b>Classificação anatômica da paralisia cerebral.....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 2 -</b>	<b>Organização hierárquica do sistema motor.....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 3 -</b>	<b>Integração funcional do sistema motor.....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 4 -</b>	<b>O reflexo miotático e sua inervação recíproca.....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 5 -</b>	<b>O fuso muscular e seus componentes.....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 6 -</b>	<b>Escala de Ashworth modificada.....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 7 -</b>	<b>Principais técnicas cirúrgicas para rizotomia dorsal seletiva lombar.....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 8 -</b>	<b>Diferentes padrões neurofisiológicos de resposta motora reflexa.....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 9 -</b>	<b>Fluxograma de seleção da amostra de pacientes do estudo.....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 10 -</b>	<b>Disposição dos membros da equipe no ambiente cirúrgico..</b>	<b>40</b>
<b>Figura 11 -</b>	<b>Demonstração do ato cirúrgico em diferentes etapas.....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 12 -</b>	<b>Montagem de eletrodos para registro eletromiográfico.....</b>	<b>42</b>
<b>Figura 13 -</b>	<b>Registro eletromiográfico durante a secção da raiz dorsal L2.....</b>	<b>44</b>
<b>Gráfico 1 -</b>	<b>Divisão da amostra em grupos etários para comparação dos dados de tempo de latência sensitiva entre as diferentes raízes espinhais de pacientes submetidos a RDS lombar. Teresina-Piauí. 2020. (n = 59).....</b>	<b>49</b>
<b>Gráfico 2 -</b>	<b>Análise de comparação dos dados de tempo de latência sensitiva entre as diferentes raízes espinhais, para cada grupo etário de pacientes submetidos a RDS lombar. Teresina-Piauí. 2020. (n = 59).....</b>	<b>50</b>
<b>Gráfico 3 -</b>	<b>Análise de comparação dos dados da escala GMFM-88 para avaliação da função motora grossa de pacientes submetidos a RDS lombar. Teresina-Piauí. 2020. (n = 59).....</b>	<b>53</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Características da amostra de pacientes do estudo. 2020. (n = 59).....	46
Tabela 2 -	Análise de comparação dos dados de intensidade de estímulo das raízes espinhais ventrais e dorsais de pacientes submetidos a RDS lombar. Teresina-Piauí. 2020. (n = 59).....	48
Tabela 3 -	Características dos grupos etários, com seus respectivos percentuais de secção radicular, de pacientes submetidos a cirurgia de RDS lombar. Teresina-Piauí. 2020. (n = 59).....	49
Tabela 4 -	Análise de comparação dos dados de tempo de latência sensitiva entre as diferentes raízes espinhais, para cada grupo etário de pacientes submetidos a RDS lombar. Teresina-Piauí. 2020. (n = 59).....	50
Tabela 5 -	Análise Post Roc de comparação dos dados de tempo de latência sensitiva entre as diferentes raízes espinhais, para cada grupo etário de pacientes submetidos a RDS lombar. Teresina-Piauí. 2020. (n = 59).....	51
Tabela 6 -	Análise de comparação dos dados de tempo de latência sensitiva para cada raiz espinhal, entre os diferentes grupos etários de pacientes submetidos a RDS lombar. Teresina-Piauí. 2020. (n = 59).....	51
Tabela 7 -	Análise Post Roc de comparação dos dados de tempo de latência sensitiva para cada raiz espinhal, entre os diferentes grupos etários de pacientes submetidos a RDS lombar. Teresina-Piauí. 2020. (n = 59).....	52
Tabela 8 -	Análise de comparação dos dados da escala de Ashworth modificado para avaliação da espasticidade de pacientes submetidos a RDS lombar. Teresina-Piauí. 2020. (n = 59).....	52

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

PC	Paralisia Cerebral
GMFCS	Sistema de Classificação da Função Motora Grossa
GMFM	Medida da Função Motora Grossa
RDS	Rizotomia Dorsal Seletiva
EM	Intensidade de Estímulo da Raiz Motora
ES	Intensidade de Estímulo da Raiz Sensitiva
LS	Latência Sensitiva

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos.....</b>	<b>17</b>
1.1.1	Objetivo geral.....	17
1.1.2	Objetivos específicos.....	17
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1</b>	<b>Paralisia cerebral.....</b>	<b>18</b>
2.1.1	Definição, prevalência e etiologia.....	18
2.1.2	Classificação, tratamento e prognóstico.....	19
<b>2.2</b>	<b>Espasticidade.....</b>	<b>22</b>
2.2.1	Definição.....	22
2.2.2	Organização hierárquica do sistema motor.....	22
2.2.3	Integração funcional do sistema motor.....	24
2.2.4	A medula e o reflexo miotático.....	24
2.2.5	Fisiopatologia da espasticidade - algumas teorias.....	27
2.2.6	Avaliação clínica e opções terapêuticas.....	28
<b>2.3</b>	<b>Rizotomia dorsal seletiva.....</b>	<b>30</b>
2.3.1	Conceito e evolução histórica da técnica cirúrgica.....	30
2.3.2	Eficácia terapêutica.....	33
<b>2.4</b>	<b>Estudo eletromiográfico intra-operatório.....</b>	<b>33</b>
2.4.1	Bases fisiológicas.....	34
2.4.2	Evolução histórica do método neurofisiológico.....	35
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>37</b>
<b>3.1</b>	<b>Procedimentos éticos.....</b>	<b>37</b>
<b>3.2</b>	<b>Local da pesquisa.....</b>	<b>37</b>
<b>3.3</b>	<b>Desenho do estudo.....</b>	<b>37</b>
3.3.1	Caracterização da amostra.....	37
3.3.2	Critérios de inclusão.....	38
3.3.3	Critérios de exclusão.....	38
<b>3.4</b>	<b>Coleta de dados.....</b>	<b>39</b>
3.4.1	Protocolo anestésico.....	39
3.4.2	Protocolo cirúrgico.....	40

3.4.3	Protocolo neurofisiológico.....	41
3.5	<b>Organização e análise de dados.....</b>	<b>45</b>
3.6	<b>Análise estatística.....</b>	<b>45</b>
4	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>46</b>
5	<b>DISCUSSÃO.....</b>	<b>54</b>
6	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>58</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>59</b>
	<b>ANEXO 1 - APROVAÇÃO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA.....</b>	<b>65</b>
	<b>ANEXO 2 – COMPROVANTE DE SUBMISSÃO DE ARTIGO.....</b>	<b>67</b>
	<b>ANEXO 3 – ARTIGO CIENTÍFICO.....</b>	<b>69</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A paralisia cerebral é a resultante final de uma lesão não progressiva sobre o encéfalo em crescimento, podendo desencadear alterações em diversas funções neurológicas. Crianças com paralisia cerebral grave frequentemente apresentam tetraparesia espástica; além de alterações da linguagem, cognição, percepções sensoriais visuais e auditivas, entre outras disfunções neurológicas. Elas são incapazes de executar a marcha, sendo classificadas nos níveis 4 ou 5 da escala de classificação funcional motora denominada *Gross Motor Function Classification System* (GMFCS). (PALISANO *et al.*, 1997; ROSENBAUM *et al.*, 2007).

A espasticidade é uma anormalidade motora habitual para estas crianças, sendo responsável pelo surgimento de encurtamentos músculo-ligamentares, deformidades articulares e alterações estruturais da coluna vertebral (JOZEFczyk, 2002; HÄGGLUND *et al.*, 2018). Por isso, são necessárias intervenções que promovam o relaxamento muscular; com o objetivo de melhorar o posicionamento, facilitar a realização dos cuidados diários, controlar a dor e desacelerar a progressão das deformidades músculo-esqueléticas. Entre as opções terapêuticas estão medicações como baclofeno oral e toxina botulínica, que precisam ser utilizados em doses elevadas e podem causar efeitos adversos significativos (AQUILINA *et al.*, 2015). Os melhores resultados estão associados ao uso de baclofeno intratecal e a realização de rizotomia dorsal seletiva. Ambas as intervenções têm eficácia comprovada na redução da espasticidade e melhora do conforto do paciente. Porém, o uso de baclofeno intratecal tem como desvantagens: alto risco de complicações, custo elevado do tratamento, e necessidade de visitas frequentes ao hospital para a realização de ajustes no equipamento (COLE *et al.*, 2007; DUDLEY *et al.*, 2013). Além disso, publicações recentes defendem a escolha da rizotomia dorsal seletiva no tratamento destes pacientes. Um estudo realizado em crianças com paralisia cerebral grave, relatou superior redução da espasticidade e maior ganho funcional com rizotomia dorsal seletiva lombar quando comparada ao uso de baclofeno intratecal (D'AQUINO *et al.*, 2018).

A rizotomia dorsal seletiva lombar é um procedimento cirúrgico que permite seccionar, parcial e seletivamente, raízes espinhais dorsais lombares e sacrais; com consequente relaxamento muscular pela redução da estimulação sensitiva periférica conduzida à medula espinhal por estas raízes disfuncionais. Para tanto, é necessário

a realização de estudo eletromiográfico intra-operatório das raízes espinhais expostas cirurgicamente, com dois objetivos principais: primeiro identificar o nível segmentar de cada raiz; e em seguida quantificar as alterações de excitabilidade das raízes espinhais dorsais (TURNER, 2009).

Nas últimas décadas, esta cirurgia foi estabelecida como a melhor escolha para tratamento da espasticidade dos membros inferiores, quando o objetivo é a melhora da marcha de crianças deambuladoras com paralisia cerebral leve a moderada, tipicamente classificadas nos níveis 2 ou 3 da escala GMFCS (DUDLEY *et al.*, 2013; PARK *et al.*, 2017). Desse modo, um estudo multicêntrico conduzido no Reino Unido por Peacock e colaboradores (2019), confirmou os resultados de estudos anteriores sobre o benefício deste tratamento para a deambulação de crianças com paralisia cerebral leve a moderada (SUMMERS *et al.*, 2019). Os resultados obtidos, serviram de base para implantação de uma política pública de oferta desta cirurgia pelo Serviço Nacional de Saúde da Inglaterra (*National Health Service in England*) para crianças deambuladoras com paralisia cerebral, classificadas nos níveis 2 ou 3 da escala GMFCS, e com idade entre 3 a 9 anos (NHS ENGLAND, 2018). Na técnica cirúrgica desenvolvida por estes autores, a rizotomia dorsal seletiva lombar é realizada através de laminotomia das vértebras L2 a L5 com laminectomia das vértebras S1 e S2; a identificação das raízes espinhais é realizada por sua visualização direta em seu respectivo forâmen espinhal. Por isso, nesta técnica cirúrgica, o estudo eletromiográfico intra-operatório tem maior importância na etapa de quantificação das alterações de excitabilidade das raízes espinhais dorsais (PEACOCK e STAUDT, 1991). Infelizmente, alguns estudos associaram esta técnica de rizotomia dorsal seletiva lombar ao aumento da incidência de deformidades da coluna vertebral (TURI e KALEN, 2000; STEINBOK, 2007; GOLAN *et al.*, 2007).

Em 1991, Park e Jonhston reintroduziram a técnica de rizotomia dorsal seletiva lombar com acesso cirúrgico no cone medular. Nesta técnica, os autores realizam laminectomia das vértebras L1 ou L2, para ter acesso as raízes espinhais da cauda equina; e utilizam o estudo eletromiográfico intra-operatório para identificação do nível segmentar de cada raiz, através de diferenças existentes nos parâmetros neurofisiológicos destas delicadas raízes (PARK e JONHSTON, 2006). Estes autores, também aperfeiçoaram o processo de quantificação das alterações de excitabilidade das raízes espinhais dorsais, propondo uma escala de classificação da resposta motora reflexa que facilitou a tomada de decisão durante a cirurgia (PHILLIPS e



PARK, 1989). Nesta abordagem cirúrgica menos invasiva a incidência de deformidades da coluna vertebral foi comparável a história natural de crianças com paralisia cerebral que receberam somente acompanhamento ambulatorial (FUNK e HABERL, 2016).

Independente da técnica cirúrgica utilizada, a maioria dos autores considera o estudo eletromiográfico intra-operatório como uma ferramenta útil para a execução da rizotomia dorsal seletiva lombar (GEORGOULIS *et al.*, 2018). O uso destas técnicas neurofisiológicas foi primeiramente relatado por Fasano e colaboradores (1976), que cunharam o conceito de cirurgia funcional para a rizotomia dorsal seletiva, e são responsáveis pela criação do protocolo de estudo eletromiográfico intra-operatório atualmente em uso para rizotomia dorsal seletiva, ainda que, muitos autores tenham adotado variações sutis da técnica original (FASANO *et al.*, 1976). De um modo geral, o protocolo de estudo eletromiográfico intra-operatório consiste em duas etapas principais, denominadas: eletromiografia estimulada a 1 Hertz ou estimulação limiar; e eletromiografia estimulada a 50 Hertz ou estimulação tetânica. Na estimulação limiar as raízes espinhais são identificadas através de diferenças existentes nos parâmetros neurofisiológicos entre estas raízes cirurgicamente expostas na cauda equina pelo acesso cirúrgico no cone medular, ou expostas no forâmen espinhal pela técnica cirúrgica de laminotomia extensa. Na segunda etapa, a estimulação tetânica identifica cada radícula dorsal a ser seccionada, de acordo com o grau de sua resposta motora reflexa.

Desse modo, o sucesso da rizotomia dorsal seletiva lombar com acesso cirúrgico no cone medular, depende da correta identificação das raízes espinhais pelo estudo de eletromiografia estimulada a 1 Hertz. Esse processo de identificação é baseado em diferenças existentes nos parâmetros neurofisiológicos de raízes espinhais dorsais e ventrais. Neste sentido, tomamos como referência o estudo de parâmetros neurofisiológicos das raízes espinhais lombares e sacrais realizado por Lawrence e colaboradores (1991), em pacientes submetidos a rizotomia dorsal seletiva lombar com acesso cirúrgico no cone medular (LAWRENCE *et al.*, 1991). Uma importante descoberta destes autores foi a existência de um padrão de inervação muscular multi-radicular para os membros inferiores; até então, a maioria dos mapas anatômicos indicavam uma única raiz, ou no máximo, 2 raízes espinhais ventrais para um determinado músculo. Os autores encontraram um padrão de inervação de 3 a 4 raízes espinhais ventrais para um determinado músculo. E utilizaram os padrões de

inervação muscular encontrados, para mapear o padrão de resposta muscular obtido para cada raiz espinhal ventral da cauda equina, exceto L1, durante o estudo eletromiográfico intra-operatório de pacientes submetidos a rizotomia dorsal seletiva lombar com acesso cirúrgico no cone medular. No entanto, estes mesmos autores observaram inervação muscular anômala nos membros inferiores em cerca de 30% dos pacientes; e sugeriram cautela na interpretação dos resultados.

Mediante a divergência de opiniões sobre muitos aspectos deste tratamento, como: seu uso em crianças com paralisia cerebral grave, a adoção de técnica cirúrgica com laminectomia extensa ou com acesso cirúrgico no cone medular, e a utilidade do estudo eletromiográfico intra-operatório para identificação das raízes espinhais cirurgicamente expostas; julgamos importante a realização de estudos em crianças com paralisia cerebral grave, submetidas a rizotomia dorsal seletiva com acesso cirúrgico no cone medular, com o objetivo de aprimorar a metodologia utilizada para identificação neurofisiológica das raízes espinhais, e para avaliar a eficácia clínica deste tratamento.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Caracterizar parâmetros neurofisiológicos para identificação de raízes espinhais pelo estudo eletromiográfico intra-operatório da rizotomia dorsal seletiva lombar com acesso cirúrgico no cone medular de pacientes com paralisia cerebral grave, e avaliar a eficácia clínica deste tratamento.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Caracterizar parâmetros neurofisiológicos que permitam diferenciar raízes espinhais lombossacras ventrais de raízes espinhais lombossacras dorsais.
- Caracterizar parâmetros neurofisiológicos que permitam identificar cada uma das raízes espinhais lombossacras dorsais.
- Utilizar escalas clínicas de avaliação funcional para quantificar a eficácia desta cirurgia em crianças com paralisia cerebral grave.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Paralisia cerebral

#### 2.1.1 Definição, prevalência e etiologia

A paralisia cerebral (PC) é um distúrbio não progressivo do movimento e da postura, decorrente de lesão tecidual precoce do sistema nervoso em desenvolvimento, podendo ocorrer no útero (por infecção, ruptura vascular, etc.) ou ser adquirida após o nascimento (por trauma, hipoxemia, etc.). Rosenbaum e colaboradores (2004), definiram a PC como um grupo de distúrbios permanentes sobre o desenvolvimento do movimento e da postura corporal, que causam limitação de atividade e são atribuídos a distúrbios não progressivos que ocorreram no cérebro fetal ou infantil em desenvolvimento. Estes distúrbios motores são frequentemente acompanhados por alterações da sensação, percepção, cognição, comunicação e comportamento; por epilepsia; e por problemas musculoesqueléticos secundários (ROSENBAUM *et al.*, 2004).

Existe um amplo espectro de manifestações clínicas na PC, desde crianças com inteligência normal e perturbações ligeiras, quase imperceptíveis, que as tornam desajeitadas, parecendo pouco harmoniosas ao andar, falar ou em tarefas manuais, até crianças gravemente afetadas com incapacidade motora acentuada, incapazes de andar e falar, e dependentes do auxílio de cuidadores nas atividades da vida diária. Entre estes dois extremos, há vários graus intermediários de incapacidade, dependendo da intensidade da lesão e da área cerebral acometida, e intensificados pela carência de experiências sensoriais imposta por suas deficiências (OSKOUI *et al.*, 2013). Algumas vezes, a PC é detectada somente aos 5 anos de idade quando a criança não atinge os marcos habituais do desenvolvimento. Por isso, alguns autores propõem o limite de 5 anos de idade para considerar o diagnóstico de PC, tendo em conta a influência da plasticidade cerebral (SCPE, 2000).

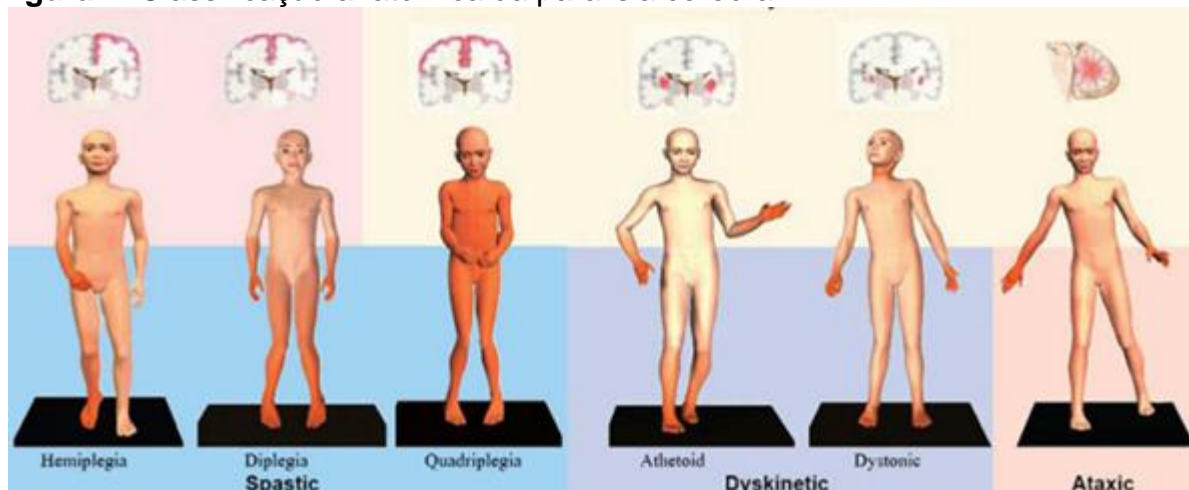
A prevalência da PC é de aproximadamente 2 por 1.000 nascidos vivos, estando fortemente associada a presença de baixo peso ao nascer, parto prematuro e gestações múltiplas (ANCEL *et al.*, 2006). Na maioria das vezes a PC decorre de interferências no desenvolvimento cerebral intra-útero, como malformações congênitas e doenças maternas (hipertireoidismo, infecções virais, alcoolismo, uso de

drogas teratogênicas, etc.), e em cerca de 10 % dos casos, por afecções no período pós-natal, como distúrbios metabólicos, infecções, trauma cerebral ou acidentes vasculares cerebrais (ARENS *et al.*, 1989).

### 2.1.2 Classificação, tratamento e prognóstico

Diferentes sistemas de classificação da PC variam de acordo com os critérios utilizados, como: alteração do tônus muscular, nível de comprometimento funcional, época do insulto cerebral e distribuição anatômica deste insulto (ANDERSEN *et al.*, 2008). A PC espástica é a forma mais comum, representando 80% a 85% dos casos, com as seguintes apresentações clínicas: hemiplegia espástica (envolvimento unilateral de um ou dois membros); diplegia espástica (envolvimento bilateral com mais envolvimento das pernas que dos braços) e quadriplegia espástica (envolvimento bilateral com envolvimento igual ou mais envolvimento dos braços que das pernas). Outros grupos são mais raros: PC atáxica, PC atetóide e PC hipotônica; com movimentos involuntários discinéticos ou anormais que podem ocorrer isoladamente ou acompanhar a espasticidade, sendo referidos como PC mista ou PC espástica-discinética (BERKER e YALÇIN, 2008). Os diversos subtipos anatômicos da PC estão ilustrados na Figura 1.

**Figura 1.** Classificação anatômica da paralisia cerebral.



**Fonte:** Adaptado de Berker e Yalçin, 2008.

A caracterização clínica destas alterações disfuncionais deve ser realizada por avaliação individualizada, em equipe multidisciplinar, com documentação do comprometimento funcional através de escalas clínicas padronizadas, com vistas ao delineamento dos objetivos terapêuticos e a escolha do melhor tratamento para cada caso (TILTON, 2003). De acordo com o Consenso Europeu de 2006 para o tratamento na PC, deve-se usar métodos avaliativos validados segundo os conceitos da Classificação Internacional de Funcionalidade, Incapacidade e Saúde em PC da Organização Mundial de Saúde. Nesse consenso, as avaliações são divididas em dois grupos: avaliação da estrutura ou função corporal (amplitude de movimento, escala de Ashworth modificada, escala de Tardieu, análise de marcha 3D, vídeo documentação e GAS – *Goal Attainment Escala*) e avaliação das atividades e participação (análise de marcha 3D, GMFM 88 – *Gross Motor Function Measure*, MACS – *Manual Ability Classification System*, GMFCS – *Gross Motor Function Classification System*, WeeFIMTM – *Functional Independence Measure*, PEDI – *Pediatric Evaluation of Disability Inventory*, COPM – *Canadian Occupational Performance Measure*, QUEST – *Quality of Upper Extremity Skills Test*, BFMF – *Bimanual Fine Motor Function* e AHA – *Assisting Hand Assessment*) (HEINEM *et al.*, 2006).

