<https://doi.org/10.15690/vsp.v21i1.2382>

О.А. Клочкова^{1, 2}, Е.П. Колесникова², Д.Ю. Зиненко³, Е.М. Бердичевская³

¹ НИИ педиатрии и охраны здоровья детей ЦКБ РАН, Москва, Российская Федерация

² ООО «Внимание и забота», центр реабилитации «Апрель», Москва, Российская Федерация

³ НИКИ педиатрии имени академика Ю.Е. Вельтищева Российского национального исследовательского медицинского университета им. Н.И. Пирогова, Москва, Российская Федерация

Селективная дорзальная ризотомия в лечении спастичности у пациентов с детским церебральным параличом

Контактная информация:

Клочкова Ольга Андреевна, кандидат медицинских наук, заведующая отделом разработки научных подходов к ведению детей с двигательными нарушениями

НИИ педиатрии и охраны здоровья детей ЦКБ РАН Министерства науки и высшего образования Российской Федерации

Адрес: 119333, Москва, ул. Фотиевой, д. 10, стр. 1. тел.: +7 (499) 137-01-97, e-mail: dc.klochkova@gmail.com

Статья поступила: 14.01.2022, принята к печати: 02.02.2022

Селективная дорзальная ризотомия (СДР) — метод нейрохирургической коррекции спастичности с доказанной эффективностью и безопасностью для лечения пациентов со спастическими формами детского церебрального паралича (ДЦП). Цель обзора — познакомить широкий круг специалистов с возможностями СДР при ДЦП, показаниями и противопоказаниями для операции, критериями отбора пациентов для вмешательства. На основании анализа международного опыта проведения СДР, ближайших и отдаленных результатов операции даны рекомендации по включению ризотомии в комплексную реабилитацию пациентов с церебральным параличом, ее эффективному сочетанию с другими методами коррекции спастичности. Особое внимание уделено выбору тактики применения СДР при сформированных вторичных ортопедических осложнениях. Современное представление о возможностях и ограничениях СДР при спастических формах ДЦП позволит своевременно направлять пациентов на операцию и оптимально использовать преимущества данного метода.

Ключевые слова: селективная дорзальная ризотомия, детский церебральный паралич, спастичность, спастическая диплегия, спастический тетрапарез

Для цитирования: Клочкова О.А., Колесникова Е.П., Зиненко Д.Ю., Бердичевская Е.М. Селективная дорзальная ризотомия в лечении спастичности у пациентов с детским церебральным параличом. *Вопросы современной педиатрии*. 2022;21(1):19–28. doi: <https://doi.org/10.15690/vsp.v21i1.2382>

ВВЕДЕНИЕ

Детский церебральный паралич (ДЦП) — группа стабильных нарушений развития моторики и поддержания позы, которые приводят к ограничению функциональной активности и двигательным нарушениям,

обусловленным непрогрессирующим повреждением и/или аномалией развивающегося головного мозга у внутриутробного ребенка или новорожденного [1, 2]. Ведущим проявлением ДЦП является нарушение двигательного развития вследствие повреждения верхнего

Olga A. Klochkova^{1, 2}, Ekaterina P. Kolesnikova², Dmitriy Yu. Zinenko³, Evgeniya M. Berdichevskaya³

¹ Research Institute of Pediatrics and Children's Health in "Central Clinical Hospital of the Russian Academy of Sciences", Moscow, Russian Federation

² Tender Loving Care LLC, Rehabilitation Center "Aprel", Moscow, Russian Federation

³ Veltischev Research and Clinical Institute for Pediatrics of Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russian Federation

Selective Dorsal Rhizotomy in Treatment of Spasticity in Patients with Cerebral Palsy

Selective dorsal rhizotomy (SDR) is effective and safe neurosurgical method for the treatment of patients with spastic forms of cerebral palsy (CP). The aim of the review is to introduce the opportunities of SDR in CP patients, to present indications, contraindications, and current inclusion criteria for the surgery for the broad audience of specialists. Authors have given recommendations on SDR implementation in complex rehabilitation of CP patients and have defined its effective combination with other methods of spasticity treatment according to the international experience of SDR, and its short-term and long-term results. The particular attention was paid to the application of SDR in cases of secondary orthopaedic deformities due to CP. The understanding of opportunities and limitations of SDR will allow us to give the patients relevant help and use the advantages of this method.

Keywords: selective dorsal rhizotomy, cerebral palsy, spasticity, spastic diplegia, spastic quadriplegia

For citation: Klochkova Olga A., Kolesnikova Ekaterina P., Zinenko Dmitriy Yu., Berdichevskaya Evgeniya M. Selective Dorsal Rhizotomy in Treatment of Spasticity in Patients with Cerebral Palsy. *Voprosy sovremennoy pediatrii — Current Pediatrics*. 2022;21(1):19–28. (In Russ). doi: <https://doi.org/10.15690/vsp.v21i1.2382>

мотонейрона. Одним из ключевых симптомов данного повреждения выступает патологическое изменение мышечного тонуса: спастичность, гипотония или дистония [3]. Повышение мышечного тонуса по спастическому типу, которое имеется у 70–80% пациентов с ДЦП, влияет на все аспекты дальнейшего развития ребенка, вызывает формирование вторичных осложнений и ортопедических деформаций, болевого синдрома, приводит к снижению качества жизни пациента и ухаживающих за ним лиц, т.е. к прогрессирующему ухудшению состояния здоровья на фоне непрогрессирующего повреждения центральной нервной системы (ЦНС) [4–6].

Согласно классическому определению J.W. Lance, *спастичность* — это зависящее от скорости движения увеличение мышечного тонуса и повышение сухожильных рефлексов, возникающие в результате гипервозбудимости рецепторов растяжения в мышцах в рамках синдрома повреждения верхнего мотонейрона [7]. Механизм развития спастичности полностью не изучен. В первую очередь патогенез спастичности связывают с нарушением регуляторных влияний со стороны поврежденных структур головного мозга на функционирование рефлекса на растяжение, замыкающегося на уровне спинного мозга [8]. Однако большинство реабилитационных и лечебных мероприятий при ДЦП прямо или косвенно направлено на симптоматическое снижение патологического мышечного тонуса [9, 10].

Предлагаемые в настоящее время методы коррекции спастичности при ДЦП различают по степени инвазивности и необратимости вмешательства [11]:

- *консервативные вмешательства* (двигательная реабилитация, постуральный менеджмент, ортезирование, этапное гипсование) — направлены на развитие и поддержание двигательных функций и независимости, облегчение ухода и позиционирования, профилактику вторичных деформаций;
- *фармакологические вмешательства* (пероральные антиспастические препараты (баклофен, тизанидин, толперизон, диазепам), внутримышечное введение ботулинического токсина типа А (БТА), блокада периферических нервов спиртами и фенолом) — направлены на системное или локальное снижение мышечного тонуса и коррекцию сопутствующих симптомов (боли, мышечных спазмов);
- *хирургические вмешательства* (интратекальная терапия баклофеном (имплантация баклофеновой помпы), селективная дорзальная ризотомия (СДР), невротомия, хроническая эпидуральная стимуляция спинного мозга, одномоментные многоуровневые ортопедические вмешательства) — направлены на снижение спастичности, уменьшение боли и устранение вторичных деформаций.

