

Гипотеза в области лечения ДЦП методом переноса паттернов движения от здорового человека к пациенту. В применении к тренировкам с положительной обратной биологической связью и не только.

Глоссарий(неполный):

- **ДЦП** — детский церебральный паралич.
- **БОС** — биологическая обратная связь
- **Спастичность** - неврологический синдром, характеризующийся **повышенным мышечным тонусом** и увеличением сопротивления мышц пассивному растяжению. В результате мышцы непроизвольно сокращаются или напрягаются.
- **Спастическая диплегия** - Наиболее распространённая форма ДЦП — встречается более чем в 70% случаев. При этой форме преимущественно поражаются нижние конечности: наблюдается повышенный мышечный тонус (спастичность) и нарушение координации движений ног, тогда как руки обычно страдают в меньшей степени.
- **Спастическая гемиплегия** - так же называется «односторонний спастический ДЦП» или «гемипарез» — одна из распространённых форм детского церебрального паралича (ДЦП). При этом виде ДЦП двигательные нарушения проявляются преимущественно на одной стороне тела (левой или правой). Характерная черта — спастичность — патологически высокий мышечный тонус, из-за которого мышцы постоянно находятся в сокращённом состоянии.
- **Гиперкинетическая форма ДЦП** - это форма заболевания, при которой у человека наблюдаются **непроизвольные движения** (гиперкинезы). Эти движения могут быть разными по характеру: атетоз (медленные, червеобразные движения), дистония (непроизвольные сокращения мышц), хорея (быстрые, отрывистые, нерегулярные движения).
- **Атетоидная форма ДЦП** - это форма заболевания характеризуется **непроизвольными, медленными и извивающимися движениями**, которые затрагивают руки, ноги, лицо и язык. Эти движения усиливаются при попытке произвольных движений.

Определение ДЦП

Детский церебральный паралич (ДЦП) - группа стабильных нарушений развития моторики и поддержания позы, ведущих к двигательным дефектам, обусловленным не прогрессирующим повреждением и/или аномалией

развивающегося головного мозга у плода или новорожденного ребёнка.

Биологическая обратная связь в применении к лечению ДЦП.

Существует, и широко используется для лечения ДЦП метод биологической обратной связи (БОС) мышц — это метод, при котором человек учится осознанно управлять мышечным тонусом, силой сокращения и координацией движений с помощью внешних стимулов (звуковых или визуальных сигналов). Эти сигналы предоставляют информацию о состоянии мышц в реальном времени, что позволяет корректировать их работу. Метод особенно эффективен в реабилитации, спорте и при коррекции двигательных нарушений.

Принцип работы БОС применительно к мышечной системе человека.

1. **Регистрация мышечного сигнала.** На кожу пациента накладываются электроды, которые фиксируют биоэлектрическую активность мышц (электромиографию — ЭМГ). Датчики улавливают даже минимальные сокращения мышц, невидимые глазу.
2. **Преобразование сигнала.** Полученные данные передаются в компьютер, где обрабатываются и преобразуются в доступные для восприятия формы — визуальные или звуковые образы.
3. **Обратная связь.** Пациент видит на экране графики, диаграммы, игровые элементы или анимации, которые отражают уровень мышечного напряжения, или слышит звуковые сигналы, меняющиеся в зависимости от активности мышц. Например, мышечное напряжение может быть представлено в виде взлетающего самолёта: чем сильнее напряжение, чем выше он поднимается.
4. **Обучение и коррекция.** Наблюдая за этими сигналами, человек методом проб и ошибок ищет ментальные стратегии (дыхание, визуализация, концентрация), которые позволяют изменить показатель в нужную сторону — например, расслабить перенапряжённые мышцы или усилить сокращение.
5. **Закрепление навыка.** Постепенно мозг и тело запоминают эту связь, и навык управления физиологической функцией становится автоматическим.

Недостатки метода БОС применительно к мышечной системе человека.