O sistema de classificação da função motora grossa (GMFCS – *Gross Motor Function Classification System*) utiliza cinco níveis de gravidade de acordo com a função motora grossa destes pacientes, da seguinte forma: nível I (marcha independente); nível II (marcha com limitações, mas sem uso de dispositivo auxiliar); nível III (marcha com uso de dispositivo auxiliar); nível IV (mobilidade limitada, com uso frequente de cadeira de rodas) e nível V (ausência de marcha, incapaz de se sentar de forma independente). Embora exista uma variedade de habilidades físicas dentro desses níveis, as crianças com hemiplegia espástica estão geralmente nos níveis I e II e aquelas com quadriplegia espástica estão nos níveis IV e V. Em geral, crianças classificadas como níveis I a III são classificadas como deambuladoras, sendo os níveis I e II deambuladoras independentes e o nível III deambuladoras dependentes. Crianças classificadas como níveis IV e V são classificadas como não deambuladoras (PALISANO *et al.*, 1997).

O GMFM-88 (*Gross Motor Function Measure*) é um instrumento desenvolvido especificamente para medir e acompanhar ao longo do tempo a função motora bruta em crianças com PC. Nele, são avaliados 88 itens, igualmente ponderados e

agrupados em 5 dimensões, a saber: A, deitado e rolando; B, sentado; C, rastejando e ajoelhado; D, em pé; e E, caminhando, correndo e pulando. As pontuações de cada dimensão são expressas como uma porcentagem da pontuação máxima a ser alcançada para aquela dimensão. A pontuação total da escala é obtida pela média das pontuações percentuais das 5 dimensões (PALISANO, 1997).

Nos últimos anos houve um aumento exponencial do número de publicações científicas sobre intervenções terapêuticas na PC (STRAUSS *et al.*, 2009). Por outro lado, Novak e colaboradores (2013) analisaram 166 artigos sobre estas intervenções, e estratificaram os achados de acordo com critérios de evidência, mostrando que mais de 70% destas terapias apresentaram pouco resultado clínico efetivo, ou nenhum resultado (NOVAK *et al.*, 2013). Nesse estudo, as intervenções eleitas como efetivas foram apresentadas por grupos de acordo com seu objetivo terapêutico, e são as seguintes: (1) toxina botulínica, diazepam e rizotomia dorsal seletiva para controle da espasticidade; (2) órtese para melhorar e manter a amplitude de movimento do tornozelo; (3) vigilância do quadril para manter a integridade da articulação do quadril; (4) terapia de restrição do movimento, treinamento bimanual, terapia focada no contexto, treinamento funcional direcionado a metas, terapia ocupacional após a toxina botulínica e programas domiciliares, todos para melhorar o desempenho da atividade motora e / ou autocuidado; (5) treinamento físico para melhorar o desempenho físico; (6) bisfosfonatos para melhorar a densidade mineral óssea; (7) cuidados de pontos de pressão para reduzir o risco de úlceras por pressão; e (8) anticonvulsivantes para controle de crises convulsivas. Portanto, é um grande desafio encontrar o tratamento certo, no momento certo, para estas crianças, se não considerarmos a dinâmica das alterações funcionais em cada um destes pacientes (WESTBOM *et al.*, 2003).

O grau de incapacidade neurológica e a presença de comorbidades são os preditores mais importantes da expectativa de vida de crianças com PC, podendo ser reduzida ou semelhante à da população em geral. Os problemas respiratórios são causa mais comum de morte para todas as variantes clínicas de PC. Melhorias na assistência médica, e cuidados em equipe multidisciplinar, aumentaram a probabilidade de sobrevivência destes pacientes (STRAUSS *et al.*, 2007).

## 2.2 Espasticidade

### 2.2.1 Definição

O músculo sadio encontra-se em um estado de tensão contínua, denominado tônus, que é percebido pela palpação muscular através de uma consistência visco-elástica. Viscosidade é a resistência do tecido as forças de deformação, enquanto elasticidade é a capacidade deste tecido retornar a sua forma original após ter sido estirado. Além das propriedades físico-químicas do tecido muscular, há o componente neural, agindo continuamente sobre o músculo através de um complexo arco reflexo medular, denominado reflexo miotático, que atua modulando o tônus muscular durante a realização das diferentes tarefas motoras (AIRES, 2008).

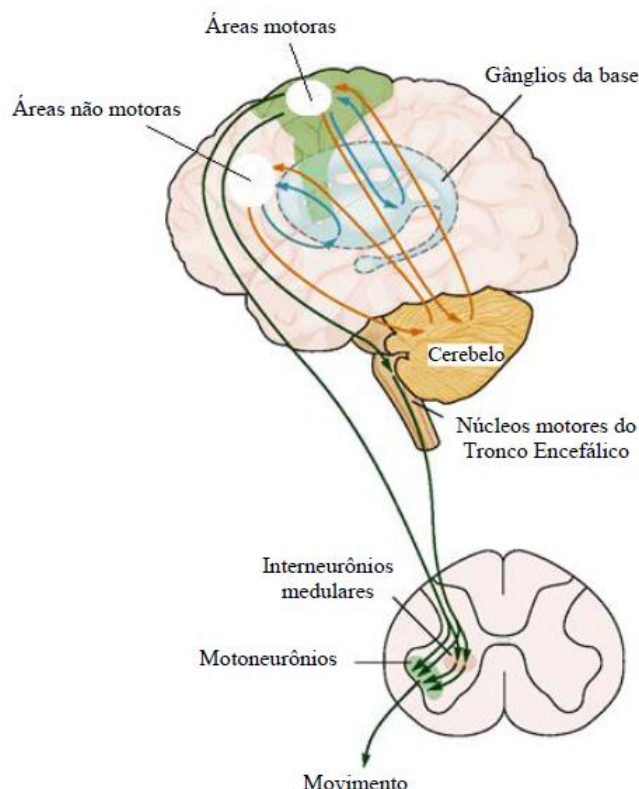
A espasticidade resulta da desregulação do reflexo miotático, e pode ser clinicamente observada pelo aumento da resistência muscular a mobilização passiva e rápida de uma determinada articulação de um indivíduo em repouso. Por isso, a espasticidade é genericamente definida como um aumento do tônus muscular velocidade dependente, porque está relacionada à ocorrência de hiperexcitabilidade do reflexo de estiramento muscular (SMYTH *et al.*, 2000). Este estado de hiperexcitabilidade acontece em diversas situações de agressão ao complexo sistema de controle da motricidade.

### 2.2.2 Organização hierárquica do sistema motor

O sistema que controla a motricidade obedece uma organização hierárquica composta por córtex cerebral, centros subcorticais (tálamo, gânglios da base e cerebelo), tronco encefálico e vias descendentes, medula espinhal, neurônios motores (alfa e gama) e músculos esqueléticos. Neste sistema, existe um fluxo contínuo de informações sensoriais sobre o ambiente externo, a posição e orientação corporal e o estado de contração muscular, que permitem selecionar respostas motoras apropriadas e realizar ajustes no movimento em curso (BLUMENFELD, 2002). Para tanto, existe uma organização de controle em três níveis: áreas motoras corticais, tronco encefálico e vias descendentes, e medula espinhal. Todos estes níveis recebem informações sensoriais relevantes para suas funções, e estão sob a influência de dois circuitos subcorticais: os gânglios da base e o cerebelo.

Resumidamente, regiões específicas do córtex cerebral (córtex pré-motor e a área motora suplementar) tem a função de planejar o ato motor, que através de uma sequência ordenada de instruções é repassado ao córtex motor primário, este tem a função de transmitir o comando motor a núcleos específicos do tronco cerebral e da medula espinhal, que através dos nervos periféricos promovem contrações dos músculos escolhidos. Assim, os comandos motores originados no córtex cerebral atuam sobre os neurônios motores medulares diretamente, por meio do trato corticoespinhal, e indiretamente, por outras vias descendentes do tronco encefálico, especialmente as projeções corticoreticuloespinhais, corticorubroespinhais e corticobulbares, neste processo, os gânglios da base e o cerebelo avaliam continuamente se o sistema está funcionando como desejado, garantindo que os comandos estejam corretos e que os movimentos sejam executados adequadamente (LENT, 2010). A organização hierárquica do sistema motor está ilustrada na Figura 2.

**Figura 2.** Organização hierárquica do sistema motor.



**Fonte:** Adaptado de Kandel *et al.*, 2000.



### 2.2.3 Integração funcional do sistema motor

A integração funcional entre os diferentes níveis do sistema motor é realizada por mecanismos de controle, como *feedback* (retroalimentação), *feedforward* (controle antecipatório) e mecanismos adaptativos (BERNE *et al.*, 2004). Neste processo, são fundamentais algumas vias descendentes do tronco encefálico, como as vias: tectoespinal, reticuloespinal e vestibuloespinal. O trato tectoespinal origina-se no colículo superior do mesencéfalo e é importante para a coordenação dos movimentos da cabeça e dos olhos. Os tratos reticuloespinais se originam de núcleos na formação reticular da ponte e do bulbo, sendo importantes para manutenção da postura e sustentação do corpo contra a gravidade. Os tratos vestibuloespinais se originam nos núcleos vestibulares e controlam seletivamente os sinais excitatórios para os músculos anti-gravitacionais, mantendo o equilíbrio em resposta a perturbações do sistema vestibular (PURVES *et al.*, 2008). A integração funcional do sistema motor está ilustrada na Figura 3.

### 2.2.4 A medula e o reflexo miotático

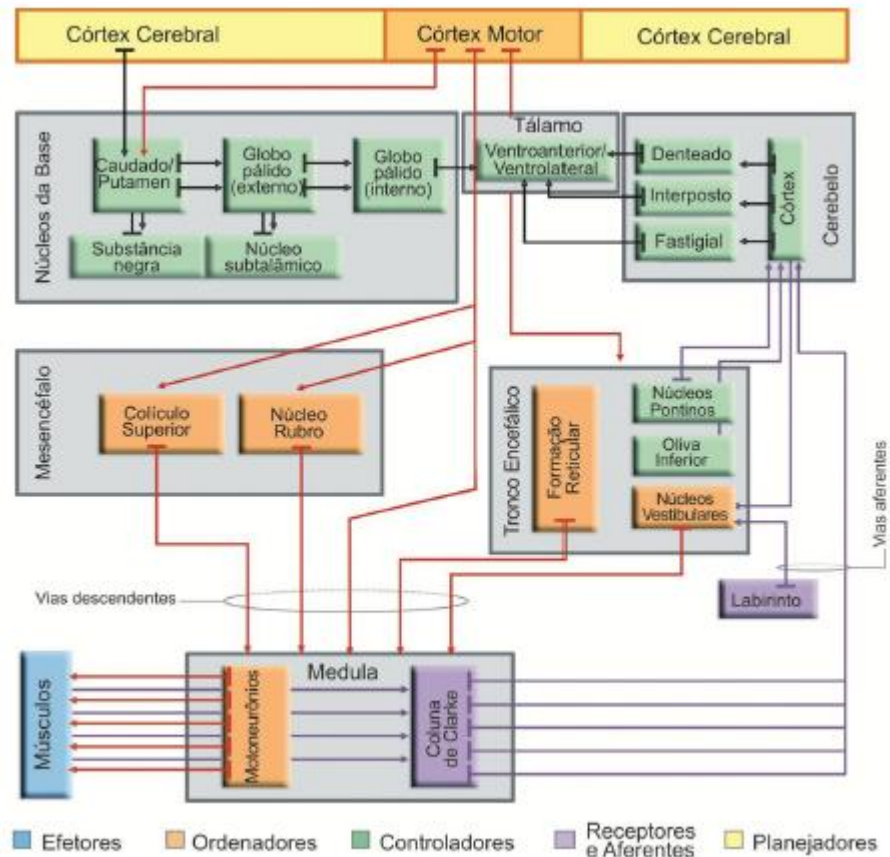
Os interneurônios medulares são denominadas células de Renshaw, e estão presentes em grande número em todas as áreas da substância cinzenta medular, são células nervosas pequenas e altamente excitáveis, com muitas interconexões, estão misturados aos neurônios motores alfa e gama, exercendo ação excitatória ou inibitória sobre estes, sendo responsáveis pela maioria das funções integrativas da medula espinhal. Dessa forma, poucos sinais sensoriais aferentes provenientes dos nervos espinhais ou sinais das vias descendentes supra-espinhais convergem diretamente sobre os neurônios motores, sendo transmitidos primeiramente a estes interneurônios para serem adequadamente processados (KANDEL *et al.*, 2000).

O reflexo miotático basicamente consiste na contração reflexa de um músculo quando o mesmo é estirado. Este estiramento muscular é detectado por um tipo de receptor sensitivo especializado, denominado fuso muscular, que se dispõe em paralelo no ventre muscular, e tem a função de informar ao sistema nervoso sobre a velocidade das alterações do comprimento do músculo. Assim, sempre que o músculo é estendido rapidamente, a excitação dos fusos musculares causa a contração reflexa das fibras musculares extrafusais do próprio músculo estirado, e também dos

músculos sinérgicos estreitamente relacionados a este (AIRES, 2008). Este arco reflexo monossináptico, é formado por conexões entre as fibras aferentes primárias dos fusos musculares e os neurônios motores alfa que inervam o mesmo músculo. Estas fibras aferentes primárias são do tipo Ia, e conduzem o estímulo em alta velocidade, 70 a 120 m/s, pela raiz dorsal da medula espinhal; uma das ramificações desta raiz dorsal segue diretamente para o corno ventral da substância cinzenta medular e faz sinapse excitatória com o neurônio motor alfa, em uma rápida via monossináptica, que possibilita que um sinal reflexo retorne ao músculo pela raiz ventral da medula espinhal com mínimo atraso após a excitação do fuso muscular. Outras ramificações desta fibra Ia, estabelecem sinapse excitatória com interneurônios inibitórios conectados a neurônios motores alfa dos músculos antagonistas, provocando sua inibição. Dessa forma, o estiramento muscular causa contração dos músculos agonistas e inibição dos músculos antagonistas; essa dupla ação é chamada de inervação recíproca (KANDEL *et al.*, 2000). O reflexo miotático e a inervação recíproca estão ilustrados na Figura 4.

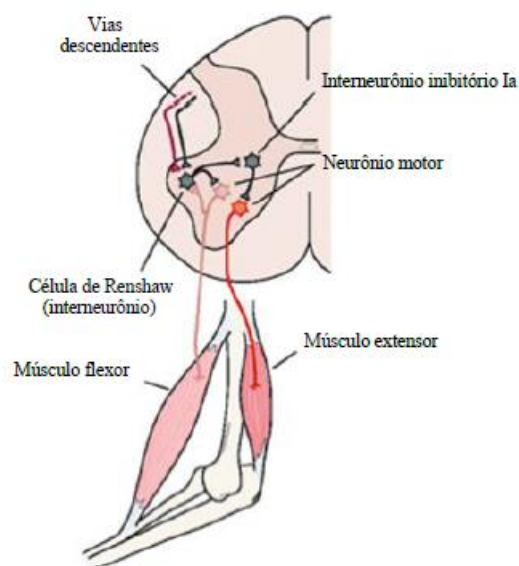
A resposta do reflexo miotático pode variar em relação à latência, duração e intensidade, de acordo com o estímulo desencadeador e as influências supra-espinhais e intersegmentares. Os centros motores supra-espinhais são capazes de coordenar os músculos oponentes de uma articulação por meio de comandos para os interneurônios inibitórios. De modo que, um sinal descendente para ativar um conjunto de músculos produz automaticamente o relaxamento dos seus músculos antagonistas. Além disso, o sistema nervoso central controla a sensibilidade dos fusos musculares pelo nível de atividade do neurônio motor espinhal que inerva as fibras dos fusos musculares, denominado motoneurônio gama. Os mecanismos precisos de controle do sistema eferente gama ainda são incertos, mas acredita-se que ele é estimulado especificamente por sinais provenientes da região facilitatória bulboreticular do tronco encefálico relacionada às contrações anti-gravitacionais e, secundariamente, por impulsos transmitidos para a área bulboreticular, a partir do cerebelo, gânglios da base e córtex cerebral (PURVES *et al.*, 2008).

**Figura 3.** Integração funcional do sistema motor.



**Fonte:** Adaptado de Lent, 2010.

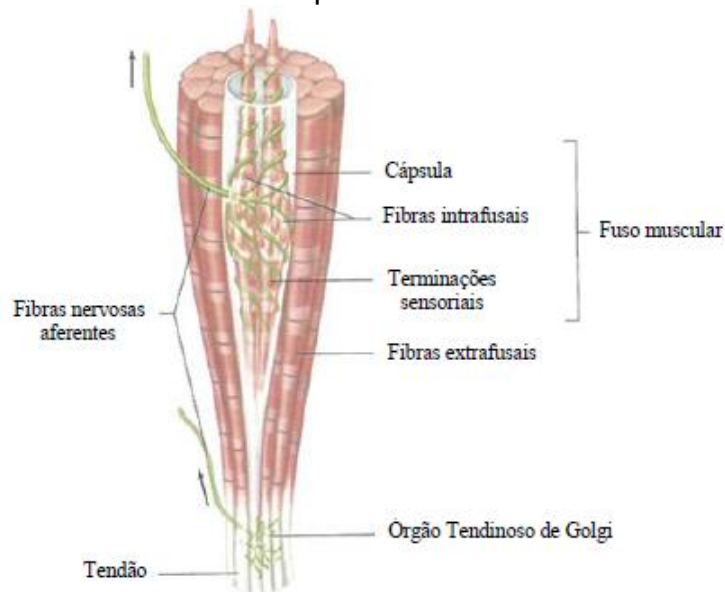
**Figura 4.** O reflexo miotático e sua inervação recíproca.



**Fonte:** Adaptado de Kandel *et al.*, 2000.

Em condições normais há certo grau de excitação dos motoneurônios gama e os fusos musculares emitem impulsos nervosos sensoriais continuamente. Como sabemos, o estiramento dos fusos aumenta a frequência de disparo, e o encurtamento dos mesmos reduz a frequência de disparo, por isso, durante a contração muscular desencadeada pela ação dos motoneurônios alfa, as terminações sensoriais do fuso muscular encurtam, e isso, resultaria em redução de sua frequência de disparo, porém, o sistema nervoso estimula simultaneamente os neurônios motores alfa e gama para que esta redução não aconteça. Esse mecanismo compensatório é denominado coativação alfa-gama, e acontece durante a maioria dos movimentos voluntários, proporcionando o ajuste da sensibilidade do fuso muscular às suas variações de comprimento durante a contração muscular (LUNDY-EKMAN, 2008). O fuso muscular e seus componentes estão ilustrados na Figura 5.

**Figura 5.** O fuso muscular e seus componentes.



**Fonte:** Adaptado de Kandel *et al.*, 2000.

#### 2.2.5 Fisiopatologia da espasticidade - algumas teorias

Os estudos pioneiros de Sherrington com gatos descerebrados iniciaram nossa compreensão dos mecanismos fisiológicos relacionados ao tônus muscular e a espasticidade, cunhando uma teoria clássica para fisiopatologia da espasticidade, na qual, ela é causada pela perda das influências supra-espinais inibitórias sobre o reflexo miotático (BLUMENFELD, 2002).

O reflexo miotático está sob a influência supra-espinhal de vias descendentes inibitórias e excitatórias. As vias pontinha, reticuloespinhal lateral bulbar e vestibuloespinhal são vias facilitadoras do tônus muscular. Já as vias reticuloespinhais cruzadas da formação ventricular ventromedial bulbar descem pelo funículo lateral, ao lado do trato motor corticoespinhal lateral, com ação inibitória sobre o tônus muscular. Assim, o equilíbrio entre estas vias favorece a normalidade tônus normal, e seu desequilíbrio permite o surgimento da espasticidade (PURVES *et al.*, 2008).

Alguns autores consideram a existência de mecanismos periféricos na gênese da espasticidade. Myklebust e colaboradores (1982), descreveram diferentes tipos de inibição sináptica: inibição la recíproca, inibição pré-sináptica, inibição recorrente e inibição aferente do grupo II. Estes autores encontraram alteração no mecanismo de inibição recíproca, com ativação de grupos musculares opostos durante a execução do movimento, e também observaram que a redução da inibição pré-sináptica das fibras aferentes la mediada pelo GABA (ácido gama amino butírico) estava relacionada a espasticidade (MYKLEBUST *et al.*, 1982).

#### 2.2.6 Avaliação clínica e opções terapêuticas

A espasticidade é uma das alterações clínicas observadas na lesão do neurônio motor superior, onde também ocorre paresia, hiperreflexia tendinosa, reflexos cutâneos musculares patológicos e sinais característicos como Babinski e Hoffman.

Clinicamente, o tônus muscular é avaliado pela rápida extensão ou flexão passiva dos membros do paciente, sentindo-se e graduando-se a resistência muscular oferecida. A escala de Ashworth modificado é a mais utilizada para esta graduação. A escala de Ashworth foi originalmente desenvolvida para avaliação de espasticidade nos membros inferiores e considera 5 possibilidades de resposta em sua graduação de resistência muscular, com 0 correspondendo ao tônus normal e 4 a hipertonia severa com rigidez articular (ASHWORTH, 1964). Com o objetivo de avaliar a articulação do cotovelo, os autores Bohannon e Smith (1987) modificaram a escala de Ashworth mudando discretamente suas definições e acrescentando o grau 1+ entre os graus 1 e 2 (BOHANNON e SMITH, 1987). A escala de Ashworth modificada está descrita na Figura 6.

**Figura 6.** Escala de Ashworth modificada.

Classificação	Descrição
0	Nenhum aumento no tônus muscular.
1	Leve aumento do tônus muscular, manifestado por uma tensão momentânea ou por resistência mínima, no final da amplitude de movimento articular (ADM), quando a região é movida em flexão ou extensão.
1+	Leve aumento do tônus muscular, manifestado por tensão abrupta, seguida de resistência mínima em menos da metade da ADM restante.
2	Aumento mais marcante do tônus muscular, durante a maior parte da ADM, mas a região é movida facilmente.
3	Considerável aumento do tônus muscular, o movimento passivo é difícil.
4	Parte afetada rígida em flexão ou extensão.

**Fonte:** Adaptado de Bohannon e Smith, 1987.

Outros instrumentos de avaliação clínica da espasticidade, menos usuais que a escala de Ashworth, são a escala de Tardieu, o Índice de Espasticidade Composto e a escala de Avaliação de Automatismos Medulares. A escala de Tardieu emprega o conceito de clônus com uso de diferentes velocidades para realização do estiramento. O Índice de Espasticidade Composto combina em um escore composto as avaliações relacionadas à hiperreflexia, clônus e resistência ao estiramento. A escala de Avaliação de Automatismos Medulares quantifica o número de espasmos em uma hora (GRACIES, 2001).