Стойкость терапевтического эффекта в отношении снижения мышечного тонуса у разных методов коррекции неодинакова. В последнем систематическом обзоре методов профилактики и лечения ДЦП I. Novak и соавт. была предложена оригинальная система рекомендаций применения вмешательств по принципу «светофора» [9]. Зеленым цветом были обозначены методы с высоким уровнем доказанной эффективности, т.е. рекомендован-

ные к применению в первую очередь, желтым — методы, которые, вероятно, стоит применять, а красным — не показавшие своей эффективности для достижения рассматриваемой цели. В разделе лечения спастичности к «зеленой» зоне были отнесены лишь некоторые методы: инъекции ботулинического токсина типа А, СДР, интратекальное введение баклофена, прием диазепам. Для остальных степень доказанной эффективности остается на «желтом» уровне — «вероятно, стоит применять» (пероральный прием баклофена, тизанидина, стимуляция головного мозга током низкой интенсивности, акупунктура, иппотерапия, вибрационное воздействие на все тело, нейроразвивающая терапия (neurodevelopmental therapy)) или даже ниже границы целесообразности применения (прием дантролена, инъекции фенола и спиртов, массаж, растяжки, одномоментные многоуровневые ортопедические операции).

Большинство рекомендованных в первую очередь методов подробно освещено в отечественной литературе и достаточно широко применяется в клинической практике [4, 5, 12]. Однако в российских научных статьях крайне мало информации о СДР — нейрохирургическом методе лечения спастичности у пациентов с ДЦП. В уже опубликованных работах либо вскользь упоминают существование и возможности данного метода [13], либо обсуждаются специальные аспекты применения [14, 15] и противоречивые результаты проведенных вмешательств [16]. Опубликовано сообщение о начале пилотных проектов по изучению возможностей данного метода в Республике Казахстан [17]. В мировой практике накоплен длительный положительный опыт использования СДР для коррекции спастичности при ДЦП, прослежены ближайшие и отдаленные результаты нескольких тысяч операций [18]. Систематические обзоры подтверждают эффективность и целесообразность данной операции при правильном отборе пациентов и послеоперационной реабилитации [9, 19].

На наш взгляд, в России имеют место: низкая осведомленность детских неврологов и ортопедов о возможностях, показаниях и противопоказаниях к проведению СДР; отсутствие активного взаимодействия между специалистами, занимающимися консервативной реабилитацией пациентов с ДЦП, и нейрохирургами; небольшое число квот, выделяемых для финансирования данной высокотехнологической операции; недостаточная преемственность между специалистами на до- и послеоперационном этапах. Все это приводит к неоправданному игнорированию метода или его неоптимальному применению. В связи с этим **цель настоящего обзора** — ознакомление широкого круга специалистов с возможностями СДР, оптимальными критериями отбора пациентов для данного вмешательства и алгоритмом применения СДР в комплексе с другими методами коррекции спастичности у детей с ДЦП.

МЕТОДИКА И ПОКАЗАНИЯ ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОЙ ДОРЗАЛЬНОЙ РИЗОТОМИИ

СДР — необратимое хирургическое воздействие на афферентное звено рефлекторной дуги, контролирующей мышечный тонус. Операция может быть проведена

на корешках шейного и пояснично-крестцового отделов спинного мозга, но на сегодняшний день СДР применяют в основном для коррекции спастичности в мышцах ног у детей с церебральным параличом, т.е. вмешательство проводят на уровне пояснично-крестцового отдела спинного мозга [20].

Исходно методика дорзальной ризотомии для коррекции спастичности, предложенная O. Foerster в 1908 г., заключалась в неселективном пересечении задних (чувствительных) корешков спинномозговых нервов [21]. Однако риски, связанные с избыточной, неизбирательной деафферентацией и необходимостью удаления нескольких дужек позвонков для доступа к спинному мозгу (нередко приводившей к нестабильности позвоночника и сколиозу), превышали потенциальную пользу вмешательства. Методика не нашла распространения, однако спустя полвека было предложено частичное пересечение чувствительных корешков, основанное на предоперационной оценке функций пациента [22], а потом и селективная ризотомия под контролем интраоперационной миографии [23]. W.J. Peacock и L.J. Arens усовершенствовали технику операции, предложив осуществлять доступ к корешкам не на уровне конуса спинного мозга, а дистальнее — на уровне конского хвоста, что позволило сократить частоту случаев дисфункции мочевого пузыря и кишечника [24]. Техника операции по Peacock была и остается широко распространенной во всем мире [25]. T.S. Park и J.M. Johnston модифицировали операционный доступ, ограничившись ламинэктомией на уровне одного позвонка [26]. Это затрудняло проведение операции с технической точки зрения, но оставляло меньший послеоперационный рубец, уменьшало продолжительность послеоперационной боли, а также вероятность ятрогенной нестабильности позвоночника, что позволяло быстрее переходить к активной реабилитации пациента [27].

На сегодняшний день большинство нейрохирургических центров используют модификации операционной техники, предложенной W.J. Peacock, T.S. Park и J.M. Johnston [28]. Во время операции пациент находится в положении на животе. Электромиографические датчики располагают на мышцах нижних конечностей и паховой области (анального сфинктера). Хирургический доступ к конусу и корешкам спинного мозга осуществляют посредством ламинотомии/ламинэктомии на уровне позвонков Th12–L1 (реже L2–L4). Моторные корешки отделяют от сенсорных и защищают от повреждения. Сенсорные корешки идентифицируют по уровням миотомов и разделяют на 4–5 пучков, проводят их электрическую стимуляцию, фиксируя ответы с мышц. Волокна, продемонстрировавшие патологический ответ, пересекают. Максимальная доля резецируемых волокон корешка отличается в разных нейрохирургических центрах и подбирается таким образом, чтобы в достаточной степени снизить спастичность, но при этом не вызвать мышечную слабость и значимые нарушения чувствительности [11, 28]. Интраоперационный электромиографический мониторинг необходим не только для точного определения моторных и сенсорных корешков, выявления волокон с патологическим ответом, но и для предотвращения

нарушения функции тазовых органов за счет идентификации иннервирующих их волокон [14, 26].

Накопление данных о ближайших и отдаленных результатах СДР привело к тому, что в настоящее время основным показанием к данному вмешательству является наличие спастической двусторонней формы ДЦП с преимущественным поражением нижних конечностей [20, 28]. W.J. Peacock и L.A. Staudt отмечали, что результаты СДР не столь выражены при коррекции спастичности иной этиологии (не ДЦП): аноксии, энцефалита и нейродегенеративных заболеваний [29]. Вместе с тем появляются публикации о положительном опыте применения СДР для коррекции спастичности, улучшения походки, баланса и поддержания позы, снижения болевого синдрома у пациентов со спастическим гемипарезом [30], а также о потенциальной возможности использования СДР для снижения спастичности при наследственной спастической параплегии [31]. При оценке влияния СДР на функциональные достижения и вероятность прогрессирования вторичных ортопедических деформаций результаты противоречивы [20, 28] и будут более подробно обсуждены в следующих разделах данной статьи.

КРИТЕРИИ ОТБОРА ПАЦИЕНТОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ СДР

W.J. Peacock с коллегами приложили много усилий для популяризации СДР при ДЦП, особенно в Северной Америке. Ими же были сформулированы первые критерии отбора пациентов для операции. Несмотря на достаточно широкие показания для СДР (снижение спастичности в нижних конечностях при ДЦП), наилучших результатов удавалось достичь у определенных пациентов. Наблюдая в течение от 1 до 5 лет 60 человек со спастическими формами ДЦП после СДР, авторы пришли к выводу, что оптимальными кандидатами для СДР являются пациенты с сохранным интеллектом, способные сидеть без опоры и передвигаться самостоятельно или с опорой, имевшие нарушение мышечного тонуса только по спастическому типу (без дистонии) преимущественно в мышцах ног, не подвергавшиеся ортопедическому хирургическому лечению [32]. Наличие фиксированных контрактур, значительной слабости в мышцах ног, атетоза или атаксии расценивалось как противопоказание к операции. Кроме того, W.J. Peacock и соавт. подчеркивали, что для достижения максимальных функциональных результатов необходимы интенсивная и непрерывная двигательная реабилитация и эрготерапия в послеоперационном периоде [32].