1. **Эффективность.** Эффективность БОС-терапии тесно связана с мотивацией пациента, его способностью к самоконтролю и личностными особенностями. Метод требует активного участия: пациент должен осознанно работать над изменением физиологических параметров, следовать инструкциям и регулярно тренироваться.
2. **Возраст младше 4–5 лет** считается относительным противопоказанием. В этом возрасте детям может быть сложно осознать и выполнить требования тренинга.
3. **Недостаточное понимание механизмов БОС.** Физиологические механизмы метода изучены не в полной мере.
4. **Необходимость специального оборудования и контроля специалиста.** Самостоятельно проводить БОС-терапию нельзя.
5. **Зависимость от качества регистрации сигналов.** Помехи или неточности в работе датчиков могут снизить эффективность тренировок.
6. **Спастичный мышечный тонус** — одно из ключевых проявлений ДЦП, которое может снижать эффективность БОС-тренинга. Спастичность затрудняет активное участие пациента в процессе обучения и коррекцию движений.
7. **Разнообразие клинических проявлений ДЦП.** Усложняет стандартизацию протоколов лечения. Метод может быть более или менее эффективным в зависимости от формы ДЦП, степени поражения, возраста пациента и других факторов.
8. **Недостаточная нейропластичность.** У некоторых пациентов с ДЦП может ограничивать возможности обучения навыкам саморегуляции, которые лежат в основе БОС.
9. **Гетерогенность исследований.** Многие работы демонстрируют улучшения при применении БОС при ДЦП, но их доказательная сила часто невелика из-за разнородности методов, небольших выборок и отсутствия единых стандартов.
10. **Не устраняет первопричину.** ДЦП — это стойкое нарушение развития мозга, вызванное перинатальным повреждением. БОС учит компенсаторным стратегиям контроля мышц, но не восстанавливает повреждённые пирамидные и экстрапирамидные пути, не уменьшает структурные изменения в белом веществе или базальных ганглиях. Поэтому при прогрессирующих контрактурах, выраженных ортопедических деформациях или после 8–10 лет (когда пластичность мозга снижается) эффект ограничен.
11. **Риск перетренировки или неправильного обучения.** Если обратная связь настроена некорректно, ребёнок может научиться

неправильным паттернам (например, усиливать компенсаторные синкинезии вместо селективного контроля). Некоторые исследования отмечают временное увеличение усталости или раздражения.

12. **Ограничения при коморбидностях.** При эпилепсии, тяжёлой спастичности с болевым синдромом, выраженных нарушениях зрения (БОС часто визуальный) или слуха метод либо противопоказан, либо требует значительной модификации. Не все формы ДЦП (атетонидная, гиперкинетическая) одинаково хорошо реагируют; лучше всего отвечает спастическая диплегия и гемиплегия с сохранным интеллектом.

Содержание гипотезы.

Классическая БОС-терапия использует обратную связь от мышц мышечной системы пациента. Эта обратная связь фиксируется сознанием пациента, и далее пациент сознательно оперирует этой обратной связью, конкретнее — информацией, которая предоставляется этой обратной связью. Эта информация используется с целью коррекции паттернов движения конечностей и/или отдельных мышц в частности.

Схема действия БОС-ТЕРАПИИ(смысловая схема):



Возможно существование другого способа обеспечения БОС-терапии.

Можно отказаться от предоставления БОС от мышц пациента к его сознанию. Нужно задаться следующим вопросом: какова конечная идеальная цель БОС-ТЕРАПИИ? - скорее всего идеальная конечная цель такой терапии заключается в том, чтобы пациент смог своими усилиями создать полноценный, работоспособный паттерн двигательной активности, позволяющий ему управлять мышцами тела так, как это делает здоровый человек.

Основная идея гипотезы:

В таком случае можно предложить следующую идею: Нужно взять динамический паттерн движения(ДПД) у здорового человека, и, образно выражаясь, ознакомить мышечную систему пациента с данным динамическим паттерном движения здорового человека. Фактически, ДПД здорового человека становится шаблоном.

Как это предположительно можно сделать?

Рассмотрим ходьбу как динамический паттерн двигательной активности.