As intervenções terapêuticas para espasticidade incluem abordagens não farmacológicas, medidas farmacológicas e procedimentos cirúrgicos, de acordo com a extensão e a gravidade das alterações observadas na avaliação clínica multidisciplinar (ABBOT, 1992). Novak e colaboradores (2013), analisaram 166 artigos sobre intervenções terapêuticas na PC, e estratificaram os achados de acordo com critérios de evidência, mostrando que o diazepam oral, a toxina botulínica e a rizotomia dorsal seletiva foram intervenções eficazes para controle da espasticidade (NOVAK *et al.*, 2013). Atualmente, a rizotomia dorsal seletiva é considerada o tratamento mais eficiente para redução da espasticidade difusa, com eficácia superior ao uso de diazepam oral, toxina botulínica intramuscular e baclofeno intratecal, quando é necessário um relaxamento muscular amplo e permanente nestes pacientes (FARMER *et al.*, 2013; PARK *et al.*, 2017; SUMMERS *et al.*, 2019).

## 2.3 Rizotomia dorsal seletiva

### 2.3.1 Conceito e evolução histórica da técnica cirúrgica

A rizotomia dorsal seletiva (RDS) é uma técnica cirúrgica desenvolvida para o tratamento da espasticidade de crianças com paralisia cerebral, através da secção parcial de raízes espinhais dorsais, com conseqüente relaxamento muscular pela redução da estimulação sensitiva periférica conduzida à medula espinhal por estas raízes disfuncionais (FARMER *et al.*, 2007).

Em 1888, na Inglaterra, Bennett realizou a primeira rizotomia dorsal para manejo da dor ciática. Neste mesmo período, Abbe também utilizou esta técnica para tratamento da dor e observou melhora da espasticidade (ENSLIN *et al.*, 2019).

Em 1913, na Alemanha, Otfried Foerster realizou a primeira rizotomia dorsal para tratamento da espasticidade. Ele realizou laminectomia das vértebras T12, L1, L2, L3, L4, L5 e S1 com exposição das respectivas raízes espinhais dorsais, e utilizou estimulação elétrica para identificar o nível da raiz espinhal e diferenciar entre raízes motoras e sensitivas. Ele preservou a raiz dorsal L4 com o objetivo de preservar a força de extensão do joelho, e realizou secção completa das demais raízes espinhais dorsais, alcançando imediata redução da espasticidade destes pacientes, porém, ao custo de diversas complicações pós-operatórias, como: denervação da bexiga, severa perda da sensibilidade, disestesias e alterações tróficas dos membros inferiores (TAN *et al.*, 2001). Após isso, a rizotomia dorsal foi abandonada por cerca de meio século, com o estigma de um procedimento ablativo não seletivo, com perda sensitiva permanente e com frequente retorno da espasticidade. Por isso, em 1964, Wilkins escreveu que este procedimento havia “perdido a maior parte de sua importância original, mas ainda tinha significado histórico como um passo importante no desenvolvimento de técnicas modernas para o alívio da dor” (D’AQUINO *et al.*, 2018).

Em 1976, na França, a RDS foi reintroduzida por Gros, que inicialmente seccionava aleatoriamente apenas quatro quintos dos fascículos de cada raiz dorsal utilizando uma técnica cirúrgica menos invasiva, com laminectomia somente das vértebras T12 e L1. Para muitos pacientes esta abordagem resultou em fraqueza muscular e persistência da espasticidade (ENSLIN *et al.*, 2019). Por isso, Gros começou a realizar estudo eletromiográfico intra-operatório para identificar radículas dorsais anormais e preservar raízes dorsais diretamente relacionadas ao controle

postural e a marcha. A ênfase estava na avaliação clínica do paciente, sendo necessário o auxílio de um fisioterapeuta durante o processo de avaliação das respostas musculares e escolha das radículas que prejudicavam a função do paciente. Desse modo, este autor introduziu importantes conceitos da RDS, como: avaliação multidisciplinar e acesso cirúrgico minimamente invasivo (ENSLIN *et al.*, 2019). Gros e colaboradores (1976), foram os primeiros a relatar os efeitos supra-segmentares da RDS, em que os pacientes submetidos a RDS lombar apresentavam também melhora na espasticidade dos membros superiores (PRIVAT *et al.*, 1976).

Também em 1976, na Itália, Fasano e colaboradores descreveram os primeiros critérios neurofisiológicos para classificação das respostas motoras reflexas anormais após estimulação elétrica das raízes espinhais, e observaram que os pacientes apresentavam maior ganho funcional e poucas alterações sensitivas e motoras (FASANO *et al.*, 1976). Eles também utilizaram a abordagem cirúrgica desenvolvida por Gros e colaboradores (1976), com laminectomia somente no cone medular; nessa mesma época, o desenvolvimento de novas técnicas anestésicas e novas drogas sedativas também contribuiu para a significativa redução dos riscos associados ao procedimento cirúrgico (VAN DE WIELE *et al.*, 1996).

A década seguinte foi dominada pela técnica cirúrgica proposta por Peacock e colaboradores (1982), consistindo em laminotomia das vértebras L2 a L5 com laminectomia das vértebras S1 e S2, com identificação das raízes espinhais pela visualização direta em seus respectivos forâmens espinhais; evitando os riscos de lesão da medula espinhal existentes no acesso cirúrgico realizado no cone medular (PEACOCK *et al.*, 1982). Assim, seu principal objetivo era evitar a ocorrência de distúrbios funcionais da bexiga e do intestino que estavam sendo observados por outros autores até aquela época com o acesso cirúrgico realizado no cone medular. Por isso, estes autores sempre preservavam a raiz dorsal de S2 quando detectavam qualquer inervação do esfíncter anal a partir dela, independente de sua participação na resposta motora reflexa dos artelhos. Eles mantiveram muitos conceitos previamente estabelecidos, como: a avaliação multidisciplinar e a secção radicular dorsal seletiva de acordo com o preenchimento de critérios neurofisiológicos pelo estudo eletromiográfico intra-operatório (PEACOCK e STAUDT, 1991). Após alguns anos, surgiram várias críticas de autores que associaram à técnica de RDS com laminectomia extensa ao aumento na incidência de deformidades da coluna vertebral



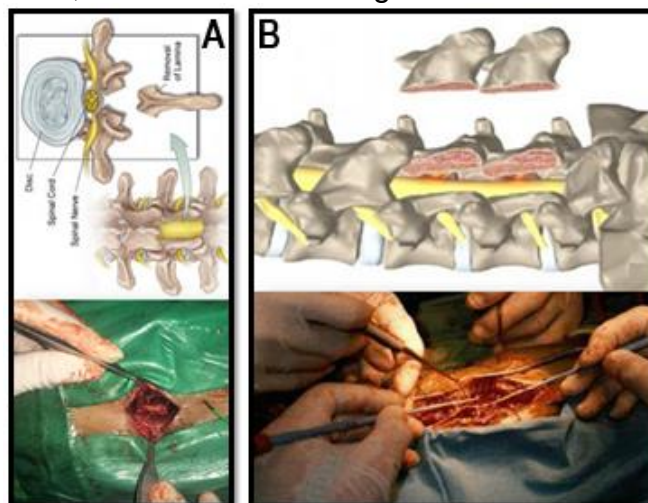
(TURI e KALEN, 2000; STEINBOK *et al.*, 2005; STEINBOK, 2007; GOLAN *et al.*, 2007).

Em 1991, nos Estados Unidos da América, Park e Jonhston reintroduziram a técnica de RDS com acesso cirúrgico realizado no cone medular, utilizando ultrassom intra-operatório para determinar a localização do cone medular e realizar a laminectomia das vértebras L1 ou L2, com acesso as raízes da cauda equina (PARK e JONHSTON, 2006). Nesta técnica, o estudo eletromiográfico intra-operatório ganhou máxima relevância, sendo o principal parâmetro para identificação da função (sensitiva ou motora) e do território de inervação das raízes espinhais cirurgicamente expostas na cauda equina; bem como, continuou a ser fundamental para a identificação das radículas dorsais a serem seccionadas durante a cirurgia. Nesta abordagem menos invasiva a incidência de escoliose foi comparável a história natural de crianças com PC cerebral espástica que receberam somente acompanhamento ambulatorial (FUNK *et al.*, 2016).

Mais recentemente, em 2015, na França, Sindou e Georgoulis publicaram uma técnica de RDS lombar com abordagem cirúrgica interlaminar para identificação das raízes espinhais na saída dos seus respectivos forâmens espinhais, com lesão ligamentar espinal mínima. Atualmente, estes autores realizam todos os seus procedimentos usando esta abordagem cirúrgica (SINDOU e GEORGOULIS, 2015).

As principais técnicas cirúrgicas de RDS lombar estão ilustradas na Figura 7.

**Figura 7.** Principais técnicas cirúrgicas para RDS lombar (em A – acesso cirúrgico com laminectomia única; em B – acesso cirúrgico através de laminectomia extensa).



**Fonte:** Adaptado pelo autor.

### 2.3.2 Eficácia terapêutica

Diversos estudos têm demonstrado a eficácia terapêutica da RDS lombar no tratamento de crianças com PC espástica, com melhora significativa em diversos parâmetros analisados, como: redução da espasticidade (ABBOTT *et al.*, 1993), ganho de força muscular (GUL *et al.*, 1999), aumento na função motora grossa (MITTAL *et al.*, 2002) e aumento na amplitude dos movimentos (WRIGHT *et al.*, 1998). Além destes, tem sido relatado efeitos supra-segmentares da RDS lombar, com redução da espasticidade dos membros superiores (ALBRIGHT *et al.*, 1995) associado a melhora qualitativa e quantitativa na função motora dos membros superiores (BECK *et al.*, 1993; BUCKON *et al.*, 1996). De fato, a RDS é o único tratamento capaz de reduzir a espasticidade permanentemente, tendo eficácia superior ao uso de diazepam oral, toxina botulínica intramuscular e baclofeno intratecal, quando é necessário um relaxamento muscular amplo e permanente nestes pacientes. Além disso, existe um consenso que o melhor resultado funcional será obtido quando a RDS estiver associada a reabilitação física multidisciplinar (PEACOCK *et al.*, 1991; PARK *et al.*, 1992; HAYS *et al.*, 1997).

### 2.4 Estudo eletromiográfico intra-operatório

Nas últimas décadas houve significativo melhoramento na execução da RDS, com o desenvolvimento de novas técnicas cirúrgicas e com avanços no monitoramento neurofisiológico intra-operatório, aumentando significativamente o uso do estudo eletromiográfico para tomada de decisão durante a cirurgia.

O uso de técnicas neurofisiológicas durante a RDS dorsal foi primeiramente relatado por Fasano e colaboradores (1976), que cunharam o conceito de RDS funcional e são responsáveis pelo protocolo de estudo eletromiográfico para RDS atualmente em uso, ainda que, muitos centros que realizam a RDS tenham adotado variações sutis da técnica original. Estes autores utilizaram eletrodos bipolares para estimulação elétrica de raízes espinhais dorsais expostas cirurgicamente na cauda equina, com captação eletromiográfica periférica da resposta motora reflexa. Eles começavam a bateria de testes estabelecendo o valor de intensidade de corrente elétrica necessário para evocar esta resposta. Depois, a frequência de estimulação aumentava progressivamente de 1 Hz a 50 Hz. Os autores observaram três tipos

principais de respostas em pacientes com PC. Primeiro, alguns circuitos mostraram atividade normal; a estimulação de baixa frequência produziu somente uma resposta para cada estímulo, e quando a frequência do estímulo foi aumentada para 30 a 50 Hz, as respostas foram abolidas após a resposta do primeiro estímulo de cada trem. Segundo, a maioria dos circuitos mostrou ausência de atividade inibitória, sendo observado uma resposta para cada estímulo, mesmo com a estimulação de alta frequência. Também, a ausência de atividade inibitória às vezes exibia espalhamento anormal da resposta, como: ativação simultânea de músculos agonistas e antagonistas, ativação de músculos de outros níveis segmentares de inervação e ativação dos músculos contralaterais ao lado estimulado. Terceiro, em alguns casos eles encontraram uma atividade inibitória excessiva, demonstrado pela ausência de resposta mesmo com estimulação de baixa frequência, como 2 Hz (FASANO *et al.*, 1976).

#### 2.4.1 Bases fisiológicas

Em indivíduos normais, observamos que quando o trem de estimulação elétrica das raízes espinhais dorsais está acima de 10 Hz as respostas são atenuadas após a resposta do primeiro estímulo de cada trem, devido à inibição recorrente dos circuitos reflexos da medula espinhal. Mayer e Mosser (1969), descreveram uma redução de 82,3% na amplitude das respostas com um trem de estimulação de 10 Hz em crianças normais com idade entre 3 a 7 anos (MAYER e MOSSER, 1969).

A RDS é um procedimento de desaferentação que altera a ação excitatória de fibras aferentes Ia, e modula o padrão de reatividade dos circuitos reflexos da medula espinhal. Isso, porque a lesão do sistema motor leva ao desequilíbrio entre vias de fibras descendentes corticais com influências excitatórias e inibitórias sobre a medula espinhal, resultando em ação excitatória supra-segmentar sobre os circuitos reflexos da medula espinhal, responsável pela espasticidade (PURVES *et al.*, 2008). A RDS visa reduzir a ação excitatória destas fibras aferentes Ia, para compensar a ação excitatória supra-segmentar sobre os circuitos reflexos da medula espinhal. Infelizmente, por mais eloquente que pareça este mecanismo, existem muitas divergências entre os autores. Abbot e colaboradores (1990), relataram que o padrão da resposta motora reflexa variava de um estímulo a outro, apesar de mantidas as especificações do estímulo elétrico (ABBOT *et al.*, 1990). Steinbok e colaboradores

(1992), relataram que a estimulação elétrica de 11 raízes espinhais dorsais em 4 crianças sem espasticidade mostrou um padrão anormal de resposta somente em 6 destas raízes (STEINBOK *et al.*, 1992).

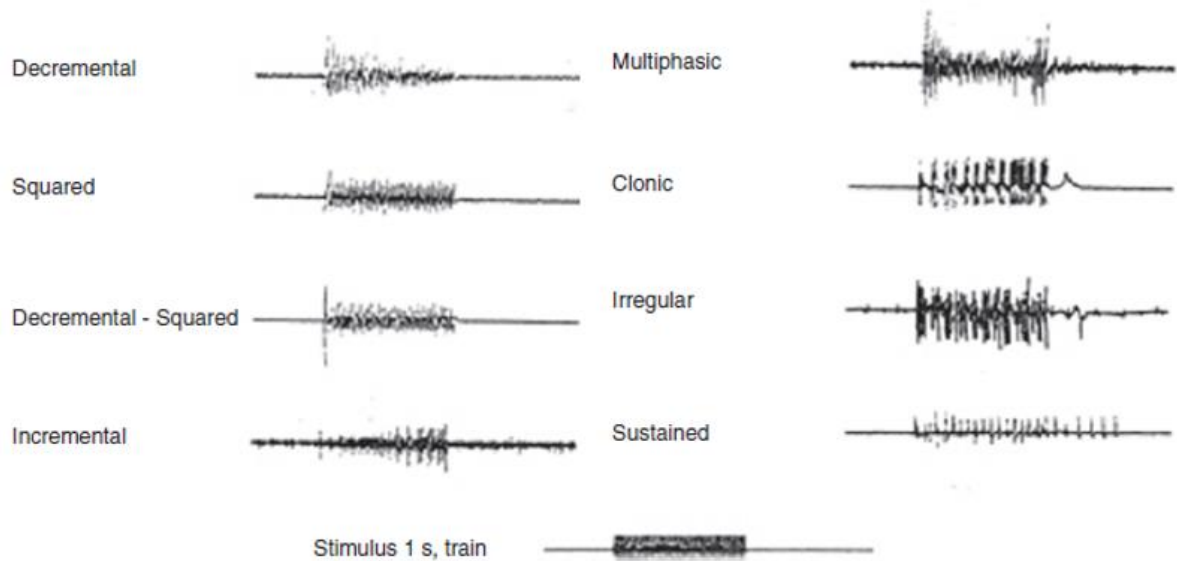
Certamente, é necessário um conhecimento melhor sobre o padrão de normalidade destas respostas motoras reflexas, antes de postularmos com segurança o que exatamente estamos medindo quando estimulamos uma raiz espinhal dorsal.

#### 2.4.2 Evolução histórica do método neurofisiológico

Em 1976, na Itália, Fasano e colaboradores estimularam raízes espinhais dorsais cirurgicamente expostas na cauda equina, classificando-as como normais ou anormais, de acordo com o padrão de resposta motora reflexa obtido com um trem de estimulação elétrica de 50 Hz. As raízes anormais foram subdivididas em radículas, e novamente estimuladas, e as radículas que mantiveram resposta anormal foram seccionadas. Os autores relataram que os pacientes apresentaram melhora permanentes da função motora, com alterações sensitivas mínimas e transitórias (FASANO *et al.*, 1976).

A técnica de Fasano e colaboradores (1976) foi adotada e aprimorada por Peacock e Staudt (1991), que identificaram e descreveram uma variedade de padrões de resposta motora reflexa, e criaram critérios mais detalhados para a escolha de raízes dorsais para secção cirúrgica. Eles identificaram pelo menos oito padrões de resposta motora reflexa, descrevendo-as da seguinte forma: decremental, quadrado, decremental-quadrado, incremental, multifásico, clônico, irregular e sustentado. O primeiro deles corresponde ao padrão "normal" descrito por Fasano e colaboradores, com resposta decrescente durante o trem de estímulos. Os padrões: quadrado, decremental-quadrado e incremental representam o padrão "anormal" descrito por Fasano e colaboradores, porém, foram considerados dentro da faixa de normalidade estabelecida por Peacock e Staudt, enquanto os últimos cinco padrões foram considerados anormais por ambos os grupos de autores (PEACOCK e STAUDT, 1991). Os padrões de resposta identificados por Peacock e Staudt estão ilustrados na Figura 8.

**Figura 8.** Diferentes padrões neurofisiológicos de resposta motora reflexa.



**Fonte:** Adaptado de Staudt *et al.*, 1995.

Adicionalmente, Phillips e Park (1989) propuseram uma escala de classificação da resposta motora reflexa em cinco níveis, facilitando a tomada de decisão durante a cirurgia. Nesta escala as raízes espinhais dorsais foram classificadas da seguinte forma: 0 = sem descarga sustentada; 1+ = resposta sustentada apenas em músculos do mesmo nível segmentar da raiz estimulada; 2+ = resposta sustentada como em 1+ mas também observada em um nível segmentar adjacente; 3+ = resposta sustentada observada em múltiplos níveis segmentares ipsilaterais a estimulação; 4+ = resposta sustentada como em 3+ mas também no membro contralateral a estimulação. Os autores elegeram para secção as raízes que apresentaram respostas com maior distribuição anatômica, respostas 3+ ou 4+ (PHILLIPS e PARK, 1989). Nesta escala, observamos valorização da distribuição anatômica da resposta motora reflexa, independentemente de suas características neurofisiológicas, como fizeram Peacock e Staudt.

## **3 METODOLOGIA**

### **3.1 Procedimentos éticos**

O projeto de pesquisa foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Estadual do Piauí – CEP UESPI, com número CAAE 16815019.7.0000.5209, sendo aprovado através do parecer consubstanciado do CEP N° 3.815.025.

### **3.2 Local da pesquisa**

Estudo realizado em dois hospitais de referência em pediatria localizados na cidade de Teresina, Piauí.

### **3.3 Desenho do estudo**

Estudo observacional, retrospectivo, descritivo com abordagem quantitativa e qualitativa, com coleta de dados dos momentos pré-operatório, intra-operatório e pós-operatório da RDS lombar de pacientes com PC grave.

#### **3.3.1 Caracterização da amostra**

No levantamento inicial da amostra observamos que no período de março de 2015 a março de 2020, 97 pacientes com diagnóstico de PC foram submetidas a RDS lombar por um único neurocirurgião de uma equipe multidisciplinar especializada em manejo da espasticidade. Esta amostra inicial foi composta por pacientes com idade entre 2 e 23 anos, apresentando diferentes graus de comprometimento funcional, que foram ranqueados nos níveis de 2 a 5 pela escala GMFCS.

Para cumprir os objetivos deste trabalho, adotamos critérios de seleção baseados em 2 estudos principais (D'AQUINO *et al.*, 2018; SUMMERS *et al.*, 2019). Desse modo, a amostra utilizada para estudo foi composta por 59 crianças com PC grave, não deambuladoras, com níveis 4 ou 5 na escala GMFCS, de ambos os sexos, e com idade entre 3 a 9 anos. Todos as crianças foram submetidas a técnica de RDS lombar com acesso cirúrgico no cone medular, com identificação das raízes espinhais através de estudo eletromiográfico intra-operatório. O fluxograma de seleção da amostra de pacientes do estudo está ilustrado na Figura 9.

### 3.3.2 Critérios de inclusão

Foram incluídos neste estudo:

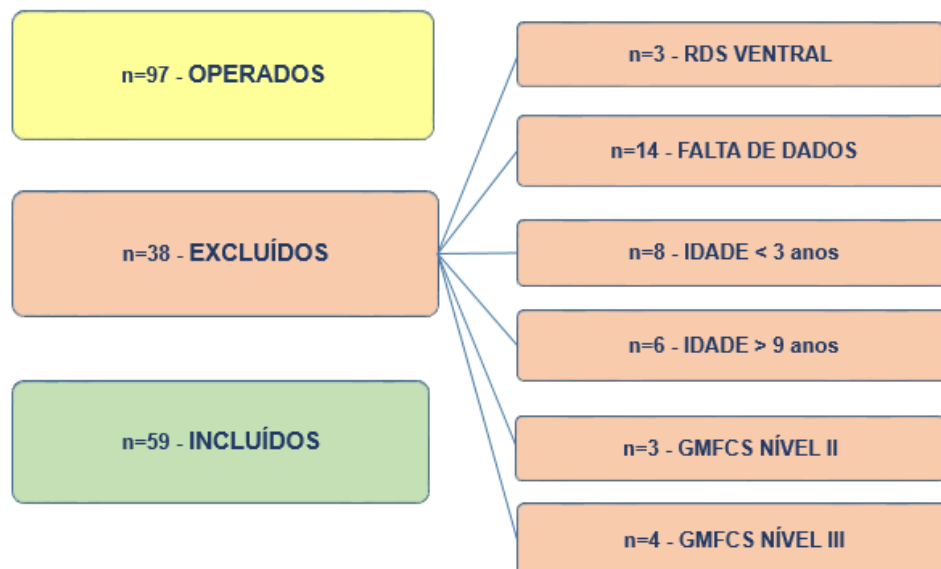
- Pacientes com idade entre 3 anos e 9 anos, de ambos os sexos.
- Pacientes com espasticidade secundária a PC grave, com níveis 4 ou 5 na escala GMFCS (PALISANO et al., 1997; ROSENBAUM et al., 2007).
- Pacientes submetidos a técnica de RDS lombar com acesso cirúrgico no cone medular, com identificação das raízes espinhais através de estudo eletromiográfico intra-operatório.
- Pacientes cujos responsáveis legais forneceram consentimento livre e esclarecido para sua participação.