Результаты этой работы приняты за основу при определении критериев отбора в клинических протоколах по СДР в различных нейрохирургических и реабилитационных центрах по всему миру, хотя и претерпели значительные изменения [19, 28]. В одном из систематических обзоров исследований СДР подчеркивалось, что не существует единых рекомендаций относительно «идеального кандидата» для операции, и центры опираются преимущественно на клинические симптомы, а не стандартизованные методы и шкалы измерения [20]. В большинстве центров отбор пациентов для СДР осуществляет междисциплинарная команда, состоящая из нейрохирурга,

педиатра, невролога, ортопеда, физического терапевта (реабилитолога), эрготерапевта, а также при необходимости медицинских сестер и/или социальных работников, психолога, психиатра [20]. В процессе обсуждения оцениваются анамнез, клиническое состояние и итоги тестирования по специализированным шкалам, результаты инструментальных исследований (в первую очередь магнитно-резонансной томографии (МРТ) головного и спинного мозга, рентгенографии тазобедренных суставов), проводится видеоанализ походки. Совместно с семьей пациента определяются цели вмешательства [20]. Подробное описание указанных критериев отбора пациентов для СДР представлено далее.

Тонус и сила мышц

Основным критерием отбора пациентов для СДР является наличие спастичности, определяющей возможность и качество движений. Оптимальным для вмешательства считается повышение мышечного тонуса от 2 до 4 баллов по шкале Эшворта [33]. Спастичность должна быть двусторонней, затрагивать преимущественно мышцы ног и значимо мешать передвижению и/или уходу за пациентом [20]. Дополнительно для оценки мышечного тонуса и объема движений в суставах (динамического или фиксированного характера контрактур) может быть использована шкала Тардье [34].

Вместе с тем следует учитывать, что у части пациентов спастичность выполняет компенсаторную функцию и при выраженной мышечной слабости обеспечивает опору, необходимую для передвижения с поддержкой [8]. В такой ситуации снижение мышечного тонуса в результате СДР может повлечь ухудшение функциональных возможностей пациента. В связи с этим предоперационное тестирование мышечной силы и качества селективного мышечного контроля — обязательный элемент отбора пациентов на операцию [19]. Для оценки мышечной силы используют стандартную шкалу Совета по медицинским исследованиям Великобритании (MRC) [35]. Для эффективной СДР сила в мышцах ног должна быть не ниже 3 баллов (как минимум должна быть сохранена хорошая антигравитационная сила в мышцах — разгибателях коленных суставов) [28]. Селективный мышечный контроль оценивают, тестируя изолированно движения в тазобедренных, коленных и голеностопных суставах [36]. Наличие глобальных синкинезий может быть противопоказанием к СДР, поскольку селективный контроль зависит от центральной регуляции паттернов движений и не изменяется после снижения спастичности [36]. Для объективной оценки селективного мышечного контроля и результатов операции могут использоваться поверхностная электромиография и 3D-видеоанализ походки [37]. 3D-анализ походки и необходимая для его проведения лаборатория доступны не во всех клинических центрах, выполняющих СДР, и, согласно мнению ряда авторов, не являются обязательным этапом отбора пациентов для операции [11, 20]. Альтернативой 3D-видеоанализу походки может служить видеофиксация ходьбы пациента с последующим анализом с использованием клинических шкал.

Снижение спастичности после СДР может демаскировать не только мышечную слабость, но и дистонию, что

ухудшит двигательные возможности пациентов и снизит удовлетворенность результатами лечения [38]. В связи с этим важным элементом клинического отбора пациентов для проведения СДР является оценка характера изменений мышечного тонуса. Для дифференциации спастичности и дистонии могут быть рекомендованы шкала НАТ (Hypertonia Assessment Tool) [39], а также поверхностная электромиография и анализ походки [37]. Поскольку дистония не всегда отчетливо проявляется в раннем возрасте и имеет тенденцию нарастать по мере взросления [8], дополнительным критерием отбора выступает оценка структурных изменений головного мозга при помощи МРТ.

Магнитно-резонансная томография

МР-паттерном повреждения головного мозга, рекомендованным в качестве критерия отбора для СДР, является перивентрикулярная лейкомаляция (ПВЛ), а также отсутствие повреждений базальных ганглиев, ствола мозга и мозжечка, признаков нейродегенеративного или метаболического заболевания [11, 20]. Именно такой набор МР-признаков чаще всего приводит к формированию у пациента двигательных нарушений, при которых может быть эффективно применение СДР. Так, ПВЛ, являющаяся наиболее типичным паттерном повреждения при ДЦП, обнаруживается у более 70% пациентов со спастической диплегией [40]. Наибольший риск формирования ПВЛ характерен для детей, рожденных до 32 нед гестации [41], соответственно, недоношенность также может быть отнесена к одному из критериев «идеального» пациента для СДР. Небольшие очаги ПВЛ в области задних рогов и центральных отделов боковых желудочков головного мозга проявляются нарушением движений преимущественно в ногах (спастической диплегией). При увеличении степени повреждения белого вещества и формировании кист, значительной вентрикуломегалии, истончении мозолистого тела нарастает и степень двигательных нарушений [40]. При более тяжелых формах ДЦП (тетрапарезе) на двигательную функцию пациента влияет не только спастичность, поэтому, как следствие, результаты СДР становятся менее предсказуемыми [20, 27]. Повреждения базальных ганглиев, таламуса и гиппокампа характерны для гипоксически-ишемического поражения головного мозга у доношенных новорожденных. Такие повреждения чаще всего приводят к формированию дистонических и атаксических форм ДЦП, что является противопоказанием для СДР [20, 40]. Проведение МРТ спинного мозга на предоперационном этапе рекомендовано также и для исключения аномалий развития и точного определения оптимального уровня доступа во время операции [28].

Исходный функциональный уровень и его влияние на результаты операции

В отличие от доказанного положительного влияния СДР на спастичность, степень и стойкость функциональных улучшений после операции по-прежнему вызывают дискуссии и, вероятно, зависят от исходных функциональных возможностей пациентов [42]. Так, T.S. Park и соавт. в своем наблюдении 95 пациентов с ДЦП (у 79% — спас-

тическая диплегия, у 20% — тетрапарез, у 1% — трипарез) констатировали, что через 20–28 лет после СДР 42% пациентов отмечали улучшение функции перемещения по сравнению с дооперационным уровнем, 42% сохранили прежний уровень активности, у остальных отмечалось ухудшение способности к перемещению. 91% участников отмечали, что операция улучшила их качество жизни, тогда как у 2% — ухудшила [27].

Исследования, в которых для оценки функциональных результатов операции использовали шкалу GMFM-66 (Gross Motor Function Measure), продемонстрировали улучшение показателей двигательной функции в ближайшие после СДР годы [43–48], однако лишь в двух публикациях эти данные были сопоставлены с исходами естественного течения ДЦП [44, 46]. Е.А. Bolster и соавт. показали, что в группе пациентов с уровнями больших моторных функций I и II по шкале GMFCS (Gross Motor Function Classification System) через 5 лет после СДР улучшение более чем на 20 центилей от исходного уровня продемонстрировали 3 (27%) из 11 человек, в группе пациентов с GMFCS III — 7 (39%) из 18, хотя различия между группами были статистически незначимы. Через 10 лет наблюдения у 6 (30%) из 20 пациентов с известным результатом лечения по-прежнему отмечались более высокие значения показателей функциональных возможностей по сравнению со стандартными центильными значениями у пациентов с ДЦП [44]. В 10-летнем наблюдении A.L. Josenby и соавт. средняя оценка двигательной активности по GMFM-66 после СДР была выше, чем стандартные популяционные показатели у пациентов с ДЦП, у которых операция не была проведена [46]. В других работах по наблюдению долгосрочных результатов СДР было отмечено, что пациенты с уровнями двигательного развития GMFCS II–III демонстрируют лучшие и более стойкие функциональные результаты, чем пациенты с GMFCS IV–V [45, 46, 48]. В то же время средние показатели по шкале GMFM-66 через 10 и 17 лет после СДР снижаются по сравнению с пиковыми значениями в течение 3 лет после операции [42]. Однако такое ухудшение функциональных возможностей характерно и для естественного течения ДЦП в силу формирования вторичных ортопедических осложнений и саркопении [49].