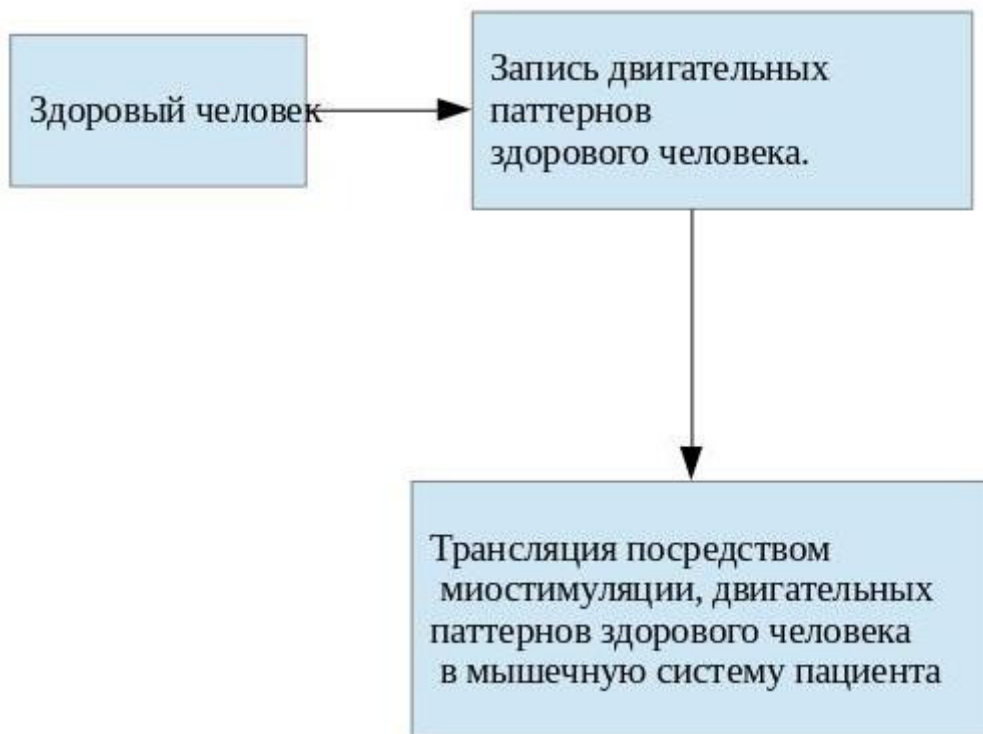
Что это значит? - ходьба - это периодические сокращения и расслабления определенных групп мышц в определенной последовательности, с определенной интенсивностью, в определенные промежутки времени. Итак, возьмем для примера ходьбу.

1. Выбирается здоровый человек, приблизительно такого же возраста, пола, телосложения, приблизительно одинаковых с пациентом физических размеров.
2. В простейшем случае применяется поверхностная(накожная) электромиография(ЭМГ). На как можно большее количество мышц, участвующих в ходьбе, прикрепляются электроды.(разумеется речь идет о креплении на поверхность кожи)
3. Все электроды подключаются к компьютеру для синхронной(это важно!) записи двигательной активности всех мышц, к которым подключены электроды. В компьютере, для осуществления такой записи, должно быть установлено специальное программное обеспечение.
4. Здоровый человек начинает ходьбу, его мышцы начинают сокращаться и расслабляться в определенной последовательности, с определенной интенсивностью, в определенные промежутки времени.
5. Происходит запись его динамического двигательного паттерна(ДПД) ходьбы.
6. К мышцам пациента, которые участвуют в ходьбе, прикрепляют

электроды для миостимуляции(разумеется речь идет о креплении на поверхность кожи). В зависимости от размеров мышц речь может идти либо об электрической миостимуляции, либо о магнитной миостимуляции.