### 3.3.3 Critérios de exclusão

Foram excluídos deste estudo:

- Pacientes submetidos a cirurgia de rizotomia ventral associada a cirurgia de RDS lombar para tratamento de distonia associada a espasticidade.
- Pacientes com dados incompletos do estudo eletromiográfico intra-operatório.

**Figura 9.** Fluxograma de seleção da amostra de pacientes do estudo.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

### 3.4 Coleta de dados

Dados clínicos foram coletados do prontuário médico de cada paciente, como: idade, sexo e etiologia da paralisia cerebral. Medidas funcionais foram realizadas nos momentos pré e pós-operatório por uma equipe experiente, composto por fisioterapeutas e terapeuta ocupacional. Eles utilizaram técnica padronizada para quantificação clínica da espasticidade através da escala de Ashworth modificado (BOHANNON e SMITH, 1987), e para a classificação e medida da função motora pelas escalas GMFCS e GMFM-88 (PALISANO, 1997).

Dados neurofisiológicos foram obtidos dos arquivos eletrônicos do estudo eletromiográfico intra-operatório. Realizamos leitura *off line* destes arquivos para quantificar os seguintes parâmetros neurofisiológicos: intensidade de estímulo da raiz motora, intensidade de estímulo da raiz sensitiva e tempo de latência da raiz sensitiva. Os dados neurofisiológicos foram registrados da seguinte forma:

#### 3.4.1 Protocolo anestésico

Todos os procedimentos foram realizados sob anestesia geral, com o anestésico inalatório sevoflurano, cuja dose de manutenção anestésica foi controlada de acordo com as variações da pressão arterial e da frequência cardíaca em relação aos valores basais do paciente (FERNANDEZ *et al.*, 2005). Quando necessário, a succinilcolina foi utilizada como bloqueador neuromuscular de ação curta, para evitar o uso de relaxantes musculares de ação prolongada que poderiam interferir na execução do estudo eletromiográfico intra-operatório. Os pacientes foram posicionados em decúbito ventral, sobre uma manta térmica regulada para manter a temperatura corporal entre 36 e 37°C durante todo o procedimento cirúrgico. A Figura 10 demonstra a disposição dos membros da equipe no ambiente cirúrgico.



**Figura 10.** Disposição dos membros da equipe no ambiente cirúrgico (acima e a esquerda estão o neurocirurgião pediátrico e o fisioterapeuta, a direita está a instrumentadora cirúrgica, e abaixo ficou o neurofisiologista clínico).



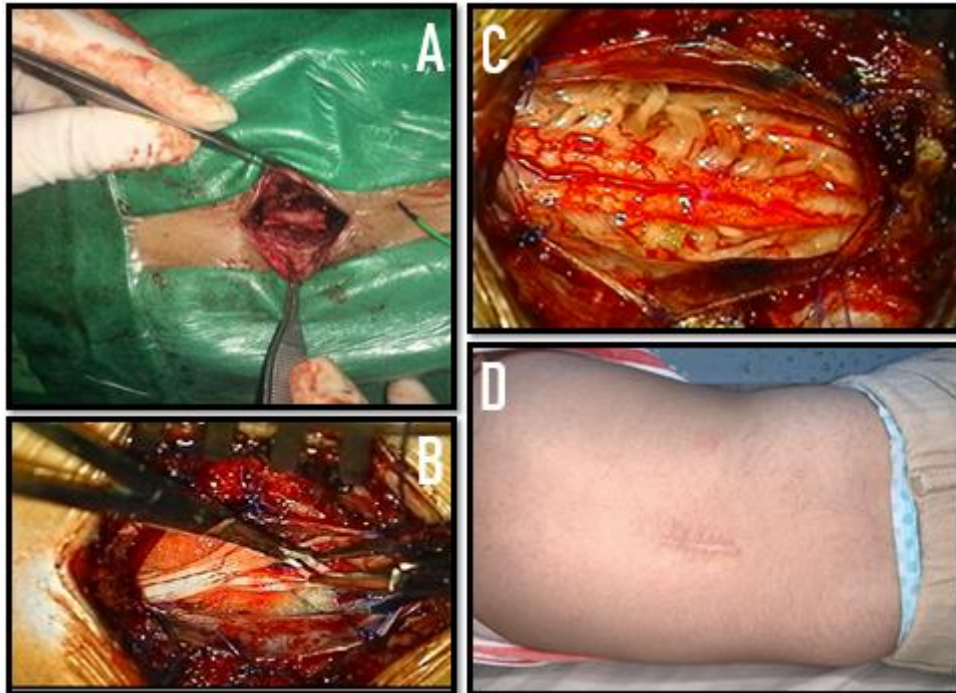
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

### 3.4.2 Protocolo cirúrgico

Para abordagem cirúrgica, o nível vertebral foi determinado por estudo pré-operatório com ressonância magnética da coluna lombar ou com uso de ultrassom intra-operatório para localização do cone medular, e foi marcado na coluna vertebral com auxílio de exame de raio X, imediatamente antes do início da cirurgia. Na pele, foi realizada uma incisão cirúrgica de cerca de 4 centímetros de comprimento, e em seguida, houve a dissecação de tecidos moles, para ser realizada a laminotomia da vértebra L1, cujo fragmento ósseo contendo lâminas e processo espinhoso foi armazenado em gaze estéril umedecida com solução fisiológica para posterior realização de laminoplastia. A dura-máter sofreu uma incisão mediana de aproximadamente 2 centímetros, cujas bordas foram suturadas na pele para evitar sua migração durante o procedimento, então, a membrana aracnóide foi aberta para exposição da cauda equina, onde cada raiz espinhal foi submetida a estudo eletromiográfico, com o objetivo de fornecer informações fundamentais para o seguimento do procedimento cirúrgico, como: a identificação de raízes espinhais

dorsais e ventrais; e a quantificação das alterações de excitabilidade das raízes espinhais dorsais. Apenas a raiz espinhal L1 pôde também ser identificada anatomicamente, seguindo seu trajeto da medula ao respectivo forâmen vertebral. De L1 a S2, as raízes dorsais foram identificadas, e então, separadas em 4 a 6 radículas, sendo seccionadas em percentuais específicos de acordo com os critérios estabelecidos pela equipe. A dura-máter foi fechada com sutura impermeável e uso de cola biológica. Foi realizada a laminoplastia para reposição do fragmento ósseo da vértebra. Os tecidos moles foram fechados por camadas e a incisão foi coberta com curativo sob pressão. A Figura 11 demonstra o ato cirúrgico em diferentes etapas.

**Figura 11.** Demonstração do ato cirúrgico em diferentes etapas (em A – acesso cirúrgico com laminectomia única; em B e C – início e fim da secção radicular, respectivamente; em D – cicatriz cirúrgica de apenas 4 centímetros).



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

### 3.4.3 Protocolo neurofisiológico

No paciente anestesiado utilizou-se técnica estéril para inserção de pares de eletrodos de agulha descartável, denominados G1 e G2, em músculos específicos inervados por raízes espinhais de interesse cirúrgico, da seguinte forma: músculo ilíaco para raiz L1; músculo adutor magno para raízes L2-3; músculo vasto medial para raízes L3-4; músculo tibial anterior para raízes L4-5; músculo gastrocnêmio

medial para raízes L5-S1; músculo adutor do hálux para raiz S2; e músculo esfíncter anal externo para raízes S2-3. Desse modo, o registro eletromiográfico foi composto por 7 canais em cada hemicorpo, cobrindo todas as raízes espinhais dos segmentos lombar e sacral da medula espinhal. A Figura 12 demonstra a montagem de eletrodos para registro eletromiográfico no centro cirúrgico.

**Figura 12.** Montagem de eletrodos para registro eletromiográfico.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

O protocolo eletromiográfico intra-operatório foi baseado no estudo neurofisiológico originalmente descrito por Fasano e colaboradores (1976) e modificado por Park e colaboradores (1989), consistindo em duas etapas: eletromiografia estimulada a 1 Hertz ou estimulação limiar; e eletromiografia estimulada a 50 Hertz ou estimulação tetânica (FASANO *et al.*, 1976; PHILLIPS e PARK, 1989; LAWRENCE *et al.*, 1991). A estimulação elétrica foi realizada com sonda bipolar de 0,5 cm de distância entre os polos. Em cada teste, foi realizado pelo menos três estímulos consecutivos para observação de coerência entre as respostas musculares antes de prosseguirmos com a interpretação das informações.

Na estimulação limiar cada raiz espinhal recebeu estímulos elétricos de corrente contínua, com pulso de onda quadrada, duração de 0,1 milissegundo, frequência de 1 Hertz e a intensidade necessária para a obtenção de uma resposta muscular reflexa limiar, geralmente entre 0,1 a 10 miliamperes. Nesta etapa, foi realizada a identificação neurofisiológica de todas as raízes espinhais expostas na cauda equina, de acordo com diferenças existentes nos parâmetros neurofisiológicos entre raízes dorsais e ventrais; sendo possível informar a função, sensitiva ou motora;

e o território de inervação de cada raiz testada. Para isso, utilizamos os seguintes parâmetros neurofisiológicos: padrão de resposta motora, intensidade de estímulo da raiz motora, intensidade de estímulo da raiz sensitiva e tempo de latência da raiz sensitiva. Para análise do padrão de resposta motora utilizamos os critérios publicados por Lawrence e colaboradores (1991) (LAWRENCE *et al.*, 1991). Os demais parâmetros neurofisiológicos, foram acrescentados com o objetivo de aumentar nossa confiança nesta etapa do estudo eletromiográfico. Discutiremos adiante, a utilidade dos parâmetros que adotamos para a identificação neurofisiológica das raízes espinhais.

Na etapa de estimulação tetânica cada raiz dorsal foi dissecada em 4 a 6 radículas, que foram testadas separadamente com estímulos elétricos de corrente contínua, em trens de onda quadrada, com duração de 1 milissegundo e frequência de 50 Hertz, com a intensidade de estímulo encontrada para a respectiva raiz no teste anterior. Classificamos a intensidade da resposta motora reflexa das radículas dorsais de acordo com a escala de classificação proposta por Philips e Park (1989), da seguinte forma: grau 0 - quando não havia resposta motora reflexa; grau 1 - quando havia resposta motora reflexa somente no nível segmentar correspondente a estimulação; grau 2 - quando havia resposta motora reflexa no nível segmentar correspondente a estimulação, com propagação desta resposta ao nível segmentar adjacente; grau 3 - quando havia resposta motora reflexa em todo o membro inferior ipsilateral a estimulação; e grau 4 quando havia resposta motora reflexa em ambos os membros inferiores (PHILLIPS e PARK, 1989).

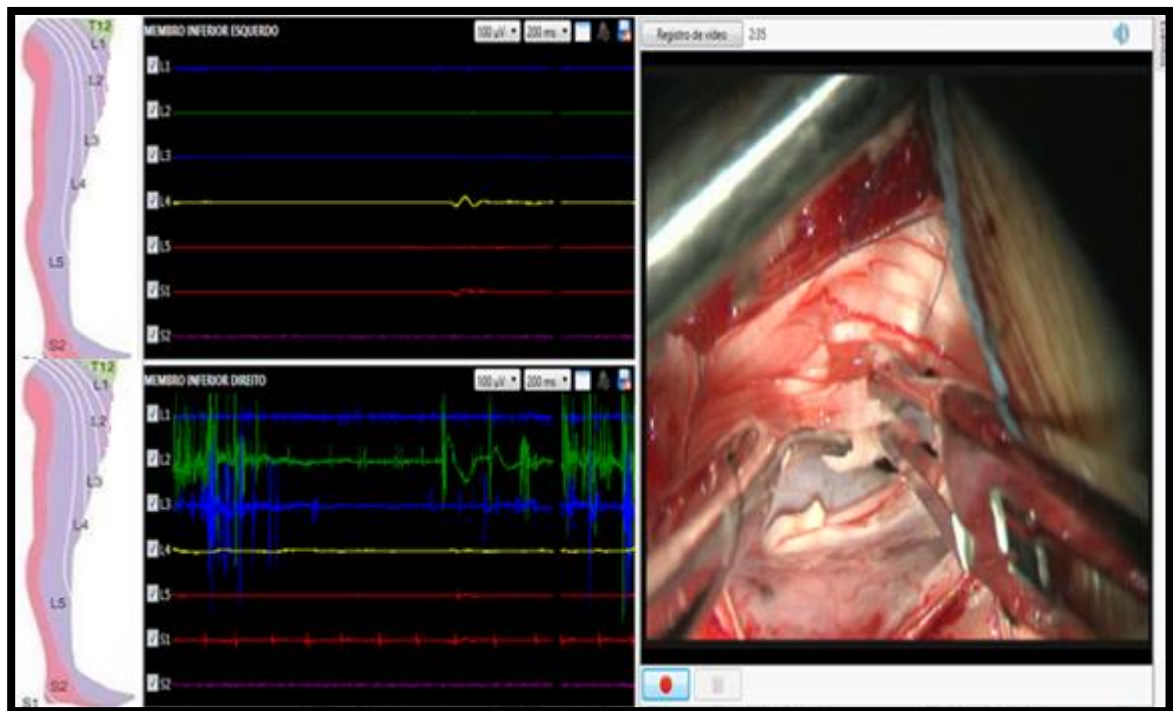
A apresentação clínica da resposta motora reflexa foi observada e palpada por um fisioterapeuta, tendo particular atenção as contrações em grupos musculares diferentes daqueles monitorados pelo neurofisiologista clínico. A escolha das radículas dorsais para secção cirúrgica foi baseada em três princípios: a resposta eletromiográfica; a resposta comportamental registrada pelo fisioterapeuta; e os objetivos clínicos e funcionais que foram estabelecidos para o paciente na avaliação multidisciplinar pré-operatória. De um modo geral, não foram submetidas a secção as raízes dorsais que apresentaram respostas: grau 0, grau 1 e grau 2. Enquanto as raízes dorsais com respostas grau 3 e grau 4, foram seccionadas de 62% a 84% de sua área transversa, variando de acordo com o nível segmentar de cada raiz.

O estudo eletromiográfico intra-operatório foi realizado com o equipamento Neuro-IOM 16 canais, registrado na ANVISA sob o número 80969860001. O



equipamento foi configurado da seguinte forma: filtro passa baixa 1 KHz, filtro passa alta 10 Hz e taxa de amostragem de 10.000 pontos. As telas de visualização foram ajustadas para atender as diferentes etapas do estudo, do seguinte modo: estimulação limiar – sensibilidade de 200 microvolts/divisão e varredura 5 milissegundos/divisão; estimulação tetânica – sensibilidade de 1 milivolts/divisão e varredura 500 milissegundos/divisão. A Figura 13 mostra o registro eletromiográfico durante a secção parcial da raiz dorsal L2 direita.

**Figura 13.** Registro eletromiográfico durante a secção da raiz dorsal L2 à direita.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Todas as crianças foram acompanhadas por equipe multidisciplinar (neurocirurgia, neurologia, ortopedia, fisioterapia e terapia ocupacional) e realizaram reabilitação física intensiva após a cirurgia.

### 3.5 Organização dos dados

Para tabulação e organização dos dados utilizamos o software Microsoft Excel 2016 e, para a análise estatística, o software SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) versão 22.

### 3.6 Análise estatística

No estudo dos parâmetros neurofisiológicos aplicamos o teste Kolmogorov-Smirnov para avaliar a distribuição de normalidade dos dados. A análise de comparação entre estas variáveis foi realizada com o teste ANOVA para dados paramétricos e o teste Kruskal-Wallis para dados não paramétricos. Os resultados obtidos foram confirmados por estudo estatístico *Post Hoc* com o teste de Tukey e o teste de Dunn.

Para avaliação dos resultados funcionais utilizamos o teste de Wilcoxon para comparar os valores obtidos nas escalas de Ashworth modificado e GMFM-88 nos momentos pré e pós RDS lombar.

Para todas as análises, adotamos  $p$ -valor  $< 0,05$  como estatisticamente significativo.

## 4 RESULTADOS

Apresentaremos em tabelas e gráficos os resultados encontrados após a análise estatística dos dados da pesquisa, e discutiremos estes achados a partir da literatura. Inicialmente, vamos abordar as características da amostra e discutir os parâmetros neurofisiológicos adotados para a identificação das raízes espinhais, e em seguida, vamos apresentar os resultados funcionais alcançados com a cirurgia.

A amostra do estudo foi composta por 59 crianças, 43 meninos e 16 meninas, com média de idade de  $5,11 \pm 1,7$  anos, variando entre 3 e 9 anos. Todos apresentavam PC grave pela escala GMFCS, sendo 31 crianças com nível 4 e 28 crianças com nível 5. Outras informações estão descritas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Características da amostra de pacientes do estudo. 2020. (n = 59).

	n (%)	Média±DP
<b>Idade (anos)</b>		5,11±1,7
<b>Gênero</b>		
Masculino	43 (72,9)	
Feminino	16 (27,1)	
<b>GMFCS</b>		
Nível 4	31 (52,5)	
Nível 5	28 (47,5)	
<b>Secção da raiz dorsal (%)</b>		
L1		83,9±6,1
L2		84,1±5,6
L3		83,4±6,4
L4		80,2±5,6
L5		83,8±7,1
S1		84,9±5,7
S2		62,5±24,8
<b>Avaliação pós-RDS (meses)</b>		10,3±1,15

DP, desvio padrão.

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Para identificação neurofisiológica das raízes espinhais de L1 a S2, utilizamos a análise do padrão de resposta motora publicada por Lawrence e colaboradores (1991) (LAWRENCE *et al.*, 1991); e acrescentamos outros 3 parâmetros neurofisiológicos, que serão discutidos a seguir, com o objetivo de aumentar nossa confiança nesta etapa do estudo eletromiográfico intra-operatório.

O limiar de estímulo motor, chamaremos EM, reflete a menor intensidade de estímulo elétrico que deve ser aplicado a uma determinada raiz ventral, ou motora, para a obtenção de um potencial muscular de ação composto ou CMAP (*Compound Muscle Action Potential*) em seu respectivo miótomo de inervação. O EM pode ser mensurado em miliampères (mA) ou milivolts (mV).

Observamos que em todas as raízes espinhais ventrais, de L1 a S2, a resposta motora foi evocada com baixa intensidade de estímulo elétrico ( $0,19 \pm 0,03$  mA). Não houve diferença significativa entre os diferentes valores do EM das raízes espinhais ventrais do estudo (teste ANOVA,  $p > 0,05$ ).

O limiar de estímulo sensitivo, chamaremos ES, reflete a intensidade de estímulo elétrico que deve ser aplicado a uma determinada raiz dorsal, ou sensitiva, para a obtenção de uma resposta motora reflexa. O ES pode ser mensurado em miliampères (mA) ou milivolts (mV).

Observamos que em todas as raízes espinhais dorsais, de L1 a S2, a resposta motora reflexa foi evocada com maior intensidade de estímulo elétrico ( $3,30 \pm 0,35$  mA) quando comparado ao EM da respectiva raiz espinhal. Não houve diferença significativa entre os diferentes valores do ES das raízes espinhais dorsais do estudo (teste ANOVA,  $p > 0,05$ ).

A análise comparativa entre os valores de EM e ES para cada raiz espinhal, mostrou diferença significativa entre raízes ventrais e dorsais para todos os níveis radiculares (teste Wilcoxon,  $p < 0,001$ ). Mostrando que os parâmetros neurofisiológicos EM e ES são capazes de diferenciar raízes ventrais, ou motoras, de raízes dorsais, ou sensitivas; e são incapazes de diferenciar o nível segmentar destas raízes (Tabela 2).



**Tabela 2.** Análise de comparação dos dados de intensidade de estímulo das raízes espinhais ventrais e dorsais de pacientes submetidos a RDS lombar. Teresina-Piauí. 2020. (n = 59).

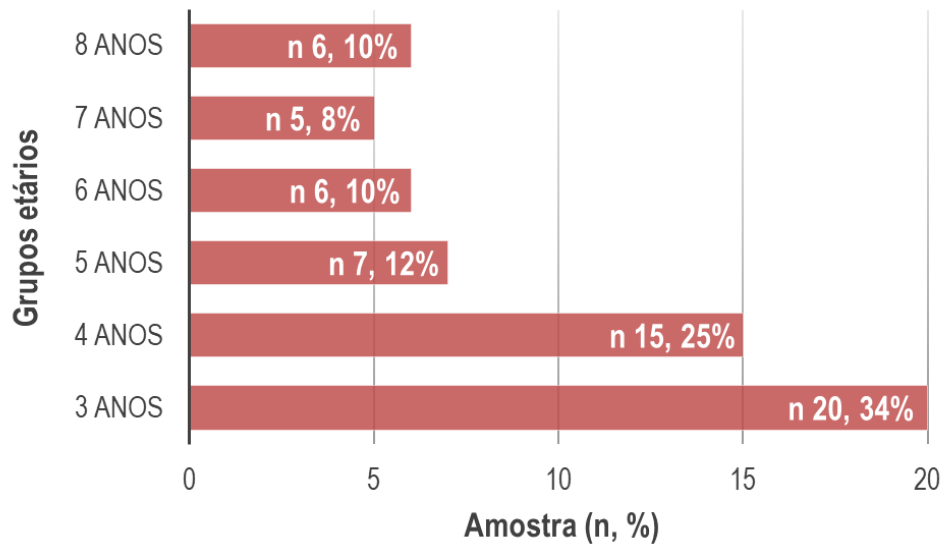
Raízes	Ventral	Dorsal	p-Valor <sup>1</sup>
	Média±DP	Média±DP	
L1	0,21±0,14	2,72±1,92	<0,001
L2	0,22±0,14	3,17±2,37	<0,001
L3	0,21±0,12	3,06±2,00	<0,001
L4	0,21±0,13	3,53±2,23	<0,001
L5	0,16±0,11	3,55±2,36	<0,001
S1	0,18±0,13	3,73±2,57	<0,001
S2	0,15±0,10	3,36±2,43	<0,001

<sup>1</sup>Teste de Wilcoxon; DP, desvio padrão.

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

O terceiro parâmetro neurofisiológico que estudamos foi o tempo de latência da raiz sensitiva, com a finalidade de identificar os diferentes níveis segmentares das raízes espinhais dorsais, ou sensitivas. O tempo de latência da raiz sensitiva, chamaremos LS, reflete o tempo necessário para obtenção de uma resposta motora reflexa quando um estímulo elétrico é aplicado a uma determinada raiz dorsal, ou sensitiva. O LS pode ser mensurado em milésimos de segundos (ms), e seu valor depende do comprimento do circuito nervoso percorrido após o estímulo, por isso, a idade dos pacientes foi utilizada como critério para divisão arbitrária da amostra em 6 grupos etários (3, 4, 5, 6, 7 e 8 anos). Dessa forma, refinamos a análise dos valores do LS, reduzindo interferências impostas por variações de altura entre os pacientes da amostra (Gráfico 1, Tabela 3).