Таким образом, ближайшие и отдаленные функциональные результаты СДР не могут рассматриваться без учета исходного уровня двигательной активности пациентов и формы ДЦП. С функциональной точки зрения пациенты с GMFCS II–III выигрывают от проведения СДР больше, чем пациенты с GMFCS IV–V, что находит отражение в современных критериях отбора на СДР в большинстве клиник, проводящих данную операцию [20]. Для пациентов с GMFCS I целесообразность СДР остается спорной, учитывая сопоставление потенциальной пользы и рисков от вмешательства. При GMFCS I сопоставимых результатов снижения спастичности можно достичь менее травматичными методами [11]. Для пациентов с GMFCS III при планировании СДР следует особенно внимательно учитывать степень мышечной слабости в нижних конечностях, а также качество селективного мышечного контроля, наличие вторичных ортопедических осложнений [28, 36]. Вместе с тем ряд

исследователей [19, 20, 28] отмечают, что среди пациентов со спастическим тетрапарезом и GMFCS IV–V тоже могут быть отобраны кандидаты для проведения СДР, но в этом случае задачи вмешательства смещаются в сторону облегчения ухода, позиционирования, двигательной реабилитации и профилактики контрактур. Для этой категории пациентов противопоказаниями к вмешательству по-прежнему остаются дистония, гипотония, мышечная слабость, множественные контрактуры суставов, нестабильность тазобедренных суставов и выраженный сколиоз [19].

Возраст пациентов

При ДЦП спастичность не появляется сразу после рождения, а имеет тенденцию к постепенному нарастанию. Согласно шведскому регистру пациентов ДЦП (4162 участника, более 57 тыс. протоколов повторных осмотров), тонус в икроножной мышце при спастических формах ДЦП нарастает до максимума примерно к возрасту 5 лет и затем снижается к возрасту 15 лет, что может с определенными допущениями отражать общую траекторию изменения мышечного тонуса у детей с ДЦП [50]. С возрастом нарастание спастичности совпадает с периодом наиболее активного освоения ребенком двигательных навыков, в связи с чем своевременная коррекция мышечного тонуса является одним из определяющих реабилитационных вмешательств. Поэтому проведение СДР в раннем возрасте позволяет в большей степени воздействовать на формирование правильного двигательного стереотипа и профилактику вторичных ортопедических осложнений [28]. В первых классических исследованиях, посвященных СДР, наилучшие результаты лечения были достигнуты у пациентов, перенесших операцию в возрасте от 4 до 10 лет [51, 52]. В более поздних публикациях T.S. Park и соавт. отмечали хороший функциональный и прогностический эффект СДР у пациентов, перенесших вмешательство и в возрасте от 2 до 4 лет [18]. В.А. MacWilliams и соавт. показали, что у пациентов, перенесших СДР в более старшем возрасте (от 10 до 20 лет), в дальнейшем наблюдалось снижение двигательных функций, сопоставимое с таковым у пациентов без операции [53].

Вместе с тем отбор пациентов младшего возраста для проведения СДР может быть ограничен неоднозначностью оценки и прогнозирования развития двигательных функций в самом раннем возрасте, сложностью проведения объективных методов исследования, в том числе 3D-анализа походки, трудностями в кооперации с ребенком на этапе пред- и послеоперационной реабилитации, а также высокими резервами нейрональной пластичности, которые могут быть причиной значительных функциональных улучшений на фоне консервативного вмешательства [28]. Кроме того, у детей раннего возраста не всегда заметны проявления дистонии, что может существенно повлиять на результаты операции. У пациентов с ДЦП старше 10 лет, как правило, двигательный стереотип определяется не только и столько спастичностью, сколько накопленными ортопедическими деформациями, поэтому лучшие функциональные результаты могут быть достигнуты с использованием многоуров-

новых одномоментных ортопедических операций [53]. В целом возраст пациента не является жестким условием отбора для СДР, но в каждом конкретном случае следует учитывать индивидуальные цели снижения спастичности и факторы, которые в силу естественного течения ДЦП потенциально могут повлиять на результат.

Уровень коммуникации и психоречевого развития

Один из определяющих факторов успеха СДР — соблюдение интенсивного режима послеоперационной реабилитации и постурального менеджмента, хотя единых международных протоколов реабилитации после СДР не разработано. Большинство клинических центров руководствуются локальными рекомендациями, учитывая особенности территориальной медицинской помощи. Так или иначе большинство авторов сходятся во мнении, что после СДР необходимы активные тренировки, направленные на поддержание силы, длины и эластичности мышц ног, а также формирование более физиологичного двигательного стереотипа и улучшение селективного мышечного контроля [19]. Функциональные целеориентированные тренировки подразумевают активное включение и мотивацию самого ребенка, способность понимать и выполнять задания, достаточную сохранность сенсорных систем (в первую очередь зрительной и слуховой), поэтому в большинство протоколов отбора для СДР входит оценка возможности коммуникации, когнитивных и поведенческих особенностей пациентов [11]. В раннем послеоперационном периоде нередко отмечается изменение чувствительности (в т.ч. проприоцепции) в нижних конечностях, что у пациентов с предшествующими сенсорными нарушениями может вызвать стресс и ухудшение двигательной функции, не связанное напрямую с функцией опорно-двигательного аппарата [28].

Оценка коммуникативных и эмоциональных особенностей ребенка и кооперации с реабилитологом требует дополнительного времени по сравнению со стандартной оценкой двигательных функций. Поэтому оптимальны не только одномоментный междисциплинарный отбор пациентов для проведения СДР, но и подготовка к операции специалистами, работающими в данной области. Хотя в исследовании P. Steinbok и соавт. на примере 26 пациентов при дополнительной интенсивной физической терапии до СДР не было показано значимых преимуществ в функциональных результатах [54], на наш взгляд, предоперационная подготовка может включать не только двигательную терапию, но и решение таких вопросов, как подбор и адаптация недостающих технических средств реабилитации, средств для альтернативной и дополнительной коммуникации, планирование изготовления или адаптации ортезов в послеоперационном периоде.

Ортопедические деформации

СДР достоверно снижает мышечный тонус, но не влияет на уже сформировавшиеся вторичные ортопедические деформации [9, 28]. Фиксированные ограничения движений в суставах (контрактуры) не изменяются после СДР и требуют дополнительных ортопедических вмеша-

тельств [42]. СДР не способна полностью предотвратить и дальнейшее формирование контрактур [47, 48], поскольку механизм их возникновения при ДЦП связан не только с повышением мышечного тонуса [55]. Однако своевременное снижение спастичности при помощи СДР может отложить или уменьшить общее количество операций, типичных для пациентов с ДЦП [45, 56]. Так, при долгосрочном (от 24 до 70 мес) наблюдении за двумя когортами пациентов (в возрастах 2–4 и 5–19 лет), перенесших СДР, было показано, что в первой группе последующие ортопедические вмешательства потребовались в 22% случаев, во второй — в 45% [57]. В наблюдении 52 детей со спастическим тетрапарезом, не имевших в анамнезе ортопедических операций до СДР, было показано, что в течение 5–9 лет после СДР частота ортопедических операций была выше в группе пациентов, перенесших СДР в возрасте от 6 до 14 лет, чем в группе 2–5 лет (70 и 34% соответственно) [58].