**Gráfico 1.** Divisão da amostra em grupos etários para comparação dos dados de tempo de latência sensitiva entre as diferentes raízes espinhais, de pacientes submetidos a RDS lombar. Teresina-Piauí. 2020. (n = 59).



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

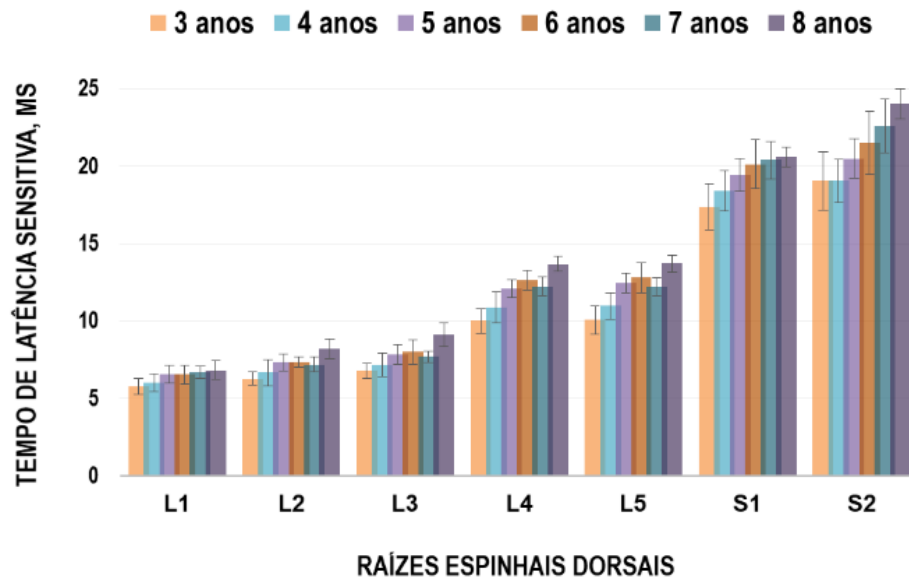
**Tabela 3.** Características dos grupos etários, com seus respectivos percentuais de secção radicular, de pacientes submetidos a cirurgia de RDS lombar. Teresina-Piauí. 2020. (n = 59).

Grupo	N	Gênero		Idade	GMFCS		Percentual de secção da raiz dorsal (%)						
		M	F		Nível 4	Nível 5	L1	L2	L3	L4	L5	S1	S2
3 anos	20	14	6	3,56 ±0,3	7	13	87	87	87	82	87	88	70
4 anos	15	11	4	4,37 ±0,3	10	5	82	81	80	78	80	82	47
5 anos	7	4	3	5,54 ±0,2	3	4	82	84	82	79	83	83	64
6 anos	6	5	1	6,42 ±0,3	4	2	85	85	85	80	85	87	75
7 anos	5	3	2	7,68 ±0,3	5	0	80	80	76	76	80	80	33
8 anos	6	6	0	8,28 ±0,4	2	4	85	85	85	84	85	87	74

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Os valores do LS foram submetidos a análise estatística em dois cenários diferentes: no cenário 1, verificamos se existia diferença nos valores do LS entre as 7 raízes (L1, L2, L3, L4, L5, S1 e S2) para cada grupo etário (3, 4, 5, 6, 7 e 8 anos); e no cenário 2, verificamos se existia diferença nos valores do LS entre os 6 grupos etários (3, 4, 5, 6, 7 e 8 anos) para cada uma das raízes (L1, L2, L3, L4, L5, S1 e S2) (Gráfico 2).

**Gráfico 2.** Análise de comparação dos dados de tempo de latência sensitiva entre as diferentes raízes espinhais, para cada grupo etário de pacientes submetidos a RDS lombar. Teresina-Piauí. 2020. (n = 59).



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

No primeiro cenário os dados apresentaram distribuição não normal no teste Kolmogorov-Smirnov, por isso, utilizamos o teste Kruskal-Wallis para análise de dados não paramétricos, onde observamos diferença significativa no LS entre as diferentes raízes (L1, L2, L3, L4, L5, S1 e S2) para cada grupo etário (3, 4, 5, 6, 7 e 8 anos) (Tabela 4), no entanto, este resultado foi apenas parcialmente confirmado pelo estudo estatístico *Post Roc* com o teste de Dunn (Tabela 5).

**Tabela 4.** Análise de comparação dos dados de tempo de latência sensitiva entre as diferentes raízes espinhais, para cada grupo etário de pacientes submetidos a RDS lombar. Teresina-Piauí. 2020. (n = 59).

Idade	L1	L2	L3	L4	L5	S1	S2	p-Valor <sup>1</sup>
	Média±DP	Média±DP	Média±DP	Média±DP	Média±DP	Média±DP	Média±DP	
3 anos	5,77±0,51	6,28±0,44	6,79±0,50	10,00±0,78	10,06±0,93	17,38±1,48	19,05±1,88	<0,001
4 anos	6,03±0,58	6,67±0,84	7,17±0,76	10,88±0,98	10,99±0,85	18,41±1,30	19,05±1,39	<0,001
5 anos	6,57±0,56	7,33±0,55	7,85±0,64	12,09±0,56	12,45±0,65	19,45±1,05	20,50±1,26	<0,001
6 anos	6,54±0,59	7,37±0,35	8,00±0,80	12,63±0,64	12,80±0,96	20,13±1,58	21,51±2,05	<0,001
7 anos	6,69±0,40	7,19±0,49	7,69±0,39	12,23±0,59	12,23±0,57	20,40±1,22	22,58±1,73	<0,001
8 anos	6,83±0,63	8,22±0,64	9,12±0,74	13,68±0,48	13,73±0,54	20,62±0,63	24,04±0,99	<0,001

<sup>1</sup>Teste de Kruskal-Wallis; DP, desvio padrão.

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Tabela 5.** Análise *Post Roc* de comparação dos dados de tempo de latência sensitiva entre as diferentes raízes espinhais, para cada grupo etário de pacientes submetidos a RDS lombar. Teresina-Piauí. 2020. (n = 59).

	3 anos	4 anos	5 anos	6 anos	7 anos	8 anos
L1	a	a	a	a	a	a
L2	a	a	ab	ab	a	b
L3	a	a	b	b	a	c
L4	b	b	c	c	b	d
L5	b	b	c	c	b	d
S1	c	c	d	d	c	e
S2	d	c	e	d	d	f

<sup>1</sup>Teste de Dunn (*Post Roc*)

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

No segundo cenário também avaliamos a distribuição de normalidade com o teste Kolmogorov-Smirnov, e a maioria dos dados apresentou distribuição normal, exceto aqueles relacionados a raiz L3, que apresentaram distribuição não normal, por isso, utilizamos o teste ANOVA para dados paramétricos, e o teste Kruskal-Wallis para dados não paramétricos. Nestes testes, observamos diferença significativa no LS entre os diferentes grupos etários (3, 4, 5, 6, 7 e 8 anos) para cada uma das raízes (L1, L2, L3, L4, L5, S1 e S2) (Tabela 6). Estes resultados foram parcialmente confirmados pelo estudo estatístico *Post Roc* com o teste de Dunn e o teste de Tukey (Tabela 7).

**Tabela 6.** Análise de comparação dos dados de tempo de latência sensitiva para cada raiz espinhal, entre os diferentes grupos etários de pacientes submetidos a RDS lombar. Teresina-Piauí. 2020. (n = 59).

Raízes	3 anos	4 anos	5 anos	6 anos	7 anos	8 anos	p-Valor <sup>1</sup>
	Média±DP	Média±DP	Média±DP	Média±DP	Média±DP	Média±DP	
L1	5,77±0,51	6,03±0,58	6,57±0,56	6,54±0,59	6,69±0,40	6,83±0,63	<0,001 <sup>1</sup>
L2	6,28±0,44	6,67±0,84	7,33±6,56	7,37±0,35	7,19±0,49	8,22±0,64	<0,001 <sup>1</sup>
L3	6,79±0,50	7,17±0,76	7,85±1,56	8,00±0,80	7,69±0,39	9,12±0,74	<0,001 <sup>2</sup>
L4	10,00±0,78	10,88±0,98	12,09±8,56	12,63±0,64	12,23±0,59	13,68±0,48	<0,001 <sup>1</sup>
L5	10,06±0,93	10,99±0,85	12,45±9,56	12,80±0,96	12,23±0,57	13,73±0,54	<0,001 <sup>1</sup>
S1	17,38±1,48	18,41±1,30	19,45±4,56	20,13±1,58	20,40±1,22	20,62±0,63	<0,001 <sup>1</sup>
S2	19,05±1,88	19,05±1,39	20,50±0,56	21,51±2,05	22,58±1,73	24,04±0,99	<0,001 <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teste ANOVA, <sup>2</sup>Teste de Kruskal-Wallis; DP, desvio padrão.

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Tabela 7.** Análise *Post Roc* de comparação dos dados de tempo de latência sensitiva para cada raiz espinhal, entre os diferentes grupos etários de pacientes submetidos a RDS lombar. Teresina-Piauí. 2020. (n = 59).

Idade	L1 <sup>1</sup>	Idade	L2 <sup>1</sup>	L3 <sup>2</sup>	Idade	L4 <sup>1</sup>	Idade	L5 <sup>1</sup>	Idade	S1 <sup>1</sup>	S2 <sup>1</sup>
3 anos	a	3 anos	a	a	3 anos	a	3 anos	a	3 anos	a	a
4 anos	ab	4 anos	ab	ab	4 anos	b	4 anos	b	4 anos	ab	a
5 anos	bc	5 anos	bc	ab	5 anos	c	5 anos	c	5 anos	bc	ab
6 anos	bc	6 anos	bc	ab	6 anos	c	6 anos	c	6 anos	d	bc
7 anos	c	7 anos	c	c	7 anos	c	7 anos	c	7 anos	d	cd
8 anos	c	8 anos	d	d	8 anos	d	8 anos	d	8 anos	d	d

<sup>1</sup>Teste de Tukey (*Post Roc*), <sup>2</sup>Teste de Dunn (*Post Roc*).

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Para avaliação dos resultados funcionais alcançados com a cirurgia, analisamos os valores das escalas de Ashworth modificado e GMFM-88, dos momentos pré RDS e cerca de 10 meses após a RDS.

Observamos significativa redução nos valores da escala de Asworth modificado entre os momentos pré e pós RDS (teste de Wilcoxon,  $p < 0,001$ ) em todos os movimentos articulares estudados (flexão e adução do quadril, flexão e extensão do joelho, flexão plantar e flexão do hálux). Refletindo uma significativa redução da espasticidade dos membros inferiores após 10 meses da cirurgia (Tabela 8).

**Tabela 8.** Análise de comparação dos dados da escala de Ashworth modificado para avaliação da espasticidade de pacientes submetidos a RDS lombar. Teresina-Piauí. 2020. (n = 59).

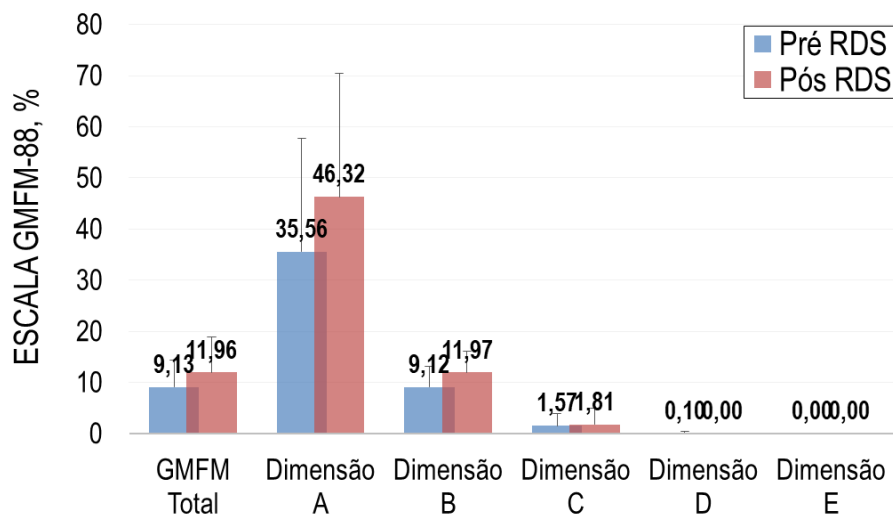
Movimento	Pré RDS	Pós RDS	$p$ -Valor <sup>1</sup>
	Média±DP	Média±DP	
Flexão do quadril	1,37±0,69	0±0	<0,001
Adução do quadril	2,29±0,63	0,35±1,12	<0,001
Extensão do joelho	1,21±0,79	0,21±0,72	<0,001
Flexão do joelho	1,71±0,72	0±0	<0,001
Flexão plantar	2,83±0,39	0±0	<0,001
Flexão do hálux	1,11±0,87	0±0	<0,001

<sup>1</sup>Teste de Wilcoxon; DP, desvio padrão.

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Também observamos importante melhora da função motora grossa destas crianças, demonstrada por aumento de 2,83% nos valores do GMFM-88 total entre os momentos pré e pós RDS (teste de Wilcoxon,  $p < 0,05$ ). Como esperado, esta melhora aconteceu na dimensão A (aumento de 10,76%; teste de Wilcoxon,  $p < 0,05$ ) e na dimensão B (aumento de 2,85%; teste de Wilcoxon,  $p < 0,05$ ). Estas dimensões representam as funções motoras grossas relacionadas ao tronco, estando parcialmente comprometidas em crianças tetraparéticas com PC espástica grave, e por isso, são passíveis de melhora clínica quando a RDS lombar é realizada nestas crianças (Gráfico 3).

**Gráfico 3.** Análise de comparação dos dados da escala GMFM-88 para avaliação da função motora grossa de pacientes submetidos a RDS lombar. Teresina-Piauí. 2020. (n = 59).



<sup>1</sup>Teste de Wilcoxon; DP, desvio padrão.

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

## 5 DISCUSSÃO

O sucesso da técnica de RDS lombar com acesso cirúrgico no cone medular, depende da correta identificação das raízes espinhais cirurgicamente expostas na cauda equina. Nossa equipe, utilizou o estudo eletromiográfico intra-operatório para identificar estas raízes de acordo com diferenças existentes nos parâmetros neurofisiológicos entre raízes dorsais e ventrais. Neste sentido, tomamos como referência o estudo dos parâmetros neurofisiológicos das raízes espinhais lombares e sacrais realizado por Lawrence e colaboradores (1991) em pacientes submetidos a RDS lombar com acesso cirúrgico no cone medular para tratamento da espasticidade dos membros inferiores (LAWRENCE *et al.*, 1991). Uma importante descoberta destes autores, foi a existência de um padrão de inervação muscular multi-radicular para os membros inferiores; até então, a maioria dos gráficos anatômicos indicavam uma única raiz, ou no máximo, 2 raízes espinhais ventrais para um determinado músculo. Os autores encontraram um padrão de inervação de 3 a 4 raízes espinhais ventrais para um determinado músculo, e utilizaram estes achados para mapear o padrão de resposta muscular obtido para cada raiz espinhal ventral da cauda equina, exceto L1, durante o estudo eletromiográfico intra-operatório. Utilizamos este mapeamento do padrão de resposta muscular, como um dos critérios de identificação das raízes espinhais durante nosso estudo eletromiográfico intra-operatório. No entanto, estes mesmos autores observaram significativa ocorrência de inervação muscular anômala nos membros inferiores, em cerca de 30% dos pacientes, e sugeriram cautela na interpretação dos resultados.

Realizamos a RDS lombar com acesso cirúrgico no cone medular através de laminotomia, e posterior laminoplastia, da vértebra L1. Assim, realizamos estudo eletromiográfico intra-operatório das raízes espinhais de L1 a S2. Utilizamos o mapeamento do padrão de resposta muscular proposto por Lawrence e colaboradores (1991), como um importante parâmetro neurofisiológico para identificação destas raízes espinhais, com ressalva em relação a frequente ocorrência de inervação muscular anômala nos membros inferiores (LAWRENCE *et al.*, 1991). Com o objetivo de aumentar nossa confiança nesta etapa do estudo eletromiográfico intra-operatório, acrescentamos outros 3 parâmetros neurofisiológicos. Destes, observamos que os parâmetros EM e ES são capazes de diferenciar raízes ventrais, ou motoras, de raízes

dorsais, ou sensitivas; e são incapazes de diferenciar o nível segmentar destas raízes. Sendo úteis na etapa inicial da identificação de raízes espinhais (Tabela 2).

O terceiro parâmetro neurofisiológico que estudamos foi o LS, com a finalidade de identificar os diferentes níveis segmentares das raízes espinhais dorsais, ou sensitivas. Nesta análise, consideramos a influência de interferências impostas por variações de altura entre os pacientes da amostra (Gráfico 1, Tabela 3). E apesar de não conseguirmos mostrar diferenças significativas no LS em todos os grupos etários (3, 4, 5, 6, 7 e 8 anos) e as diferentes raízes espinhais (L1, L2, L3, L4, L5, S1 e S2), observamos que algumas raízes, de alguns grupos etários, apresentam valores de LS específicos que podem ser utilizados para sua identificação neurofisiológica (Tabelas 4 a 7). Nesse aspecto, é possível que o pequeno tamanho da amostra dos grupos etários tenha influenciado na significância da análise estatística.

Desse modo, preferimos utilizar em associação os diversos parâmetros neurofisiológicos já discutidos (padrão de resposta motora, EM, ES e LS) para aumentar nossa confiança na etapa de identificação de raízes espinhais do estudo eletromiográfico intra-operatório.

Consideramos que os resultados funcionais alcançados pela RDS lombar dependem da correta execução da técnica cirúrgica, incluindo o processo de identificação neurofisiológica das raízes espinhais. Desse modo, observamos melhora significativa nas duas escalas de avaliação funcional que analisamos, Ashworth modificado e GMFM-88 (Tabela 8).

Percebemos que o relaxamento muscular documentado nos membros inferiores pela escala de Ashworth modificado, resultou em melhora funcional significativa nas dimensões A e B da escala GMFM-88, que estão associadas as funções motoras grossas do tronco, como: deitar, rolar e sentar (Gráfico 3). Este efeito funcional benéfico da RDS lombar sobre segmentos espinhais torácicos, e até mesmo, cervicais, também foi documentado por outros autores (LOEWEN *et al.*, 1998; GIGANTE *et al.*, 2013). Em um destes estudos, a RDS lombar apresentou superior redução da espasticidade dos membros superiores e inferiores quando comparada ao uso de baclofeno intratecal (D'AQUINO *et al.*, 2018). Ainda não estão esclarecidos os mecanismos pelos quais ocorre este relaxamento dos membros superiores, mas acredita-se que esteja relacionado a ação de interneurônios sobre vias ascendentes da medula espinhal (STEINBOK, 2001).



Crianças com PC grave apresentam maior incidência de escoliose. Um estudo de coorte que acompanhou 962 crianças com PC durante 20 anos, encontrou 75% de incidência de escoliose nos pacientes com GMFCS nível 5 (Hägglund *et al.*, 2018). Muquit e colaboradores (2016), demonstraram que o baclofeno intratecal, em dose ideal, foi incapaz de reduzir a espasticidade e evitar a piora progressiva da escoliose tóraco-lombar em um paciente com PC espástica (MUQUIT *et al.*, 2016). Este paciente foi submetido em um mesmo tempo cirúrgico a RDS lombar e a correção da escoliose, com melhora significativa da espasticidade após a RDS lombar.

Alguns estudos realizados em crianças com PC espástica grave, mostraram que a RDS lombar também está associada a redução da quantidade de cirurgias ortopédicas para correção de alterações músculo-esqueléticas, como: encurtamentos músculo-ligamentares e luxação de quadril (HICDONMEZ *et al.*, 2005; O'BRIEN *et al.*, 2004). Além disso, foi observado que a RDS lombar promove redução da dor, facilita os cuidados diários e melhora a qualidade de vida destas crianças (BULIZER *et al.*, 2017).

Assim, acreditamos que a RDS lombar é uma opção terapêutica válida para pacientes com PC espástica grave, com GMFCS níveis 4 e 5, cujo objetivo terapêutico não está associado a melhora da marcha, como acontece em pacientes com GMFCS níveis 2 e 3, mas visa reduzir a espasticidade difusa, melhorar a dor e prevenir deformidades espinhais, e outras alterações músculo-esqueléticas; resultando em maior conforto na execução dos cuidados diários e melhora da qualidade de vida destas crianças.

Observamos algumas limitações para interpretação dos nossos resultados, como: amostra reduzida para avaliação do LS das raízes espinhais dorsais; intervalo curto para avaliação funcional pós-operatória; e a necessidade de outras medidas funcionais, sobretudo na avaliação dos membros superiores.

Contudo, é o primeiro estudo que avalia o LS das raízes espinhais dorsais nos diferentes grupos etários, e discute sua utilização como parâmetro neurofisiológico para identificação de raízes espinhais durante a RDS lombar com acesso cirúrgico no cone medular. Além disso, apresentamos resultados funcionais que reforçam os resultados de publicações anteriores sobre a eficácia clínica desta cirurgia em crianças com PC espástica grave.

Acreditamos que estudos prospectivos com acompanhamento de longo prazo, realizados em um maior número de pacientes, serão úteis para dimensionar o impacto da RDS lombar em crianças com PC espástica grave.

## 6 CONCLUSÃO

A associação de parâmetros neurofisiológicos permitiu a identificação segura das raízes espinhais durante o estudo eletromiográfico intra-operatório.

A RDS lombar promoveu relaxamento muscular nos membros inferiores, com melhora significativa de funções motoras grossas em crianças com PC espástica grave.

## REFERÊNCIAS

- ABBOT, R. Complications with selective posterior rhizotomy. **J. Pediatr Neurosurg.** n. 18, pp. 43-47, 1992.
- ABBOTT, R.; DELETIS, V.; SPIELHOLZ, N. I.; WISOFF, J. H.; EPSTEIN, F. E. Selective posterior rhizotomy, pitfalls in monitoring. In **“Concepts of pediatric neurosurgery”**, pp. 187–95, 1990.
- ABBOTT, R.; JOHANN-MURPHY, M.; SHIMINSKI-MAHER, T.; ET AL. Selective dorsal rhizotomy: outcome and complications in treating spastic cerebral palsy. **Neurosurgery**, v. 33, n. 5, pp. 851–57, 1993.
- AIRES, M. M. **Fisiologia. 3.** Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.
- ANCEL, P. Y.; LIVINEC, F.; LARROQUE, B.; MARRET, S.; ARNAUD, C.; PIERRAT, V. Cerebral palsy among very preterm children in relation to gestational age and neonatal ultrasound abnormalities: the EPIPAGE cohort study. **Pediatrics**, v. 117, n. 3, pp. 828-35, 2006.
- ANDERSEN, G. L.; IRGENS, L. M.; HAAGAAS, I.; SKRANES, J. S.; MEBERG, A. E.; VIK, T. Cerebral palsy in Norway: prevalence, subtypes and severity. **Eur J Paediatr Neurol**; v. 12, n. 1, p. 4-13, 2008.
- ARENS, L. J.; MOLTENO, C. D. A comparative study of postnatally-acquired cerebral palsy in Cape Town. **Dev Med Child Neurol**, v. 31, n. 2, p. 246-54, 1989.
- AQUILINA K, GRAHAM D, WIMALASUNDERA N. Selective dorsal rhizotomy: an old treatment re-emerging. **Arch Dis Child.** 2015; 100(8):798-802
- ASHWORTH, B. Preliminary trial of carisoprodal in multiple sclerosis. **Practitioner** n. 192, pp. 540-42, 1964.
- BECK, A. J.; GASKILL, S. J.; MARLIN, A. E. Improvement in upper extremity function and trunk control after selective posterior rhizotomy. **Am J Occup Ther.** v. 47, n. 8, pp. 704–707, 1993.
- BERKER, N.; YALÇIN, M. S. Cerebral palsy: orthopedic aspects and rehabilitation. **Pediatric Clinics of North America**, n. 55, pp.1209–1225, 2008.
- BERNE, R. M.; LEVY, M. N.; KOEPPEN, B. M.; STANTON, B. A. **Fisiologia. 5.** Rio de Janeiro: Mosby, 2004.
- BLUMENFELD, H. Neuroanatomy through clinical cases. 2. **Sunderland: Sinauer Associates**, 2002.
- BOHANNON, R. W.; SMITH, M. B. Interrater reliability of a modified Ashworth scale of muscle spasticity. **Phys Ther**, v. 67, n. 2, pp. 206-207, 1987.

BUCKON, C. E.; SIENKO-THOMAS, S.; AIONA, M. D.; PIATT, J. H. Assessment of upper-extremity function in children with spastic diplegia before and after selective dorsal rhizotomy. **Dev Med Child Neurol**, v. 38, n. 11, pp. 967–975, 1996.

BUIZER AI, VAN SCHIE PEM, BOLSTER EAM, ET AL. Effect of selective dorsal rhizotomy on daily care and comfort in non-walking children and adolescents with severe spasticity. **Eur J Paediatr Neurol**. 2017; 21(2):350-357.

COLE GF, FARMER SE, ROBERTS A, STEWART C, PATRICK JH. Selective dorsal rhizotomy for children with cerebral palsy: the Oswestry experience. **Arch Dis Child**. 2007; 92(9):781–785.

D'AQUINO, D.; MOUSSA, A. A.; AMMAR, A.; INGALE, H.; VLOEBERGHES, 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.**, n. 4, pp. 811-821, 2018.

DUDLEY RW, PAROLIN M, GAGNON B, ET AL. Long-term functional benefits of selective dorsal rhizotomy for spastic cerebral palsy. **J Neurosurg Pediatr**. 2013; 12(2):142-150.

ENSLIN, J.; LANGERAK, N.; FIEGGEN, A. The evolution of selective dorsal rhizotomy for the management of spasticity. **Neurotherapeutics**. n. 16, pp. 3-8, 2019.

FARMER J. P.; SABBAGH, A. J. Selective dorsal rhizotomies in the treatment of spasticity related to cerebral palsy. **Childs Nerv Syst**., v. 9, pp. 991-1002, 2007.

FARMER J. P.; DUDLEY, R. D. R.; PAROLIN, M.; GAGNON, B.; SALUJA, R.; YAP, R.; MONTPETIT, K.; RUCK, J.; POULIN, C.; CANTIN, M. A.; BENARROCH, T. E. Long-term functional benefits of selective dorsal rhizotomy for spastic cerebral palsy. **J Neurosurg. Pediatrics**, v. 12, pp. 142–150, 2013.

FASANO, V. A.; BAROLAT-ROMANAG; IVALDI, A.; SGUAZZI, A. Functional posterior radiculotomy, in the treatment of cerebral spasticity peroperative electric stimulation of posterior roots and its use in the choice of the roots to be sectioned. **Neurochirurgie**, v. 22, n. 1, pp. 23–34, 1976.

FERNANDEZ M, LEJUS C, RIVAULT O, ET AL. Single-breath vital capacity rapid inhalation induction with sevoflurane: feasibility in children. **Pediatr Anaesth**. 2005; 15(4):307-313.

FUNK, J. F.; HABERL, H. Monosegmental laminoplasty for selective dorsal rhizotomy–operative technique and influence on the development of scoliosis in ambulatory children with cerebral palsy. **Childs Nerv Syst**; v. 32, n. 5, pp. 819 – 825, 2016.

GEORGOULIS, G.; BRÎNZEU, A.; SINDOU, M. Dorsal rhizotomy for children with spastic diplegia of cerebral palsy origin: usefulness of intraoperative monitoring. **J Neurosurg Pediatr**. v. 22, pp. 89-101, 2018.

GIGANTE P, MCDOWELL MM, BRUCE SS, ET AL. Reduction in upper-extremity tone after lumbar selective dorsal rhizotomy in children with spastic cerebral palsy. **J Neurosurg Pediatr.** 2013; 12(6):588-594

GOLAN, J. D.; HALL, J. A.; O'GORMAN, G.; POULIN, C.; BENAROCH, T. E.; CANTIN, M. A.; FARMER, J. P. Spinal deformities following selective dorsal rhizotomy. **Journal of Neurosurgery: Pediatrics**, v. 106, pp. 441–449, 2007.

GRACIES, J. M. Evaluation de la spasticité. Apport de l'échelle de Tardieu. **Motricité Cérébrale**, v. 22, pp. 1-16, 2001.

GUL, S. M.; STEINBOK, P.; MCLEOD, K. Long-term outcome after selective posterior rhizotomy in children with spastic cerebral palsy. **Pediatr Neurosurg**, v. 31, n. 2, pp. 84–95, 1999.

HÄGGLUND G, PETTERSSON K, CZUBA T, PERSSON-BUNKE M, ROUBY-BOUSQUET E. Incidence of scoliosis in cerebral palsy. **Acta Orthop.** 2018;89(4):443-447.

HAYS, R. M.; MCLAUGHLIN, J. F.; GEIDUSCHEK, J. M.; BJORNSON, K. F.; GRAUBERT, C. S. Evaluation of the effects of selective dorsal rhizotomy. **Ment Retard Dev Disabil Res Rev.** v. 3, n. 2, pp. 168-174, 1997.

HICDONMEZ T, STEINBOK P, BEAUCHAMP R, SAWATZKY B. Hip joint subluxation after selective dorsal rhizotomy for spastic cerebral palsy. **J Neurosurg.** 2005; 103(1 Suppl):10-16.

HEINEN, F.; MOLENAERS, G.; FAIRHURST, C.; CARR, L. J.; DESLOOVERE, K.; CHALEAT, V. E. European consensus table 2006 on botulinum toxin for children with cerebral palsy. **Eur J Paediatr Neurol.** v. 10, n. 5-6, pp. 215-25, 2006.

JOZEFczyk, P. B. The management of focal spasticity. **Clin Neuropharmacol.** v. 25, n. 3, pp. 158-173, 2002.

KANDEL, E. R.; SCHWARTZ, J. H.; JESSELL, T. M. **Principles of neural science.** 4. New York: McGraw-Hill, 2000.

LAWRENCE H, PHILLIPS LH, PARK TS. Electrophysiologic mapping of the segmental anatomy of the muscles of the lower extremity. **Muscle Nerve.** 1991; 14(12):1213-1218.

LENT, R. **Cem bilhões de neurônios: conceitos fundamentais de neurociência.** 2. São Paulo: Atheneu, 2010a.

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):191-198.

LUNDY-EKMAN, L. **Neurociências: fundamentos para reabilitação.** 3. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

MAYER, R.; MOSSER, R. Excitability of motoneurons in infants. **Neurology**, v. 19, pp. 932–945, 1969.

MITTAL, S.; FARMER, J. P.; AL-ATASSI, B. Long-term functional outcome after selective posterior rhizotomy. **J Neurosurg**, v. 97, n. 2, pp. 315–325, 2002.

MUQUIT S, AMMAR A, NASTO L, MOUSSA AA, MEHDIAN H, VLOEBERGHES MH. Combined selective dorsal rhizotomy and scoliosis correction procedure in patients with cerebral palsy. **Eur Spine J**. 2016; 25(2):372-376.

MYKLEBUST, B. M.; GOTTLIEB, G. L.; PENN, R. D.; AGARWAL, G. C. Reciprocal excitation of antagonistic muscles as a differentiating feature in spasticity. **Annals of Neurology**, v. 12, pp. 367–374, 1982.

NHS England [Internet]. R: Selective dorsal rhizotomy (SDR) for the treatment of spasticity in cerebral palsy (children aged 3-9 years). **England: National Institute for Health and Care Excellence**; 2019. Available from: <https://www.england.nhs.uk/wp-content/uploads>.

NOVAK, I.; MCINTYRE, S.; MORGAN, C.; CAMPBELL, L.; DARK, L.; MORTON, N.; STUMBLES, E.; WILSON, S. A.; GOLDSMITH, S. A systematic review of interventions for children with cerebral palsy: state of the evidence. **Dev Med Child Neurol**. v. 55, n. 10, pp. 885-910, 2013.

O'BRIEN DF, PARK TS, PUGLISI JA, COLLINS DR, LEUTHARDT EC. Effect of selective dorsal rhizotomy on need for orthopedic surgery for spastic quadriplegic cerebral palsy: long-term outcome analysis in relation to age. **J Neurosurg**. 2004; 101(1 Suppl):59-63.

OSKOUI, M.; COUTINHO, F.; DYKEMAN, J.; JETTE, N.; PRINGSHEIM, T. An update on the prevalence of cerebral palsy: a systematic review and meta-analysis. **Dev Med Child Neurol**, v. 55, n. 6, pp. 509-519, 2013.

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. **Dev Med Child Neurol**, v. 39, n. 4, pp. 214-223, 1997.

PARK, T. S.; OWEN, J. H. Surgical management of spastic diplegia in cerebral palsy. **N Engl J Med**. n. 326, pp. 745-749, 1992.

PARK, T. S.; JOHNSTON, J. M. Surgical techniques of selective dorsal rhizotomy for spastic cerebral palsy. Technical note. **Neurosurg Focus**, v. 21, n. 2, 2006.

PARK, T. S.; EDWARDS, C.; LIU, J. L.; WALTER, D. M.; DOBBS, M. B. Beneficial effects of childhood selective dorsal rhizotomy in adulthood. **Cureus**, v. 3, pp. 1077, 2017.

PEACOCK, W. J.; STAUDT, L. A. Functional outcomes following selective dorsal rhizotomy in children with cerebral palsy. **J Neurosurg**. n. 74, pp. 380-385, 1991.

PHILLIPS, L. H.; PARK, T. S. Electrophysiologic studies of selective posterior rhizotomy patients. **Management of spasticity in cerebral palsy and spinal cord injury**. Philadelphia: Hanley & Belfus, v. 4, pp. 459–470, 1989.

PRIVAT, J.; BENEZECH, J.; FREREBEAU, P.; GROS, C. Sectorial posterior rhizotomy, a new technique of surgical treatment for spasticity. **Acta neurochirurgica**, v. 35, pp. 181–195, 1976.

PURVES, D.; AUGUSTINE, G. J.; FITZPATRICK, D.; HALL, W. C.; LAMANTIA, A.; MCNAMARA, J. O. **Neurociencia**. Madrid: Medica panamericana, 2008.

ROSENBAUM, P.; STEWART, D. The World Health Organization International Classification of Functioning, Disability, and Health: a model to guide clinical thinking, practice and research in the field of cerebral palsy. **Semin Pediatr Neurol**. v. 11, n. 1, pp. 5-10, 2004.

ROSENBAUM, P.; PANETH, N.; LEVITON, A.; GOLDSTEIN, M.; BAX, M.; DAMIANO, D. A report: the definition and classification of cerebral palsy. **Dev Med Child Neurol**, n. 109, p. 8-14, 2007.

SINDOU, M.; GEORGOULIS, G. Keyhole interlaminar dorsal rhizotomy for spastic diplegia in cerebral palsy. **Acta neurochirurgica**, v. 157, pp. 1187–1196, 2015.

SMYTH, M. D.; PEACOCK, W. J. The surgical treatment of spasticity. **Muscle & Nerve**, v. 23, pp. 153–163, 2000.

STAUDT, L. A.; NUWER, M. R.; PEACOCK, W. J. Intraoperative monitoring during selective posterior rhizotomy: technique and patient outcome. **Clin. Neurophysiol.**, v. pp. 296–309, 1995.

STEINBOK, P.; LANGILL, L.; COCHRANE, D. D. Observations on electrical stimulation of lumbosacral nerve roots in children with and without lower limb spasticity. **Childs Nerv Syst**. v. 8, pp. 376-382, 1992.

STEINBOK, P.; HICDONMEZ, T.; SAWATZKY, B.; BEAUCHAMP, R.; WICKENHEISER, D. Spinal deformities after selective dorsal rhizotomy for spastic cerebral palsy. **Journal of Neurosurgery: Pediatrics**, v. 102, pp. 363–373, 2005.

STEINBOK, P. Selective dorsal rhizotomy for spastic cerebral palsy: a review. **Childs Nerv Syst.**, v. 23, pp. 981–990, 2007.

STEINBOK, P.; OU, C.; KENT, S.; MILLER, S. Selective dorsal rhizotomy in children: comparison of outcomes after single-level versus multi-level laminectomy technique. **Can J Neurosci Nurs.**, v. 32, pp. 17–24, 2010.

STRAUSS, D.; SHAVELLE, R.; REYNOLDS, R.; ROSENBLOOM, L.; DAY, S. Survival in cerebral palsy in the last 20 years: signs of improvement? **Dev Med Child Neurol**, v. 49, n. 2, pp. 86-92, 2007.



STRAUS, S.; HAYNES, R. B. Managing evidence-based knowledge: the need for reliable, relevant and readable resources. **CMAJ**, v. 180, pp: 942–945, 2009.

SUMMERS J, COKER B, EDDY S, ET AL. Selective dorsal rhizotomy in ambulant children with cerebral palsy: an observational cohort study. **Lancet Child Adolesc Health**. 2019; 3(7):455-462.

SURVEILLANCE OF CEREBRAL PALSY IN EUROPE (SCPE). Surveillance of cerebral palsy in Europe: a collaboration of cerebral palsy surveys and registers. **Dev Med Child Neurol**, v. 42, n. 12, p. 816-824, 2000.

TAN, T. C.; BLACK, P. M. The contributions of Otfried Foerster (1873-1941) to Neurology and Neurosurgery. **Neurosurgery**, v. 5, p. 1231–1236, 2001.

TILTON, A. H. Approach to the rehabilitation of spasticity and neuromuscular disorders in children. **Neurol Clin**, v. 21, n. 4, p. 853-881, 2003.

TURI, M.; KALEN, V. The risk of spinal deformity after selective dorsal rhizotomy. **Journal of Pediatric Orthopaedics**, v. 20, pp 104, 2000.

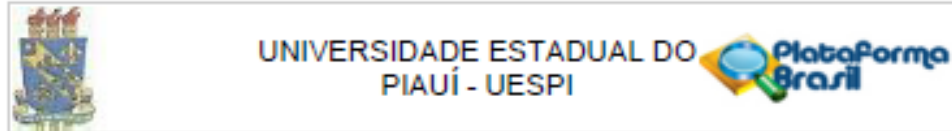
TURNER RP. Neurophysiologic intraoperative monitoring during selective dorsal rhizotomy. **J Clin Neurophysiol**. 2009; 26(2):82-84.

VAN DE WIELE, B. M.; STAUDT, L. A.; RUBINSTIEN, E. H.; PEACOCK, W. J. Perioperative complications in children undergoing selective posterior rhizotomy: a review of 105 cases. **Paediatr Anaesth**, v. 6, n. 6, pp. 479–486, 1996.

WESTBOM, L.; HÄGGLUND, G.; LUNDKVIST, A.; NORDMARK, E.; STRÖMBLAD, L. G. New treatment methods for spasticity and dystonia in children with cerebral palsy dictate multidisciplinary teamwork. Comprehensive approach yields good results. **Lakartidningen**, v. 100, pp. 125-130, 2003.

WRIGHT, F. V.; SHEIL, E. M.; DRAKE, J. M.; WEDGE, J. H.; NAUMANN, S. Evaluation of selective dorsal rhizotomy for the reduction of spasticity in cerebral palsy: a randomized controlled trial. **Dev Med Child Neurol**, v. 40, n. 4, pp. 239–247, 1998.

## ANEXO 1 – APROVAÇÃO DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA



### PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

#### DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

**Título da Pesquisa:** ANÁLISE NEUROFUNCIONAL DOS EFEITOS DA RIZOTOMIA DORSAL SELETIVA, E OUTROS TRATAMENTOS MULTIDISCIPLINARES, NO CONTROLE DA ESPASTICIDADE DE ADULTOS E CRIANÇAS COM DOENÇA NEUROLÓGICA CRÔNICA

**Pesquisador:** Leonardo Raphael Santos Rodrigues

**Área Temática:**

**Versão:** 3

**CAAE:** 16815019.7.0000.5209

**Instituição Proponente:** Universidade Estadual do Piauí - UESPI

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

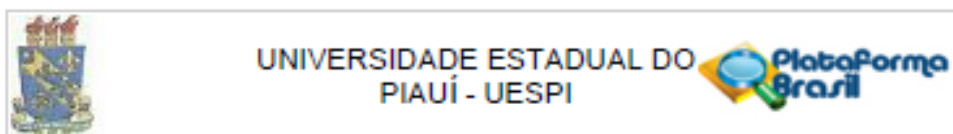
#### DADOS DO PARECER

**Número do Parecer:** 3.815.025

#### Apresentação do Projeto:

Estudo observacional, longitudinal, descritivo com abordagem quantitativa e qualitativa, com mensuração por métodos avallativos validados no Brasil, e com coleta de dados nos momentos pré – tratamento e pós – tratamento, este último, aos 6, 12 e 60 meses. Será realizado em um Centro Estadual de Reabilitação Física. Serão incluídos paciente em acompanhamento regular com equipe multidisciplinar no Centro de Reabilitação, que tenham idade superior a 1 ano e inferior a 60 anos, de ambos os sexos, que apresentem diagnóstico de espasticidade secundária as seguintes doenças neurológicas crônicas: AVC, TCE, LM, PC e Microcefalia, além de indicação de iniciar protocolo de tratamento para espasticidade e que forneçam consentimento informado para inclusão neste estudo (seleção de 200 participantes). Serão excluídos pacientes que apresentem doenças orgânicas graves (cardiopatias, pneumopatias, deformidades esqueléticas, crises epiléticas refratárias, etc.), que apresentem doenças neuromusculares (miastenias, polineuropatias hereditárias, miopatias genéticas, distrofias musculares, etc.) e os que não aceitem participar deste estudo. A coleta de dados acontecerá nos momentos pré – tratamento e pós – tratamento, este último, aos 6, 12 e 60 meses; será realizada por equipe multiprofissional, individualizada para cada paciente, e utilizará métodos avallativos validados no Brasil ( classificação de gravidade

Endereço: Rua Clevo Bliac, 2335  
 Bairro: Centro/Sul CEP: 64.001-280  
 UF: PI Município: TERESINA  
 Telefone: (86)3221-8858 Fax: (86)3221-4749 E-mail: comitedeeticuespi@hotmail.com



Continuação do Parecer: 3.015.025

Outros	instrumento_de_coleta_de_dados.pdf	02/07/2019 22:53:16	LUCAS LEVY ALVES DE MORAES	Acerto
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	tcle_responsavel_legal.pdf	02/07/2019 22:51:56	LUCAS LEVY ALVES DE MORAES	Acerto
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	tcle_paciente.pdf	02/07/2019 22:51:41	LUCAS LEVY ALVES DE MORAES	Acerto
Folha de Rosto	folha_de_rosto.pdf	11/02/2019 19:07:12	LUCAS LEVY ALVES DE MORAES	Acerto
Declaração de Instituição e Infraestrutura	termo_de_anuencia.pdf	11/02/2019 19:07:05	LUCAS LEVY ALVES DE MORAES	Acerto
Outros	termo_de_consentimento_da_instituicao.pdf	01/02/2019 23:20:20	LUCAS LEVY ALVES DE MORAES	Acerto
Outros	curriculo_jattes_jeonardo_raphael_santos_rodrigues.pdf	01/02/2019 23:13:08	LUCAS LEVY ALVES DE MORAES	Acerto
Outros	toud.pdf	01/02/2019 23:07:01	LUCAS LEVY ALVES DE MORAES	Acerto
Orçamento	orcamento.pdf	01/02/2019 23:04:06	LUCAS LEVY ALVES DE MORAES	Acerto

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

TERESINA, 29 de Janeiro de 2020

Assinado por:  
LUCIANA SARAIVA E SILVA  
(Coordenador(a))

Endereço: Rua Cláudio Siqueira, 2335  
Bairro: Centro/Sul CEP: 64.001-280  
UF: PI Município: TERESINA  
Telefone: (86)3221-6658 Fax: (86)3221-4749 E-mail: comitedeeticapespi@hotmail.com

## ANEXO 2 – COMPROVANTE DE SUBMISSÃO DE ARTIGO CIENTÍFICO

**Jornal de Pediatria**  
**Selective dorsal rhizotomy in children with severe spastic cerebral palsy -  
 neurophysiological technique and functional results**  
 --Manuscript Draft--

<b>Manuscript Number:</b>	
<b>Article Type:</b>	Original article
<b>Keywords:</b>	Cerebral palsy; Spasticity; Selective dorsal rhizotomy; Neurophysiological monitoring
<b>Corresponding Author:</b>	JOSIONE REGO FERREIRA Universidade Estadual do Piauí: Universidade Estadual do Piauí TERESINA, PI BRAZIL
<b>First Author:</b>	JOSIONE REGO FERREIRA
<b>Order of Authors:</b>	JOSIONE REGO FERREIRA
<b>Abstract:</b>	<p><b>Introduction and Objectives</b></p> <p>A large number of scientific publications advocate the use of selective dorsal rhizotomy (SDR) to treat spasticity in children with cerebral palsy (CP). However, there are divergent opinions on many aspects of this treatment, such as: its use in children with severe CP; the adoption of a surgical technique with extensive laminectomy or with laminectomy restricted to the medullary cone; and the utility of intraoperative electromyographic study. In this work, we discuss the neurophysiological parameters that we adopted to identify the spinal roots exposed in the cauda equina of 59 children with severe CP submitted to lumbar SDR with surgical access to the medullary cone, and we present the functional results achieved with the surgery.</p> <p><b>Methods</b></p> <p>In the period of 5 years, 97 children diagnosed with CP were submitted to lumbar SDR by a single neurosurgeon from our team. Of these, 59 children with severe CP, aged between 3 and 9 years, submitted to lumbar SDR with surgical access to the medullary cone, and with the aid of intraoperative electromyographic study, were included for study. In this work, we discuss the neurophysiological parameters used to identify the spinal roots exposed in the cauda equina. The patients were followed up by a multidisciplinary team and underwent intensive physical rehabilitation after surgery. Functional results were measured using the modified Ashworth and GMFM-88 scales 10 months after surgery.</p> <p><b>Results and Discussion</b></p> <p>We observed that the neurophysiological parameters related to the stimulation intensity of the spinal root, whether ventral or dorsal, are able to differentiate ventral, or motor, roots from dorsal or sensitive roots, without discriminatory capacity on the segmental level of each spinal root; while the latency time of the dorsal root, or sensitive, showed specific values only for some dorsal roots of some age groups. Thus, we preferred to use several neurophysiological parameters in association, to increase our confidence in the stage of identification of spinal roots of the intraoperative electromyographic study. In the functional evaluation, we observed that the muscle relaxation documented in the lower limbs by the modified Ashworth scale, resulted in significant functional improvement in dimensions A and B of the GMFM-88 scale, which are associated with the thick motor functions of the trunk, such as: lying down, rolling and to sit.</p> <p><b>Conclusions</b></p> <p>The association of neurophysiological parameters allowed the safe identification of spinal roots during the intraoperative electromyographic study. Lumbar SDR promoted muscle relaxation in the lower limbs, with significant improvement in gross motor functions in children with severe spastic CP. We believe that prospective studies with long-term follow-up, performed in a larger number of patients, will be useful to measure the impact of lumbar SDR in children with severe spastic CP.</p>

22/09/2020

Gmail - Confirming submission to Jornal de Pediatria



JOSIONE REGO FERREIRA &lt;josioneregoferreira@gmail.com&gt;

**Confirming submission to Jornal de Pediatria**

1 mensagem

**Jornal de Pediatria** <em@editorialmanager.com>

17 de setembro de 2020 17:57

Responder a: Jornal de Pediatria &lt;assessoria@jped.com.br&gt;

Para: JOSIONE REGO FERREIRA &lt;josioneregoferreira@gmail.com&gt;

\*This is an automated message.\*

Selective dorsal rhizotomy in children with severe spastic cerebral palsy - neurophysiological technique and functional results

Dear Mr. REGO FERREIRA,

We have received the above referenced manuscript you submitted to Jornal de Pediatria.