Сохраняются и противоречия относительно влияния СДР на деформации тазобедренных суставов при ДЦП. Существуют публикации об уменьшении тяжести дисплазии и подвывихов после СДР [59, 60], однако недавно опубликованный систематический обзор вмешательств, предотвращающих дисплазию тазобедренных суставов при ДЦП, не показал однозначного положительного или негативного влияния СДР [61]. Наличие показаний для оперативной коррекции деформаций тазобедренных суставов, контрактур или иных ортопедических деформаций при ДЦП, как правило, является ограничением для отбора пациентов для проведения СДР. При наличии подвывиха/вывиха бедра и его прогрессирования ортопедическую коррекцию обычно проводят как минимум за год до СДР для полноценной послеоперационной реабилитации [28]. Одномоментное проведение СДР и многоуровневых мягкотканых ортопедических операций неоправданно из-за разных задач и подходов в реабилитации после каждого типа операции (например, необходимости длительной иммобилизации после ортопедического вмешательства в противоположность ранней активизации после СДР) [28]. Исключением может быть ситуация с изолированной эквинусной контрактурой, которая может помешать реабилитации после СДР. В этом случае ряд авторов допускают проведение малоинвазивного удлинения мышц в ближайшее время после СДР для обеспечения оптимальной опорности нижних конечностей. Часть данных пациентов в последующем требуют повторных операций [62]. Противопоказанием к проведению СДР некоторые авторы считают и наличие тяжелого прогрессирующего сколиоза [63–65].

Во многих случаях, когда у пациентов с ДЦП старшего возраста время для оптимального использования СДР уже прошло и основная причина двигательных нарушений и патологических установок сместилась от спастичности к стойким костно-мышечным деформациям, предпочтение должно быть отдано многоуровневым ортопедическим операциям [28].

Таким образом, на сегодняшний день можно выделить примерный перечень критериев кандидата для проведения СДР, основанный на оценке ближайших и отдаленных послеоперационных результатов (табл.). Вместе

Таблица. Ориентировочный перечень критериев отбора пациентов с ДЦП для проведения селективной дорзальной ризотомии
Table. Preliminary list of entry criteria for selective dorsal rhotomy in cerebral palsy patients

Источник данных	Критерии отбора	Комментарии
Анамнез	Возраст от 2 до 10 лет	Оптimalен, но возможно изменение диапазона с учетом индивидуальных клинических особенностей
	Недоношенность, гипоксически-ишемическое повреждение головного мозга	Наиболее часто приводит к формированию двусторонних спастических форм ДЦП
	Двусторонние спастические формы ДЦП	Преимущественно спастическая диплегия
	Отсутствие других причин спастичности	Может использоваться и при других причинах спастичности в мышцах ног, но наилучшие функциональные результаты в настоящее время описаны у пациентов с ДЦП
	4–6 мес после предшествующей инъекции ботулинического токсина типа А	Интервал 4–6 мес соответствует среднему периоду прекращения действия ботулотоксина и возобновления спастичности, однако может быть пересмотрен с учетом индивидуальной эффективности ботулинотерапии
	Более 1 года после предшествующей ортопедической операции	Срок восстановления зависит от типа операции
	Доступность послеоперационной реабилитации, готовность семьи к обеспечению регулярных занятий	Достижение оптимальных функциональных результатов предполагает интенсивную послеоперационную реабилитацию (в среднем от 6 до 12 мес) и мотивированное сотрудничество ребенка со специалистом
Осмотр	Функциональный уровень GMFCS II–III	Пациенты с ДЦП, способные к самостоятельному перемещению. Для других уровней GMFCS цели и возможности вмешательства обсуждаются дополнительно с учетом рисков и потенциальной пользы
	Уровень спастичности по модифицированной шкале Эшворта 2–4 балла	Уровень спастичности, значительно влияющий на двигательную функцию
	Отсутствие дистонии (гиперкинезов)	Дистония и гиперкинезы не корректируются после СДР и могут стать более заметными, что ухудшает функциональные результаты операции
	Сформированный поструральный контроль и сохранная антигравитационная сила мышц ног (в первую очередь разгибателей коленных суставов)	Сила мышц ног — более 3 баллов по шкале MRC
	Сохраненный селективный моторный контроль в мышцах ног	Наличие глобальных синкинезий ограничивает послеоперационную реабилитацию и ухудшает функциональные исходы операции
	Отсутствие фиксированных контрактур суставов	Фиксированные контрактуры не корректируются в результате СДР и могут ограничивать послеоперационную реабилитацию
	Отсутствие тяжелого прогрессирующего сколиоза	Сколиоз не корректируется в результате СДР, может ограничивать техническую возможность проведения операции и послеоперационной реабилитации
	Уровень когнитивного и эмоционального развития, достаточный для продуктивной послеоперационной реабилитации	Интенсивная послеоперационная реабилитация, как правило, занимает от 6 до 12 мес, в дальнейшем необходим поддерживающий уровень нагрузок
МРТ головного мозга	Перивентрикулярная лейкомаляция. Отсутствие повреждения подкорковых ядер	Паттерн повреждения, характерный для двусторонних спастических форм ДЦП. Отсутствие структурных изменений, потенциально приводящих к появлению дистонии и гиперкинезов
Рентген тазобедренных суставов	Индекс Реймерса менее 40%	Отсутствие по данным рентгенографии признаков подвывиха и вывиха бедра, требующих оперативного лечения

с тем порядок отбора кандидатов для данной операции остается комплексной задачей и в большинстве случаев требует поиска компромисса между «идеальными» критериями и индивидуальными возможностями, задачами и потенциалом конкретного пациента.

ОСЛОЖНЕНИЯ СДР

К осложнениям СДР, непосредственно связанным с операцией, относят:

- анестезиологические (бронхоспазм, аспирация);
- интраоперационные кровотечения и повреждения прилежащих структур, в т.ч. из-за нарушений нормальных анатомических соотношений при деформациях позвоночника;
- послеоперационную ликворею и головную боль;
- преходящие нарушения функции тазовых органов;
- транзиторную дизестезию или зуд в нижних конечностях.

Современный интраоперационный электромиографический мониторинг позволяет предотвратить стойкие нарушения функции тазовых органов за счет идентификации иннервирующих их волокон [14, 26].

Среди осложнений, развивающихся в отдаленном периоде после операции, — боли в спине и нестабильность позвоночника, усиление поясничного лордоза, особенно при доступе на уровне нескольких позвонков [11]. Данная проблема частично решается использованием доступа на уровне одного позвонка [26]. Вместе с тем ряд авторов подчеркивают невозможность точного суждения о роли СДР в формировании деформаций позвоночника у пациентов с ДЦП, чей риск сколиоза исходно выше в результате естественного течения заболевания [18, 20].

КОМБИНИРОВАНИЕ СЕЛЕКТИВНОЙ ДОРЗАЛЬНОЙ РИЗОТОМИИ С ДРУГИМИ МЕТОДАМИ КОРРЕКЦИИ СПАСТИЧНОСТИ ПРИ ДЦП

В систематическом обзоре отдаленных результатов СДР было показано долгосрочное и стойкое снижение мышечного тонуса или даже его нормализация после операции [42]. Вместе с тем проведение СДР не исключает последующее применение всего спектра методов коррекции спастичности. Двигательная реабилитация, ортезирование и постуральный контроль — обязательные составляющие интенсивной послеоперационной реабилитации, однако данные консервативные методы воздействия должны продолжаться и в отдаленном послеоперационном периоде [19].