To track the status of your manuscript, please log in as an author at <https://www.editorialmanager.com/jpediatria/>, and navigate to the "Submissions Being Processed" folder.

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,  
Jornal de Pediatria

More information and support

You will find information relevant for you as an author on Elsevier's Author Hub: <https://www.elsevier.com/authors>

FAQ: How can I reset a forgotten password?

[https://service.elsevier.com/app/answers/detail/a\\_id/28452/supporthub/publishing/](https://service.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/28452/supporthub/publishing/)For further assistance, please visit our customer service site: <https://service.elsevier.com/app/home/supporthub/publishing/>

Here you can search for solutions on a range of topics, find answers to frequently asked questions, and learn more about Editorial Manager via interactive tutorials. You can also talk 24/7 to our customer support team by phone and 24/7 by live chat and email

In compliance with data protection regulations, you may request that we remove your personal registration details at any time. (Use the following URL: <https://www.editorialmanager.com/jpediatria/login.asp?a=r>). Please contact the publication office if you have any questions.

## ANEXO 3 – ARTIGO CIENTÍFICO

# Selective dorsal rhizotomy in children with severe spastic cerebral palsy - neurophysiological technique and functional results

Josione Rêgo Ferreira<sup>3</sup>, Francisco José Alencar<sup>1,2,3</sup>, Leylane A. M. Rilzer Lopes<sup>1</sup>, Clara Linda C. L. Alencar<sup>2</sup>, Leonardo Raphael S. Rodrigues<sup>1,3</sup>, Ana Patrícia C. P. Rodrigues<sup>1</sup>, Samara Raquel de Sousa<sup>1</sup>, Antonio Luís M. Maia Filho<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Integrated Rehabilitation Center (Centro Integrado de Reabilitação – CEIR), Teresina, Brazil.

<sup>2</sup>Neurosurgery Department, Children's Hospital Lucídio Portela (Departamento de Neurocirurgia, Hospital Infantil Lucídio Portela), Teresina, Brazil.

<sup>3</sup>Biotechnology Center, State University of Piauí (Núcleo de Biotecnologia, Universidade Estadual do Piauí), Teresina, Brazil.

### ABSTRACT

**Introduction and Objectives** A large number of scientific publications advocate the use of selective dorsal rhizotomy (SDR) to treat spasticity in children with cerebral palsy (CP). However, there are divergent opinions on many aspects of this treatment, such as: its use in children with severe CP; the adoption of a surgical technique with extensive laminectomy or with laminectomy restricted to the medullary cone; and the utility of intraoperative electromyographic study. In this work, we discuss the neurophysiological parameters that we adopted to identify the spinal roots exposed in the cauda equina of 59 children with severe CP submitted to lumbar SDR with surgical access to the medullary cone, and we present the functional results achieved with the surgery.

**Methods:** In the period of 5 years, 97 children diagnosed with CP were submitted to lumbar SDR by a single neurosurgeon from our team. Of these, 59 children with severe CP, aged between 3 and 9 years, submitted to lumbar SDR with surgical access to the medullary cone, and with the aid of intraoperative electromyographic study, were included for study. In this work, we discuss the neurophysiological parameters used to identify the spinal roots exposed in the cauda equina. The patients were followed up by a multidisciplinary team and underwent intensive physical rehabilitation after surgery. Functional results were measured using the modified Ashworth and GMFM-88 scales 10 months after surgery.

**Results and Discussion:** We observed that the neurophysiological parameters related to the stimulation intensity of the spinal root, whether ventral or dorsal, are able to differentiate ventral, or motor, roots from dorsal or sensitive roots, without discriminatory capacity on the segmental level of each spinal root; while the latency time of the dorsal root, or sensitive, showed specific values only for some dorsal roots of some age groups. Thus, we preferred to use several neurophysiological parameters in association, to increase our confidence in the stage of identification of spinal roots of the intraoperative electromyographic study. In the functional evaluation, we observed that the muscle relaxation documented in the lower limbs by the modified Ashworth scale, resulted in significant functional improvement in dimensions A and B of the GMFM-88 scale, which are associated with the thick motor functions of the trunk, such as: lying down, rolling and to sit.

**Conclusions:** The association of neurophysiological parameters allowed the safe identification of spinal roots during the intraoperative electromyographic study. Lumbar SDR promoted muscle relaxation in the lower limbs, with significant improvement in gross motor functions in children with severe spastic CP. We believe that prospective studies with long-term follow-up, performed in a larger number of patients, will be useful to measure the impact of lumbar SDR in children with severe spastic CP.

**Key-words:** Cerebral palsy, Spasticity, Selective dorsal rhizotomy, Neurophysiological monitoring.

## INTRODUCTION

Children with severe cerebral palsy (CP) often have spastic tetraparesis, in addition to changes in language, cognition, visual and auditory sensory perceptions, among other neurological disorders. They are unable to perform the gait, being classified on levels 4 or 5 of the gross motor function classification scale called Gross Motor Function Classification System (GMFCS).<sup>1,2</sup>

Spasticity is a common motor abnormality for these children, being responsible for the appearance of muscle-ligament shortening, joint deformities and structural changes in the spine.<sup>3,4</sup> Therefore, they need interventions that promote muscle relaxation, in order to improve positioning, facilitate daily care, control pain and slow down the progression of musculoskeletal deformities. Therapeutic options include medications such as oral baclofen and botulinum toxin, which need to be used in high doses and can cause significant adverse effects.<sup>5</sup> The best results are associated with the use of intrathecal baclofen and the performance of selective dorsal rhizotomy (SDR). Both interventions have proven to be effective in reducing spasticity and improving patient's comfort. However, the use of intrathecal baclofen has the following disadvantages: high risk of complications; high cost of treatment; and need for frequent visits to the hospital to make adjustments to the equipment.<sup>6,7</sup> In addition, recent publications support the choice of SDR in the treatment of these patients. A study carried out in children with severe CP reported a greater reduction in spasticity and greater functional gain with lumbar SDR when compared to the use of intrathecal baclofen.<sup>8</sup>

Lumbar SDR is a surgical procedure that allows partial sectioning of lumbar and sacral spinal roots, with consequent muscle relaxation by reducing the peripheral sensory stimulation conducted to the spinal cord by these dysfunctional roots. For this, it is necessary to perform an intraoperative electromyographic study of the surgically exposed spinal roots, with two main objectives: first, to identify the segmental level of each root; and then quantify the changes in excitability of the dorsal spinal roots.<sup>9</sup>

In the last decades, this surgery has been established as the best choice for the treatment of lower limb spasticity in walking children with mild to moderate CP, when the objective is to improve the walking of these children.<sup>7,10</sup> A multicenter study conducted in England by Peacock and colleagues<sup>11</sup>, confirmed the results of previous studies on the benefit of this treatment for the walking of children with mild to moderate CP. The results served as a basis for the implementation of a public policy of offering this surgery by the National Health Service of England for children walking with CP, with levels 2 or 3 on the GMFCS scale, and aged from 3 to 9 years.<sup>12</sup> In the surgical technique developed by these authors, lumbar SDR is performed through laminotomy of the L2 to L5 vertebrae with laminectomy of the S1 and S2 vertebrae, with identification of the spinal roots through direct visualization in their respective spinal foramina. Therefore, in this surgical technique, the intraoperative electromyographic study is more important in the step of quantifying changes in the excitability of the dorsal spinal roots.<sup>13</sup> Unfortunately, some studies have associated this SDR technique with an increased incidence of spinal deformities.<sup>14,15,16</sup>

In 1991, Park and Jonhston<sup>17</sup> reintroduced lumbar SDR with surgical access at the level of the medullary cone. In this technique, the authors perform laminectomy of the L1 or L2 vertebrae, to access the spinal roots of the cauda equina. And they use the intraoperative electromyographic study to identify the segmental level of each root, through differences existing in the neurophysiological parameters of these delicate roots. These authors also improved the process of quantifying changes in the excitability of the dorsal spinal roots, proposing a classification scale for the reflex motor response that facilitated decision making during surgery.<sup>18</sup> In this less invasive surgical approach, the incidence of spinal deformities was comparable to the natural history of children with spastic CP who received only outpatient care.<sup>19</sup>

Our team has been performing this surgery for 9 years on children with CP, walking or not. We practice surgical technique with access to the medullary cone, and we use the resources of the intraoperative electromyographic study. The children are accompanied by a multidisciplinary team (neurosurgery, neurology, orthopedics, physiotherapy and occupational therapy) and undergo intensive physical rehabilitation after surgery.



This study was conducted to investigate the effectiveness of lumbar SDR in children with severe CP. In it, we also discuss the neurophysiological parameters adopted for the identification of spinal roots surgically exposed in the cauda equina.

## MATERIALS AND METHODS

From March 2015 to March 2020, 97 children diagnosed with CP were submitted to lumbar SDR by a single neurosurgeon from our team. Of these, 59 children with severe CP, aged between 3 and 9 years, were included for study.

### Patients

The sample consisted of 59 children, 43 boys and 16 girls, with a mean age of  $5.11 \pm 1.7$  years. All had severe CP on the GMFCS scale, with 31 children with level 4 and 28 children with level 5. Other information is described in Table 1.

The legal guardians of the patients provided free and informed consent, and the research protocol was approved by the Research Ethics Committee from the State University of Piauí.

**Table 1** Characteristics of the sample of patients undergoing lumbar SDR over a period of 5 years. 2020. (n = 59).

	n (%)	Mean $\pm$ SD
<b>Age (years)</b>		5,11 $\pm$ 1,7
<b>Gender</b>		
Male	43 (72,9)	
Female	16 (27,1)	
<b>GMFCS scale</b>		
level 4	31 (52,5)	
level 5	28 (47,5)	
<b>Dorsal root section (%)</b>		
L1		83,9 $\pm$ 6,1
L2		84,1 $\pm$ 5,6
L3		83,4 $\pm$ 6,4
L4		80,2 $\pm$ 5,6
L5		83,8 $\pm$ 7,1
S1		84,9 $\pm$ 5,7
S2		62,5 $\pm$ 24,8
<b>Follow-up (months)</b>		10,3 $\pm$ 1,15

SD, standard deviation.

### Preoperative evaluation

The functional evaluation was performed in the pre- and postoperative moments by an experienced team, composed of physical therapists and occupational therapists. They used a standardized technique for clinical quantification of spasticity using the modified Ashworth scale<sup>20</sup>, and for the classification and measurement of motor function using the GMFCS and GMFM – 88 scales (Gross Motor Function Measure).<sup>1</sup>

Spasticity was evaluated clinically by the rapid extension or passive flexion of the patients' lower limbs, feeling and grading the muscular resistance offered. The modified Ashworth scale is the most used for this purpose, assuming 6 possibilities of response in your muscular endurance rating.<sup>20</sup>

The GMFCS scale (Gross Motor Function Classification System) is an ordinal measure of five levels that establishes, in decreasing order, the level of independence and functionality of these children. The patients in this study were classified as GMFCS level 4 (child with limited mobility and frequent use of a wheelchair) and level 5 (child without walking and unable to sit independently).<sup>1</sup>



The GMFM-88 (Gross Motor Function Measure) is an instrument developed specifically to measure and monitor gross motor function in children with CP over time. In it, 88 items are evaluated, equally weighted and grouped into 5 dimensions, namely: A, lying and rolling; B, sitting; C, crawling and kneeling; D, standing; and E, walking, running and jumping. The scores for each dimension are expressed as a percentage of the maximum score to be achieved for that dimension. The total score of the scale is obtained by averaging the percentage scores of the 5 dimensions. The patients in this study were unable to perform the gait, which is why they were better evaluated by dimensions A and B of this scale.<sup>1</sup>

### **Anesthetic procedure**

All procedures were performed under general anesthesia with sevoflurane inhalation anesthetic, whose anesthetic maintenance dose was controlled according to variations in blood pressure and heart rate in relation to the patient's baseline values.<sup>21</sup> When necessary, succinylcholine was used as a short-acting neuromuscular blocker, to avoid the use of long-acting muscle relaxants that could interfere with the performance of the intraoperative electromyographic study. The patients were positioned in prone position, on a thermal blanket regulated to maintain body temperature between 36 and 37 ° C during the entire surgical procedure.

### **Surgical procedure**

In the surgical approach, the vertebral level was determined by preoperative study with magnetic resonance imaging of the lumbar spine or with the use of intraoperative ultrasound to locate the medullary cone, and was marked on the spine with the aid of an X-ray examination, immediately before beginning of surgery. In the skin, a surgical incision of about 4 centimeters in length was made, and then there was the dissection of soft tissues, to be performed the laminotomy of the L1 vertebra, whose bone fragment containing blades and spinous process was stored in sterile gauze moistened with saline solution for subsequent laminoplasty. The dura mater underwent a median incision of approximately 2 centimeters, the edges of which were sutured to the skin to prevent its migration during the procedure, so the arachnoid membrane was opened to expose the cauda equina, where each spinal root was submitted to electromyographic study, in order to provide fundamental information for following the surgical procedure, such as: the identification of dorsal and ventral spinal roots; and the quantification of changes in the excitability of the dorsal spinal roots. Only the spinal root L1 could also be identified anatomically, following its path from the spinal cord to the respective vertebral foramen. From L1 to S2, the dorsal roots were identified, and then, separated into 4 to 6 radicles, being sectioned in specific percentages according to the criteria established by the team. The dura mater was closed with impermeable suture and the use of biological glue. Laminoplasty was performed to replace the bone fragment of the vertebra. The soft tissues were closed by layers and the incision was covered with a pressure dressing.

### **Neurophysiological procedure**

In the anesthetized patient, a sterile technique was used to insert pairs of disposable needle electrodes, called G1 and G2, into specific muscles innervated by spinal roots of surgical interest, as follows: iliac muscle for L1 root; magnus adductor muscle for L2-3 roots; vast medial muscle for L3-4 roots; anterior tibial muscle for L4-5 roots; medial gastrocnemius muscle for roots L5-S1; adductor hallucis muscle to root S2; and external anal sphincter muscle for S2-3 roots. Thus, the electromyographic record was composed of 7 channels in each hemibody, covering all the spinal roots of the lumbar and sacral segments of the spinal cord.

The intraoperative electromyographic protocol was based on the neurophysiological study originally described by Fasano and collaborators<sup>22</sup> and modified by Park and collaborators<sup>18,23</sup>, consisting of two stages: electromyography stimulated at 1 Hertz or threshold stimulation; and electromyography

stimulated at 50 Hertz or tetanus stimulation. Electrical stimulation was performed with a 0.5 cm bipolar probe between the poles. In each test, at least three consecutive stimuli were performed to observe consistency between muscle responses before proceeding with the interpretation of the information.

In threshold stimulation, each spinal root received direct current electrical stimuli, with a square wave pulse, duration of 0.1 millisecond, frequency of 1 Hertz and the intensity necessary to obtain a threshold reflex muscle response, usually between 0.1 to 10 milliamps. In this stage, the neurophysiological identification of all spinal roots exposed in the cauda equina was carried out, according to differences existing in the neurophysiological parameters between dorsal and ventral roots; being possible to inform the function, sensitive or motor; and the innervation territory of each tested root. For this, we used the following neurophysiological parameters: motor response pattern, motor stimulation intensity, sensory root stimulation intensity and the latency time of the sensory root. To analyze the motor response pattern, we used the criteria published by Lawrence and collaborators.<sup>23</sup> The other neurophysiological parameters were added in order to increase our confidence in this stage of the electromyographic study. In this work, we will discuss the usefulness of the parameters we have adopted for the neurophysiological identification of spinal roots.

In the tetanic stimulation stage, each dorsal root was dissected into 4 to 6 radicles, which were tested separately with direct current electrical stimuli, in square wave trains, with duration of 1 millisecond and frequency of 50 Hertz, with the intensity of stimulus found to the respective root in the previous test. We classify the intensity of the reflex motor response of the dorsal radicles according to the classification scale proposed by Philips and Park<sup>18</sup>, as follows: grade 0 - when there was no reflex motor response; grade 1 - when there was a reflex motor response only at the segmental level corresponding to stimulation; grade 2 - when there was a reflex motor response at the segmental level corresponding to stimulation, with the propagation of this response to the adjacent segmental level; grade 3 - when there was a reflex motor response in the entire lower limb ipsilateral to stimulation; and grade 4 when there was a reflex motor response in both lower limbs.

The clinical presentation of the reflex motor response was observed and palpated by a physiotherapist, paying particular attention to contractions in muscle groups other than those monitored by the clinical neurophysiologist. The choice of dorsal radicles for surgical section was based on three principles: the electromyographic response; the behavioral response recorded by the physiotherapist; and the clinical and functional objectives that were established for the patient in the preoperative multidisciplinary evaluation. In general, the dorsal roots that showed responses were not submitted to section: grade 0, grade 1 and grade 2. While the dorsal roots with grade 3 and grade 4 responses, they were sectioned from 62% to 84% of their transverse area, varying according to the segmental level of each root.

### **Postoperative physical rehabilitation**

It was carried out in a multidisciplinary environment, composed of physiotherapists and occupational therapists, with an intensive physical rehabilitation protocol based on learning and motor recovery; seeking the child's motivation and engagement in tasks oriented towards specific motor goals.

It started on the second postoperative day, when the child's caregiver received general guidelines, such as: child's movement; performing hygiene and positioning care, and using orthoses. During the first week, training was conducted to relearn previously performed motor activities, such as rolling and dragging; and guidance on the use of daily parapods at home. From the second week, specific techniques were performed, such as: functional electrostimulation associated with assisted active exercise and function; pilates adapted to neurofunctionality; treadmill training with partial weight support; sensory integration; restriction and movement induction training; bimanual training; neuroevolutionary method Bobath; features of the Therasuit method; and quality movement training.<sup>24</sup>

### **Statistical analysis**

In the study of neurophysiological parameters, we applied the Kolmogorov-Smirnov test to assess the distribution of normality. The comparison analysis between these variables was performed with the ANOVA test for parametric data and the Kruskal-Wallis test for nonparametric data. The results were confirmed by statistical study Post Roc with the test of Tukey and the test of Dunn.

To evaluate the functional results, we used the Wilcoxon test to compare the values obtained on the modified Ashworth and GMFM-88 scales in the pre and post lumbar SDR moments.

For all analyzes, we adopted a p-value <0.05 as statistically significant.

## Results

For neurophysiological identification of the roots from L1 to S2, we used the analysis of the motor response pattern published by Lawrence and collaborators<sup>23</sup>; and we added 3 other neurophysiological parameters in order to increase our confidence in this stage of the intraoperative electromyographic study.

The threshold of motor stimulus, we will call MS, reflects the lower intensity of electrical stimulus that must be applied to a given ventral or motor root, in order to obtain a Compound Muscle Action Potential or CMAP in its respective innervation myotome. The MS can be measured in milliamps (mA) or millivolts (mV).

We observed that in all ventral spinal roots, from L1 to S2, the motor response was evoked with low intensity of electrical stimulus ( $0.19 \pm 0.03$  mA). There was no significant difference between the different values of MS of the study's ventral spinal roots (ANOVA test,  $p > 0.05$ ).

The threshold of sensitive stimulus, we will call SS, reflects the intensity of electrical stimulus that must be applied to a specific dorsal, or sensitive root, to obtain a reflex motor response. The SS can be measured in milliamps (mA) or millivolts (mV).

We observed that in all dorsal spinal roots, from L1 to S2, the reflex motor response was evoked with a greater intensity of electrical stimulus ( $3.30 \pm 0.35$  mA) when compared to the MS of the respective spinal root. There was no significant difference between the different values of SS in the dorsal spinal roots of the study (ANOVA test,  $p > 0.05$ ).

The comparative analysis between the values of MS and SS for each spinal root, showed a significant difference between ventral and dorsal roots for all root levels (Wilcoxon test,  $p < 0.001$ ). Showing that the neurophysiological parameters MS and SS are able to differentiate ventral, or motor, roots from dorsal, or sensitive roots; and are unable to differentiate the segmental level of these roots (Table 2).

**Table 2** Analysis of comparison of data on the intensity of stimulation of the ventral and dorsal spinal roots of patients undergoing lumbar SDR over a period of 5 years. 2020. (n = 59).