Ботулинотерапия может проводиться как до, так и после СДР. Однако при планировании СДР следует выдержать интервал с ботулинотерапией, достаточный для прекращения действия препарата и объективной клинической оценки мышечного тонуса. Как правило, это 4–6 мес после инъекций ботулинического токсина типа А [11]. После СДР может потребоваться продолжение ботулинотерапии [42], особенно учитывая, что операция влияет преимущественно на мышцы ног и не затрагивает руки. Однако нередко сохраняется необходимость дополнительных инъекций и в мышцы нижних конечностей. Е.А. Bolster и соавт. сообщили, что после СДР проведение ботулинотерапии потребовалось в 45% случаев, преимущественно в икроножные мышцы [44], по данным R.W. Dudley и соавт. — у 12,5% больных [45]. Часть пациентов продолжают принимать пероральные антиспастические препараты или нуждается в установке баклофеновой помпы. Так, в наблюдении Е.А. Hurvitz и соавт. после СДР ботулинотерапия по-прежнему требовалась 53% пациентов, прием пероральных миорелаксантов — 38%, а установка баклофеновой помпы — 15% [66]. По данным T.S. Park и соавт., после СДР продолжение пероральной терапии спастичности потребовалось 22% пациентов, установка баклофеновой помпы — 3% [27]. Такой разброс данных, вероятно, обусловлен не столько различиями в технике проведения операции, сколько неоднородностью пациентов, включенных в указанные исследования. Вместе с тем практически все авторы отмечают, что своевременно проведенная СДР

позволяет значимо снизить частоту и интенсивность использования других медикаментозных и нейрохирургических вмешательств [42].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

СДР — нейрохирургическая операция, эффективная и безопасная для стойкого снижения тонуса в мышцах ног у пациентов со спастическими формами ДЦП. Влияние СДР на двигательную функцию и профилактику ортопедических деформаций во многом зависит от исходного возраста и функционального уровня пациентов и требует дальнейшего изучения и долгосрочного наблюдения. Учитывая возрастные особенности мышечного тонуса и ортопедических деформаций при ДЦП, ограниченные знания об отдаленном влиянии СДР на прогрессирование контрактур и вывихов в суставах, важно планировать последовательность нейрохирургических и ортопедических вмешательств и объективно оценивать реабилитационный потенциал пациента. Консервативные и медикаментозные методы лечения спастичности можно использовать на этапе подготовки и планирования СДР. Особенно актуально это для пациентов младшего возраста, когда спастичность уже мешает оптимальному моторному развитию и реабилитации, но ребенок по ряду причин не готов к вмешательству или паттерн спастичности полностью не сформирован. СДР не исключает необходимости последующей коррекции спастичности, в т.ч. в мышцах ног, хотя значимо снижает потребность в инвазивных методах. Этот факт необходимо обязательно сообщать семье пациента во избежание неоправданных надежд и разочарований. Эффективность СДР определяется тщательностью отбора кандидатов для операции, грамотной до- и послеоперационной реабилитацией, а также умением сочетать данный метод с другими возможностями коррекции патологического мышечного тонуса при ДЦП.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Не указан.

FINANCING SOURCE

Not specified.

РАСКРЫТИЕ ИНТЕРЕСОВ

Авторы статьи подтвердили отсутствие конфликта интересов, о котором необходимо сообщить.

DISCLOSURE OF INTERESTS

Not declared.

ORCID

О.А. Ключкова

<https://orcid.org/0000-0002-4079-3450>

Е.П. Колесникова

<https://orcid.org/0000-0001-8019-6549>

Д.Ю. Зиненко

<https://orcid.org/0000-0003-0477-1016>

Е.М. Бердичевская

<https://orcid.org/0000-0001-6285-1968>

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Bax M, Goldstein M, Rosenbaum P, et al. Proposed definition and classification of cerebral palsy, April 2005. *Dev Med Child Neurol*. 2005;47(8):571–576. doi: <https://doi.org/10.1017/s001216220500112x>
2. Rosenbaum P, Paneth N, Leviton A, et al. A report: the definition and classification of cerebral palsy April 2006. *Dev Med Child Neurol Suppl*. 2007;109:8–14.
3. Бадалян Л.О., Журба Л.Т., Тимонина О.В. Детские церебральные параличи. — Киев: Здоровье, 1988. — 328 с. [Badalyan LO, Zurba LT, Timonina OV. Cerebral palsy. Kiev; 1988. 328 p. (In Russ.)]
4. Ключкова О.А., Куренков А.Л. Ботулинотерапия при детском церебральном параличе: практические советы и ультразвуковой контроль. — М.: МЕДпресс-информ, 2020. — 248 с. [Klochkova OA, Kurenkov AL. Botulinum toxin therapy in cerebral palsy. Moscow; 2020. 248 p. (In Russ.)]
5. Куренков А.Л., Батышева Т.Т., Виноградов А.В. и др. Спасительность при детском церебральном параличе: диагностика и стратегии лечения // *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. — 2012. — Т. 112. — № 7–2. — С. 24–28. [Kurenkov AL, Batysheva TT, Vinogradov AV, et al. Spastichnost' pri detskom cerebralnom paraliche: diagnostica i strategii lechenija. *Zh Nevrol Psikhiatr Im S S Korsakova*. 2012;112(7–2):24–28. (In Russ.)]
6. Graham HK. Botulinum toxin A in cerebral palsy: Functional outcomes. *J Pediatr*. 2000;137(3):300–303. doi: <https://doi.org/10.1067/mpd.2000.109107>
7. Lance JW. Symposium synopsis. In: Feldman RG, Young RR, Koella WP (eds). *Spasticity: Disordered Motor Control*; 1980. P. 485–494.
8. Ganguly J, Kulshreshtha D, Almotiri M, et al. Muscle Tone Physiology and Abnormalities. *Toxins (Basel)*. 2021;13(4):282. doi: <https://doi.org/10.3390/toxins13040282>
9. Novak I, Morgan C, Fahey M, et al. State of the Evidence Traffic Lights 2019: Systematic Review of Interventions for Preventing and Treating Children with Cerebral Palsy. *Curr Neurol Neurosci Rep*. 2020;20(2):3. doi: <https://doi.org/10.1007/s11910-020-1022-z>
10. Heinen F, Desloovere K, Schroeder AS, et al. The updated European Consensus 2009 on the use of Botulinum toxin for children with cerebral palsy. *Eur J Paediatr Neurol*. 2010;14(1):45–66. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejpn.2009.09.005>
11. Graham D, Aquilina K, Mankad K, et al. Selective dorsal rhizotomy: Current state of practice and the role of imaging. *Quant Imaging Med Surg*. 2018;8(2):209–218. doi: <https://doi.org/10.21037/qims.2018.01.08>
12. Умнов В.В. Нейрохирургические аспекты комплексного ортопедо-нейрохирургического лечения спастических параличей у детей // *Вестник Российской Военно-медицинской академии*. — 2008. — Т. 21. — № 1. — С. 87–91. [Umnov VV. Neirohirurgicheskie aspekty kompleksnogo ortopedo-neirohirurgicheskogo lecheniya spasticheskikh paralichej u detej. *Vestnik Rossijskoj Voenno-meditsinskoj akademii*. 2008;21(1):87–91. (In Russ.)]
13. Королев А.А. Возможные методы нейрохирургической коррекции мышечной спастичности // *Современные наукоемкие технологии*. — 2012. — № 8. — С. 26–27. [Korolev AA. Vozmozhnye metody neirohirurgicheskoy korrekcii myshechnoj spastichnosti. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*. 2012;(1):26–27. (In Russ.)]
14. Комфорт А.В., Семенова Ж.Б., Понина И.В. Селективная дорсальная ризотомия в коррекции спастического синдрома у больных детским церебральным параличом // *Российский вестник детской хирургии, анестезиологии и реаниматологии*. — 2014. — Т. 4. — № 4. — С. 130–135. [Komfort AV, Semenova ZhB, Ponina IV. Selektivnaya dorsal'naya rizotomiya v korrekcii spasticheskogo sindroma u bol'nyh detskim cerebral'nym paralichom. *Rossijskij vestnik detskoj hirurgii, anesteziologii i reanimatologii*. 2014;4(4):130–135. (In Russ.)]
15. Кенис В.М., Иванов С.В., Киселева Т.И. Возможности селективной дорсальной ризотомии при деформациях стоп у детей с ДЦП // *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста*. — 2015. — Т. 3. — № 1. — С. 22–26. [Kenis VM, Ivanov SV, Kiseleva TI. Selective dorsal rhizotomy opportunities with foot deformities in children with cerebral palsy. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery*. 2015;3(1):22–26. (In Russ.)] doi: <https://doi.org/10.17816/PTORS3122-26>
16. Хаджиев О.Ч., Сиротюк М.В. Неоднозначность результатов селективной дорсальной ризотомии при детском церебральном параличе и электромиографическая объективность // *Вестник физиотерапии и курортологии*. — 2015. — Т. 23. — № 3. — С. 16–22. [Hadzhiev OCh, Sirotyuk MV. Neodnoznachnost' rezul'tatov selektivnoj dorzal'noj rizotomii pri detskom cerebral'nom paraliche i elektromiograficheskaya ob'ektivnost'. *Vestnik fizioterapii i kurortologii*. 2015;23(3):16–22. (In Russ.)]
17. Акижанова И.В., Кожанова А.М., Кариева Э. и др. Анализ эффективности селективной дорсальной ризотомии в сочетании с послеоперационной реабилитацией у пациентов со спастической формой ЦП с позиций МКФ (пилотный проект) // *Вестник Казахского национального медицинского университета*. — 2021. — № 1. — С. 115–122. [Akizhanova IV, Kozhanova AM, Kariyeva EK, et al. Analysis of the effectiveness of selective dorsal rhizotomy in combination with postoperative rehabilitation in patients with spastic CP from the standpoint of ICF. *Bulletin of the Kazakh National Medical University*. 2021;(1):115–122. (In Russ.)] doi: <https://doi.org/10.53065/kaznmu.2021.60.54.027>
18. Park TS, Dobbs MB, Cho J. Evidence Supporting Selective Dorsal Rhizotomy for Treatment of Spastic Cerebral Palsy. *Cureus*. 2018;10(10):e3466. doi: <https://doi.org/10.7759/cureus.3466>
19. Nicolini-Panisson RD, Tedesco AP, Folle MR, et al. Selective dorsal rhizotomy in cerebral palsy: selection criteria and postoperative physical protocols. *Rev Paul Pediatr*. 2018;36(1):9. doi: <https://doi.org/10.1590/1984-0462/2018;36;1;00005>
20. Grunt S, Fieggen AG, Vermeulen RJ, et al. Selection criteria for selective dorsal rhizotomy in children with spastic cerebral palsy: A systematic review of the literature. *Dev Med Child Neurol*. 2014;56(4):302–312. doi: <https://doi.org/10.1111/dmcn.12277>
21. Foerster O. Über eine neue operative Methode der Behandlung spastischer Lähmungen mittels Resektion hinterer Rückenmarkswurzeln. *Z Orthop Chir*. 1908;22:203–223.
22. Gros C, Ouaknine G, Vlahovitch B, et al. La radicotomie sélective postérieure dans le traitement neuro-chirurgical de l'hypertonie pyramidale [Selective posterior radicotomy in the neurosurgical treatment of pyramidal hypertension]. *Neurochirurgie*. 1967;13(4):505–518.
23. Fasano VA, Broggi G, Barolat-Romana G, et al. Surgical treatment of spasticity in cerebral palsy. *Childs Brain*. 1978;4(5):289–305. doi: <https://doi.org/10.1159/000119785>
24. Peacock WJ, Arens LJ. Selective posterior rhizotomy for the relief of spasticity in cerebral palsy. *S Afr Med J*. 1982;62(4):119–124.
25. Hesselgard K, Reinstrup P, Stromblad LG, et al. Selective dorsal rhizotomy and postoperative pain management. A worldwide survey. *Pediatr Neurosurg*. 2007;43:107–112. doi: <https://doi.org/10.1159/000098382>
26. Park TS, Johnston JM. Surgical techniques of selective dorsal rhizotomy for spastic cerebral palsy. Technical note. *Neurosurg Focus*. 2006;21(2):e7.
27. Park TS, Liu JL, Edwards C, et al. Functional Outcomes of Childhood Selective Dorsal Rhizotomy 20 to 28 Years Later. *Cureus*. 2017;9(5):e1256. doi: <https://doi.org/10.7759/cureus.1256>
28. Wang KK, Munger ME, Chen BP, et al. Selective dorsal rhizotomy in ambulant children with cerebral palsy. *J Child Orthop*. 2018;12(5):413–427. doi: <https://doi.org/10.1302/1863-2548.12.180123>
29. Peacock WJ, Staudt LA. Functional outcomes following selective posterior rhizotomy in children with cerebral palsy. *J Neurosurg*. 1991;74(3):380–385. doi: <https://doi.org/10.3171/jns.1991.74.3.0380>
30. Park TS, Joh S, Walter DM, et al. Selective Dorsal Rhizotomy for the Treatment of Spastic Hemiplegic Cerebral Palsy. *Cureus*. 2020;12(8):e9605. doi: <https://doi.org/10.7759/cureus.9605>
31. Park TS, Joh S, Walter DM, et al. Selective Dorsal Rhizotomy for Treatment of Hereditary Spastic Paraplegia-Associated Spasticity in 37 Patients. *Cureus*. 2021;13(9):e17690. doi: <https://doi.org/10.7759/cureus.17690>
32. Peacock WJ, Arens LJ, Berman B. Cerebral palsy spasticity: Selective posterior rhizotomy. *Pediatr Neurosci*. 1987;13(2):61–66. doi: <https://doi.org/10.1159/000120302>
33. Bohannon RW, Smith MB. Interrater reliability of a modified Ashworth scale of muscle spasticity. *Phys Ther*. 1987;67(2):206–207. doi: <https://doi.org/10.1093/ptj/67.2.206>
34. Morris SL, Williams G. A historical review of the evolution of the Tardieu Scale. *Brain Inj*. 2018;32(5):665–669. doi: <https://doi.org/10.1080/02699052.2018.1432890>