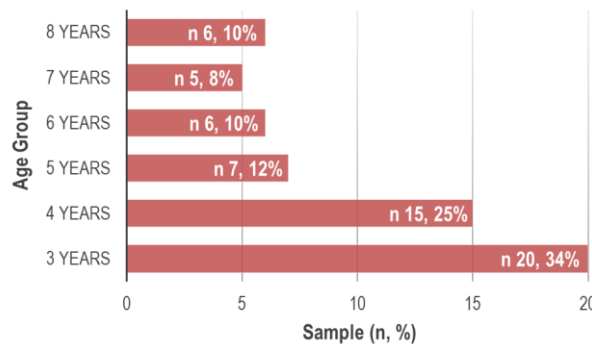
Roots	Ventral	Dorsal	p-Value <sup>1</sup>
	Mean±SD	Mean±SD	
L1	0,21±0,14	2,72±1,92	<0,001
L2	0,22±0,14	3,17±2,37	<0,001
L3	0,21±0,12	3,06±2,00	<0,001
L4	0,21±0,13	3,53±2,23	<0,001
L5	0,16±0,11	3,55±2,36	<0,001
S1	0,18±0,13	3,73±2,57	<0,001
S2	0,15±0,10	3,36±2,43	<0,001

<sup>1</sup>Wilcoxon test, SD, standard deviation.

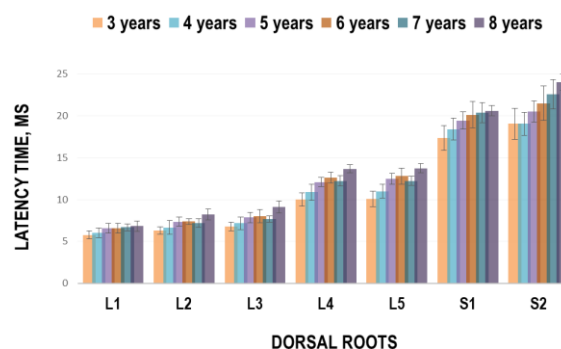
The third neurophysiological parameter that we studied was the latency time of the sensory root, in order to identify the different segmental levels of the dorsal spinal roots, or sensory. The latency time of the sensitive root, we will call LS, reflects the time needed to obtain a reflex motor response when an electrical stimulus is applied to a specific dorsal, or sensitive, root. The LS can be measured in milliseconds (ms), and its value depends on the length of the nervous circuit covered by the stimulus, therefore, the age of the patients was used as a criterion for arbitrary division of the sample into 6 age groups (3, 4, 5, 6, 7 and 8 years old). Then, we refined the analysis of the LS values, reducing interference imposed by height variations among the patients in the sample (Figure 1).

The LS values were subjected to statistical analysis in two different scenarios: in scenario 1, we verified whether there was a difference in the LS values between the 7 roots (L1, L2, L3, L4, L5, S1 and S2) for each age group (3, 4, 5, 6, 7 and 8 years old); and in scenario 2, we verified whether there was a difference in the LS values between the 6 age groups (3, 4, 5, 6, 7 and 8 years old) for each of the roots (L1, L2, L3, L4, L5, S1 and S2) (Figure 2).

**Figure 1** Division of the sample into age groups to compare data on time of sensitive latency between the different spinal roots of patients undergoing lumbar SDR over a period of 5 years. 2020. (n = 59).



**Figure 2** Comparison analysis of the time of sensitive latency between the different spinal roots, in each group of patients submitted to lumbar RDS in the period of 5 years. 2020. (n = 59).



In the first scenario, the data showed a non-normal distribution in the Kolmogorov-Smirnov test, so we used the Kruskal-Wallis test to analyze nonparametric data, where we observed a significant difference in the LS between the different roots (L1, L2, L3, L4, L5, S1 and S2) for each age group (3, 4, 5, 6, 7 and 8 years old) (Table 3), however, this result was only partially confirmed by the Post Roc statistical study with Dunn test (Table 4).

In the second scenario, we also evaluated the normality distribution with the Kolmogorov-Smirnov test, and most of the data showed normal distribution, except for those related to the L3 root, which showed non-normal distribution, so we used the ANOVA test for parametric data, and the Kruskal-Wallis

test for non-parametric data. In these tests, we observed a significant difference in LS between the different age groups (3, 4, 5, 6, 7 and 8 years old) for each of the roots (L1, L2, L3, L4, L5, S1 and S2) (Table 5). These results were partially confirmed by the Post Roc statistical study with the Dunn test and the Tukey test (Table 6).

**Table 4** Post Roc analysis of data comparison of time of sensory latency between the different roots, for each age group of patients submitted to lumbar SDR in the period of 5 years. 2020. (n = 59).

	3 years	4 years	5 years	6 years	7 years	8 years
L1	a	a	a	a	a	a
L2	a	a	ab	ab	a	b
L3	a	a	b	b	a	c
L4	b	b	c	c	b	d
L5	b	b	c	c	b	d
S1	c	c	d	d	c	e
S2	d	c	e	d	d	f

<sup>1</sup>Dunn test (*Post Roc*)

To evaluate the functional results achieved with the surgery, we analyzed the values of the modified Ashworth and GMFM-88 scales, from the pre-SDR moments and about 10 months after the SDR.

We observed a significant reduction in the values of the modified Asworth scale between the pre and post SDR moments (Wilcoxon test,  $p < 0.001$ ) in all joint movements studied (hip flexion and adduction, knee flexion and extension, plantar flexion and flexion of the hallux). Reflecting a significant reduction in lower limb spasticity 10 months after surgery (Table 7).

We also observed an important improvement in the gross motor function of these children, demonstrated by an increase of 2.83% in the values of the total GMFM-88 between the pre and post SDR moments (Wilcoxon test,  $p < 0.05$ ). As expected, this improvement occurred in dimension A (10.76% increase; Wilcoxon test,  $p < 0.05$ ) and in dimension B (2.85% increase; Wilcoxon test,  $p < 0.05$ ). These dimensions represent the gross motor functions related to the trunk, being partially impaired in tetraparetic children with severe spastic CP, and therefore, are liable to clinical improvement when lumbar SDR is performed in these children (Figure 3).

## DISCUSSION

The success of the lumbar SDR technique with surgical access to the medullary cone depends on the correct identification of the surgically exposed spinal roots in the cauda equina. Our team used the intraoperative electromyographic study to identify these roots according to differences in neurophysiological parameters between dorsal and ventral roots. In this sense, we took as a reference the study of neurophysiological parameters of lumbar and sacral spinal roots carried out by Lawrence and collaborators<sup>23</sup>, in patients undergoing lumbar RDS with surgical access to the medullary cone to treat lower limb spasticity.

An important finding in the study by Lawrence and colleagues<sup>23</sup>, was the existence of a multiradicular muscle innervation pattern for the lower limbs; until then, most anatomical graphs indicated a single root, or at most, 2 ventral spinal roots for a given muscle. The authors found an innervation pattern of 3 to 4 ventral spinal roots for a given muscle. And they used the muscle innervation patterns found to map the muscle response pattern obtained for each ventral spinal root of the cauda equina, except L1, during the intraoperative electromyographic study. We used this mapping of the muscle response pattern as one of the criteria for identifying spinal roots during our intraoperative electromyographic study. However, such authors observed a significant occurrence of anomalous muscle innervation in the lower limbs, in about 30% of the patients, and suggested caution when interpreting the results.

**Table 3** Comparison analysis of the time of sensory latency between the different roots, for each age group of patients submitted to lumbar SDR in the period of 5 years. 2020. (n = 59).

Age	L1	L2	L3	L4	L5	S1	S2	p-Value <sup>1</sup>
	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	
3 years	5,77±0,51	6,28±0,44	6,79±0,50	10,00±0,78	10,06±0,93	17,38±1,48	19,05±1,88	<0,001
4 years	6,03±0,58	6,67±0,84	7,17±0,76	10,88±0,98	10,99±0,85	18,41±1,30	19,05±1,39	<0,001
5 years	6,57±0,56	7,33±0,55	7,85±0,64	12,09±0,56	12,45±0,65	19,45±1,05	20,50±1,26	<0,001
6 years	6,54±0,59	7,37±0,35	8,00±0,80	12,63±0,64	12,80±0,96	20,13±1,58	21,51±2,05	<0,001
7 years	6,69±0,40	7,19±0,49	7,69±0,39	12,23±0,59	12,23±0,57	20,40±1,22	22,58±1,73	<0,001
8 years	6,83±0,63	8,22±0,64	9,12±0,74	13,68±0,48	13,73±0,54	20,62±0,63	24,04±0,99	<0,001

<sup>1</sup>Kruskal-Wallis test; SD, standard deviation.

**Table 5** Analysis of comparison of the sensitive latency time data for each root, between the different age groups of patients submitted to lumbar SDR in the period of 5 years. 2020. (n = 59).

Roots	3 years	4 years	5 years	6 years	7 years	8 years	p-Value <sup>1</sup>
	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	
L1	5,77±0,51	6,03±058	6,57±0,56	6,54±0,59	6,69±0,40	6,83±0,63	<0,001 <sup>1</sup>
L2	6,28±0,44	6,67±084	7,33±6,56	7,37±0,35	7,19±0,49	8,22±0,64	<0,001 <sup>1</sup>
L3	6,79±0,50	7,17±076	7,85±1,56	8,00±0,80	7,69±0,39	9,12±0,74	<0,001 <sup>2</sup>
L4	10,00±0,78	10,88±098	12,09±8,56	12,63±0,64	12,23±0,59	13,68±0,48	<0,001 <sup>1</sup>
L5	10,06±0,93	10,99±085	12,45±9,56	12,80±0,96	12,23±0,57	13,73±0,54	<0,001 <sup>1</sup>
S1	17,38±1,48	18,41±130	19,45±4,56	20,13±1,58	20,40±1,22	20,62±0,63	<0,001 <sup>1</sup>
S2	19,05±1,88	19,05±139	20,50±0,56	21,51±2,05	22,58±1,73	24,04±0,99	<0,001 <sup>1</sup>

<sup>1</sup>ANOVA test, <sup>2</sup>Kruskal-Wallis test, SD, standard deviation.

**Table 6** Post Roc analysis of data comparison of sensory latency time for each root, between the different age groups of patients submitted to lumbar SDR in the period of 5 years. 2020. (n = 59).

Age	L1 <sup>1</sup>	Age	L2 <sup>1</sup>	L3 <sup>2</sup>	Age	L4 <sup>1</sup>	Age	L5 <sup>1</sup>	Age	S1 <sup>1</sup>	S2 <sup>1</sup>
3 years	a	3 years	a	a	3 years	a	3 years	a	3 years	a	a
4 years	ab	4 years	ab	ab	4 years	b	4 years	b	4 years	ab	a
5 years	bc	5 years	bc	ab	5 years	c	5 years	c	5 years	bc	ab
6 years	bc	6 years	bc	ab	6 years	c	6 years	c	6 years	d	bc
7 years	c	7 years	c	c	7 years	c	7 years	c	7 years	d	cd
8 years	c	8 years	d	d	8 years	d	8 years	d	8 years	d	d

<sup>1</sup>Tukey test (*Post Roc*), <sup>2</sup>Dunn test (*Post Roc*)

We performed lumbar SDR with surgical access to the medullary cone through laminotomy, and later laminoplasty, of the L1 vertebra. Thus, we performed an intraoperative electromyographic study of the spinal roots from L1 to S2. We used the mapping of the muscular response pattern proposed by Lawrence and collaborators<sup>23</sup>, as an important neurophysiological parameter for the identification of these spinal roots, with reservations regarding the frequent occurrence of anomalous muscle innervation in the lower limbs. In order to increase our confidence in this stage of the intraoperative electromyographic study, we added 3 other neurophysiological parameters. Of these, we observed that the parameters MS and SS are able to differentiate ventral, or motor, roots from dorsal, or sensitive roots; and are unable to differentiate the segmental level of these roots. Being useful in the initial stage of identifying spinal roots.

**Table 7** Comparison analysis of data from the modified Ashworth scale to assess the spasticity of patients undergoing lumbar SDR over a period of 5 years. 2020. (n = 59).

Movement	pre SDR	post SDR	p-Value <sup>1</sup>
	Mean±SD	Mean±SD	
Hip flexion	1,37±0,69	0±0	<0,001
Hip aducction	2,29±0,63	0,35±1,12	<0,001
Knee extension	1,21±0,79	0,21±0,72	<0,001
Knee flexion	1,71±0,72	0±0	<0,001
Plantar flexion	2,83±0,39	0±0	<0,001
Hálux flexion	1,11±0,87	0±0	<0,001

<sup>1</sup>Wilcoxon test, SD, standard deviation.

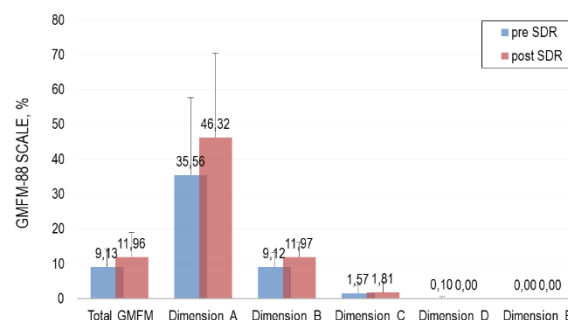
The third neurophysiological parameter that we studied was the LS, in order to identify the different segmental levels of the dorsal, or sensitive, spinal roots. In this analysis, we consider the influence of interferences imposed by variations in height among the patients in the sample. And although we are unable to show significant differences in LS in all age groups (3, 4, 5, 6, 7 and 8 years old) and the different spinal roots (L1, L2, L3, L4, L5, S1 and S2), we observed that some roots of some age groups have specific LS values, which can be used for their neurophysiological identification. Finally, it is possible that the small sample size of the age groups has influenced the significance of the statistical analysis.

Thus, we preferred to use in association the various neurophysiological parameters already discussed (motor response pattern, MS, SS and LS) to increase our confidence in the stage of identification of spinal roots of the intraoperative electromyographic study.

We believe that the functional results achieved by lumbar SDR depend on the correct execution of the surgical technique, including the process of neurophysiological identification of the spinal roots. Then, we observed a significant improvement in the two functional assessment scales we analyzed, modified Ashworth and GMFM-88.

We noticed that the muscular relaxation documented in the lower limbs by the modified Ashworth scale, resulted in significant functional improvement in dimensions A and B of the GMFM-88 scale, which are associated with the thick motor functions of the trunk, such as: lying down, rolling and sitting. This beneficial functional effect of lumbar SDR on thoracic, and even cervical, spinal segments has also been documented by other authors.<sup>25,26</sup> In one of these studies, lumbar SDR showed a greater reduction in spasticity of the upper and lower limbs when compared to the use of intrathecal baclofen.<sup>8</sup> The mechanisms by which this upper limb relaxation occurs are still unclear, but it is believed to be related to the action of interneurons on ascending spinal cord pathways.<sup>27</sup>

**Figure 3** Analysis of comparison of data from the GMFM-88 scale to assess gross motor function of patients undergoing lumbar SDR over a 5-year period. 2020. (n = 59).



Children with severe CP have a higher incidence of scoliosis. A cohort study, that followed 962 children with CP for 20 years, found a 75% incidence of scoliosis in patients with GMFCS level 5.<sup>4</sup> Muquit and collaborators<sup>28</sup> demonstrated that intrathecal baclofen, at an ideal dose, was unable to reduce spasticity and prevent the progressive worsening of thoraco-lumbar scoliosis in a patient with spastic CP. This patient underwent lumbar SDR and scoliosis correction at the same surgical time, with a significant improvement in spasticity after lumbar SDR.

Some studies carried out in children with severe spastic CP have shown that lumbar SDR is also associated with a reduction in the number of orthopedic surgeries to correct musculoskeletal disorders, such as: muscle-ligament shortening and hip dislocation.<sup>29,30</sup> In addition, it was observed that lumbar SDR promotes pain reduction, facilitates daily care and improves the quality of life of these children.<sup>31</sup>

Thus, we believe that lumbar SDR is a valid therapeutic option for patients with severe spastic CP, with GMFCS levels 4 and 5, whose therapeutic objective is not associated with improved gait, as it happens in patients with GMFCS levels 2 and 3, but it aims reduce diffuse spasticity, decrease pain and prevent spinal deformities, among other musculoskeletal disorders; resulting in greater comfort in carrying out daily care and improving the quality of life of these children.

We observed some limitations for the interpretation of our results, such as: reduced sample for assessing LS of the dorsal spinal roots; short interval for postoperative functional evaluation; and the need for other functional measures, especially in the evaluation of the upper limbs.

However, it is the first study that evaluates the LS of the dorsal spinal roots in different age groups, and discusses its use as a neurophysiological parameter for the identification of spinal roots during lumbar RDS with surgical access in the medullary cone. Besides that, we presented functional results that reinforce the results of previous publications on the clinical effectiveness of this surgery in children with severe spastic CP.

## CONCLUSIONS

The association of neurophysiological parameters allowed the safe identification of spinal roots during the intraoperative electromyographic study. Lumbar SDR promoted muscle relaxation in the lower limbs, with significant improvement in gross motor functions in children with severe spastic CP. We believe that prospective studies with long-term follow-up, performed in a larger number of patients, will be useful to measure the impact of lumbar SDR in children with severe spastic CP.

## Conflicts of interest

The authors declare no conflicts of interest.

## REFERENCES

1. 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. *Dev Med Child Neurol.* 1997; 39(4):214-223.
2. Rosenbaum P, Paneth N, Leviton A, et al. A report: the definition and classification of cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol Suppl.* 2007; 109:8-14.
3. Jozefczyk PB. The management of focal spasticity. *Clin Neuropharmacol.* 2002; 25(3):158-173.
4. Hägglund G, Pettersson K, Czuba T, Persson-Bunke M, Rodby-Bousquet E. Incidence of scoliosis in cerebral palsy. *Acta Orthop.* 2018;89(4):443-447.
5. Aquilina K, Graham D, Wimalasundera N. Selective dorsal rhizotomy: an old treatment re-emerging. *Arch Dis Child.* 2015; 100(8):798-802.
6. Cole GF, Farmer SE, Roberts A, Stewart C, Patrick JH. Selective dorsal rhizotomy for children with cerebral palsy: the Oswestry experience. *Arch Dis Child.* 2007; 92(9):781-785.
7. Dudley RW, Parolin M, Gagnon B, et al. Long-term functional benefits of selective dorsal rhizotomy for spastic cerebral palsy. *J Neurosurg Pediatr.* 2013; 12(2):142-150.



8. 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.* 2018; 160(4):811-821.
9. Turner RP. Neurophysiologic intraoperative monitoring during selective dorsal rhizotomy. *J Clin Neurophysiol.* 2009; 26(2):82-84.
10. Park T, Edwards C, Liu JL, et al. Beneficial effects of childhood selective dorsal rhizotomy in adulthood. *Cureus.* 2017; 9(3): e1077.
11. Summers J, Coker B, Eddy S, et al. Selective dorsal rhizotomy in ambulant children with cerebral palsy: an observational cohort study. *Lancet Child Adolesc Health.* 2019; 3(7):455-462.
12. NHS England [Internet]. R: Selective dorsal rhizotomy (SDR) for the treatment of spasticity in cerebral palsy (children aged 3-9 years). England: National Institute for Health and Care Excellence; 2019. Available from: <https://www.england.nhs.uk/wp-content/uploads>.
13. Peacock WJ, Staudt LA. Functional outcomes following selective posterior rhizotomy in children with cerebral palsy. *J Neurosurg.* 1991; 74(3):380-385.
14. Turi M, Kalen V. The risk of spinal deformity after selective dorsal rhizotomy. *J Pediatr Orthop.* 2000; 20(1):104-107.
15. Steinbok P. Selective dorsal rhizotomy for spastic cerebral palsy: a review. *Childs Nerv Syst.* 2007; 23(9):981-990.
16. Golan JD, Hall JA, O'gorman G, et al. Spinal deformities following selective dorsal rhizotomy. *Journal of Neurosurgery: Pediatrics.* 2007; 106:441-449.
17. Park TS, Johnston JM. Surgical techniques of selective dorsal rhizotomy for spastic cerebral palsy. Technical note. *Neurosurg Focus.* 2006; 21(2):e7.
18. Phillips LH, Park TS. Electrophysiologic studies of selective posterior rhizotomy patients. Management of spasticity in cerebral palsy and spinal cord injury. Philadelphia: Hanley & Belfus. 1989; 4:459-470.
19. Funk JF, Haberl H. Monosegmental laminoplasty for selective dorsal rhizotomy--operative technique and influence on the development of scoliosis in ambulatory children with cerebral palsy. *Childs Nerv Syst.* 2016; 32(5):819-825.
20. Bohannon RW, Smith MB O. Inter-rater reliability of a modified Ashworth scale of muscle spasticity. *Physiotherapy.* 1987; 67(2):206-207.
21. Fernandez M, Lejus C, Rivault O, et al. Single-breath vital capacity rapid inhalation induction with sevoflurane: feasibility in children. *Paediatr Anaesth.* 2005; 15(4):307-313.
22. Fasano VA, Barolat-Romanag G, Ivaldi A, Sguazzi A. Functional posterior radiculotomy, in the treatment of cerebral spasticity peroperative electric stimulation of posterior roots and its use in the choice of the roots to be sectioned. *Neurochirurgie.* 1976; 22(1):23-34.
23. Lawrence H, Phillips LH, Park TS. Electrophysiologic mapping of the segmental anatomy of the muscles of the lower extremity. *Muscle Nerve.* 1991; 14(12):1213-1218.
24. Nicolini-Panisson RD, Tedesco AP, Folle MR, Donadio MVF. Selective dorsal rhizotomy in cerebral palsy: selection criteria and postoperative physical therapy protocols. *Rev Paul Pediatr.* 2018; 36(1):9.
25. 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):191-198.
26. Gigante P, McDowell MM, Bruce SS, et al. Reduction in upper-extremity tone after lumbar selective dorsal rhizotomy in children with spastic cerebral palsy. *J Neurosurg Pediatr.* 2013; 12(6):588-594.
27. Steinbok P. Outcomes after selective dorsal rhizotomy for spastic cerebral palsy. *Childs Nerv Syst.* 2001; 17(1-2):1-18.

28. Muquit S, Ammar A, Nasto L, Moussa AA, Mehdian H, Vloeberghs MH. Combined selective dorsal rhizotomy and scoliosis correction procedure in patients with cerebral palsy. *Eur Spine J.* 2016; 25(2):372-376.
29. O'Brien DF, Park TS, Puglisi JA, Collins DR, Leuthardt EC. Effect of selective dorsal rhizotomy on need for orthopedic surgery for spastic quadriplegic cerebral palsy: long-term outcome analysis in relation to age. *J Neurosurg.* 2004; 101(1 Suppl):59-63.
30. Hicdonmez T, Steinbok P, Beauchamp R, Sawatzky B. Hip joint subluxation after selective dorsal rhizotomy for spastic cerebral palsy. *J Neurosurg.* 2005; 103(1 Suppl):10-16.
31. Buizer AI, van Schie PEM, Bolster EAM, et al. Effect of selective dorsal rhizotomy on daily care and comfort in non-walking children and adolescents with severe spasticity. *Eur J Paediatr Neurol.* 2017; 21(2):350-357.