35. Medical Research Council. Aids to the examination of the peripheral nervous system, Memorandum No. 45, 1976. Available from: <https://www.ukri.org/councils/mrc/facilities-and-resources/find-an-mrc-facility-or-resource/mrc-muscle-scale/>
36. Schwartz MH, Rozumalski A, Steele KM. Dynamic motor control is associated with treatment outcomes for children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol.* 2016;58(11):1139–1145. doi: <https://doi.org/10.1111/dmcn.13126>
37. Roberts A, Stewart C, Freeman R. Gait analysis to guide a selective dorsal rhizotomy program. *Gait Posture.* 2015;42(1):16–22. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2015.04.004>
38. van de Pol LA, Vermeulen RJ, van't Westende C, et al. Risk Factors for Dystonia after Selective Dorsal Rhizotomy in Nonwalking Children and Adolescents with Bilateral Spasticity. *Neuropediatrics.* 2018;49(1):44–50. doi: <https://doi.org/10.1055/s-0037-1607395>
39. Jethwa A, Mink J, Macarthur C, et al. Development of the Hypertonia Assessment Tool (HAT): A discriminative tool for hypertonia in children. *Dev Med Child Neurol.* 2010;52(5):e83–e87. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2009.03483.x>
40. Bax M, Tydeman C, Flodmark O. Clinical and MRI correlates of cerebral palsy: the European Cerebral Palsy Study. *JAMA.* 2006;296(13):1602–1608. doi: <https://doi.org/10.1001/jama.296.13.1602>
41. Volpe JJ. Brain injury in premature infants: a complex amalgam of destructive and developmental disturbances. *Lancet Neurol.* 2009;8(1):110–124. doi: [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(08\)70294-1](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(08)70294-1)
42. Tedroff K, Hägglund G, Miller F. Long-term effects of selective dorsal rhizotomy in children with cerebral palsy: a systematic review. *Dev Med Child Neurol.* 2020;62(5):554–562. doi: <https://doi.org/10.1111/dmcn.14320>
43. Ailon T, Beauchamp R, Miller S, et al. Long-term outcome after selective dorsal rhizotomy in children with spastic cerebral palsy. *Childs Nerv Syst.* 2015;31(3):415–423. doi: <https://doi.org/10.1007/s00381-015-2614-9>
44. Bolster EA, van Schie PE, Becher JG, et al. Long-term effect of selective dorsal rhizotomy on gross motor function in ambulant children with spastic bilateral cerebral palsy, compared with reference centiles. *Dev Med Child Neurol.* 2013;55(7):610–616. doi: <https://doi.org/10.1111/dmcn.12148>
45. 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. doi: <https://doi.org/10.3171/2013.4.PEDS12539>
46. Josenby AL, Wagner P, Jarnlo GB, et al. Motor function after selective dorsal rhizotomy: A 10-year practice-based follow-up study. *Dev Med Child Neurol.* 2012;54(5):429–435. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2012.04258.x>
47. Tedroff K, Lowing K, Jacobson DN, et al. Does loss of spasticity matter? A 10-year follow-up after selective dorsal rhizotomy in cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol.* 2011;53(8):724–729. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2011.03969.x>
48. Tedroff K, Löwing K, Åström E. A prospective cohort study investigating gross motor function, pain, and health-related quality of life 17 years after selective dorsal rhizotomy in cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol.* 2015;57(5):484–490. doi: <https://doi.org/10.1111/dmcn.12665>
49. Ключкова О.А., Куренков А.Л. Мышечная слабость и утрата двигательных навыков у пациентов с детским церебральным параличом // *Вопросы современной педиатрии.* — 2020. — Т. 19. — № 2. — С. 107–115. [Klochkova OA, Kurenkov AL. Muscular Weakness and Loss of Motor Skills in Patients with Cerebral Palsy. *Current Pediatrics.* 2020;19(2):107–115. (In Russ.)] doi: <https://doi.org/10.15690/vsp.v19i2.2103>
50. Linden O, Hägglund G, Rodby-Bousquet E, et al. The development of spasticity with age in 4,162 children with cerebral palsy: A register-based prospective cohort study. *Acta Orthop.* 2019;90(3):286–291. doi: <https://doi.org/10.1080/17453674.2019.1590769>
51. Steinbok P, Reiner AM, Beauchamp R, et al. A randomized clinical trial to compare selective posterior rhizotomy plus physiotherapy with physiotherapy alone in children with spastic diplegic cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol.* 1997;39(3):178–184. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.1997.tb07407.x>
52. Wright FV, Sheil EM, Drake JM, et al. Evaluation of selective dorsal rhizotomy for the reduction of spasticity in cerebral palsy: a randomized controlled trial. *Dev Med Child Neurol.* 1998;40(4):239–247. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.1998.tb15456.x>
53. MacWilliams BA, Johnson BA, Shuckra AL, et al. Functional decline in children undergoing selective dorsal rhizotomy after age 10. *Dev Med Child Neurol.* 2011;53(8):717–723. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2011.04010.x>
54. Steinbok P, McLeod K. Comparison of motor outcomes after selective dorsal rhizotomy with and without preoperative intensified physiotherapy in children with spastic diplegic cerebral palsy. *Pediatr Neurosurg.* 2002;36(3):142–147. doi: <https://doi.org/10.1159/000048369>
55. Ключкова О.А., Куренков А.Л., Кенис В.М. Формирование контрактур при спастических формах детского церебрального паралича: вопросы патогенеза // *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста.* — 2018. — Т. 6. — № 1. — С. 58–66. [Klochkova OA, Kurenkov AL, Kenis VM. Development of contractures in spastic forms of cerebral palsy: Pathogenesis and prevention Pediatric Traumatology. *Orthopaedics and Reconstructive Surgery.* 2018;6(1):58–66. (In Russ.)] doi: <https://doi.org/10.17816/PTORS6158-66>
56. Munger ME, Aldahondo N, Krach LE, et al. Long-term outcomes after selective dorsal rhizotomy: a retrospective matched cohort study. *Dev Med Child Neurol.* 2017;59(11):1196–1203. doi: <https://doi.org/10.1111/dmcn.13500>
57. Chicoine MR, Park TS, Kaufman BA. Selective dorsal rhizotomy and rates of orthopedic surgery in children with spastic cerebral palsy. *J Neurosurg.* 1997;86(1):34–39. doi: <https://doi.org/10.3171/jns.1997.86.1.0034>
58. O'Brien DF, Park TS, Puglisi JA, et al. Orthopedic surgery after selective dorsal rhizotomy for spastic diplegia in relation to ambulatory status and age. *J Neurosurg.* 2005;103(1Suppl):5–9. doi: <https://doi.org/10.3171/ped.2005.103.1.0005>
59. Hidconmez T, Steinbok P, Beauchamp R, et al. Hip joint subluxation after selective dorsal rhizotomy for spastic cerebral palsy. *J Neurosurg.* 2005;103(1Suppl):10–16. doi: <https://doi.org/10.3171/ped.2005.103.1.0010>
60. Nordmark E, Josenby AL, Lagergren J, et al. Long-term outcomes five years after selective dorsal rhizotomy. *BMC Pediatr.* 2008;8:54. doi: <https://doi.org/10.1186/1471-2431-8-54>
61. Miller SD, Juricic M, Hesketh K, et al. Prevention of hip displacement in children with cerebral palsy: a systematic review. *Dev Med Child Neurol.* 2017;59(11):1130–1138. doi: <https://doi.org/10.1111/dmcn.13480>
62. Limpaphayom N, Stewart S, Wang L, et al. Functional outcomes after selective dorsal rhizotomy followed by minimally invasive tendon lengthening procedures in children with spastic cerebral palsy. *J Pediatr Orthop B.* 2020;29(1):1–8. doi: <https://doi.org/10.1097/BPB.0000000000000642>
63. Langerak NG, Vaughan CL, Hoffman EB, et al. Incidence of spinal abnormalities in patients with spastic diplegia 17 to 26 years after selective dorsal rhizotomy. *Child Nerv Syst.* 2009;25(12):1593–1603. doi: <https://doi.org/10.1007/s00381-009-0993-5>
64. Buckon CE, Thomas SS, Piatt J, et al. Selective dorsal rhizotomy versus orthopedic surgery: a multidimensional assessment of outcome efficacy. *Arch Phys Med Rehabil.* 2004;85(3):457–465. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2003.05.009>
65. Morota N. Functional posterior rhizotomy: the Tokyo experience. *Childs Nerv Syst.* 2007;23(9):1007–1014. doi: <https://doi.org/10.1007/s00381-007-0381-y>
66. Hurvitz EA, Marciniak CM, Daunter AK, et al. Functional outcomes of childhood dorsal rhizotomy in adults and adolescents with cerebral palsy. *J Neurosurg Pediatr.* 2013;11(4):380–388. doi: <https://doi.org/10.3171/2013.1.PEDS12311>