7. Электроды подключаются к компьютеру, содержащему ДПД ходьбы здорового человека. Специальная программа, сопоставляет номера электродов, прикрепленных к телу пациента, с соответствующими номерами электродов, прикрепленных к тем же видам мышц, в записи ДПД, что и у здорового человека. Это делается для того, чтобы исключить ситуацию, когда запись двигательной активности квадрицепса будет транслироваться например на икроножную мышцу. Формулируя по другому: вид мышцы, чья активность записана, и вид мышцы на которую будет транслироваться запись активности с помощью миостимуляции, **должны совпадать**.
8. Включается запись. На электроды начинают транслироваться сигналы из записи. Мышцы пациента начинают сокращаться в определенной последовательности, с определенной интенсивностью, в определенные временные промежутки, согласно транслируемому через электроды, ДПД ходьбы здорового человека. Пациентам с сильной спастичностью, предположительно, перед процедурой воспроизведения записи, возможно лучше провести процедуры направленные на расслабление спастичных мышц.
9. Завершение сеанса трансляции записи.

Схема работы метода по трансляции двигательного паттерна от здорового человека к пациенту:



Таким образом, пациент получает готовый, полноценный двигательный паттерн ходьбы от здорового человека в качестве готового образца.

Данная, вышеизложенная последовательность действий является, предположительно наиболее простой и доступной для проверки работоспособности на практике. Это наиболее простая версия излагаемой в данном тексте гипотезы.

Также, возможно, стоит использовать, как для записи ДПД так и для трансляции ДПД более сложную версию вышеизложенной последовательности действий. Например вместо поверхностных электродов, в более сложных случаях можно использовать метод **инвазивной функциональной электростимуляции (ИФЭС)**. Эффективность метода и его точность в таком случае должны быть выше. **Но знания в данной области у меня отсутствуют.**

Определение1: Динамический паттерн двигательной активности(ДПД) — это совокупность двигательных активностей мышц, необходимых для осуществления определенного движения тела человека, его конечности и так далее.

Определение2: Трансляция ДПД — это процесс активации определенной совокупности мышц пациента с помощью трансляции записи ДПД с

электронного носителя(с помощью компьютерной программы) в каждую соответствующую мышцу пациента, участвующую в тренируемом пациентом движении.

Какие эффекты возможно будут работать при проведении данной процедуры?

При воспроизведении ДПД здорового человека на мышечной системе пациента, мозг пациента неизбежно будет фиксировать новый паттерн активации мышц. Должна сработать обратная афферентация. А также модуляция активности пирамидной и экстрапирамидной систем.

Соответственно, образно выражаясь, мозг пациента даже без участия сознания «поймет» как нужно правильно активировать, в какой последовательности, с какой интенсивностью ту или иную мышцу в данном конкретном движении. Разумеется пациенту следует сознательно участвовать(внимательное наблюдение и запоминание) в данной процедуре воспроизведения ДПД для максимальной эффективности.

Дополнительные предположения.

1. Можно создать для пациента обогащенную сенсорную среду: при записи ДПД здорового человека, можно записывать не только последовательности двигательных активностей его мышц, но и одновременно с этим записывать его дыхание и сердцебиение в виде аудиозаписи. После, во время трансляции записи ДПД на мышечную систему пациента, пациент через аудионаушники слушает дыхание и сердцебиение человека совершающего ДПД. Это, образно выражаясь, может помочь мозгу сформировать правильный паттерн движения, путем передачи «дополнительной информации» вдобавок к уже поступающей информации через трансляцию ДПД.
2. ***Аналоговая или цифровая запись и воспроизведение сигнала ДПД.*** Возможно, желательно, чтобы запись и воспроизведение сигналов двигательной активности мышц были аналоговыми или максимально приближены к таковым. Предположительная причина: Доподлинно неизвестно какие типы сигналов и каким образом активируют мышцы, и какую информацию получит мозг пациента при обратной афферентации. Возможно цифровой сигнал будет приводить к другому, неестественному паттерну активации отдельной мышцы. С другой стороны возможно, что цифровая форма сигнала предпочтительнее для реабилитации в рамках данной гипотезы. Нужны исследования в данной области, или поиск

соответствующих научных работ.

3. ***Стохастический резонанс.*** Стохастический резонанс в контексте миостимуляции теоретически может объяснять некоторые эффекты, связанные с усилением реакции мышц на стимуляцию. Возможно, при записи ДПД стоит оставлять все сопутствующие шумы, или даже дополнительно добавлять. Или немного усиливать уже имеющиеся в записи ДПД.
4. ***Усиленная версия*** данной гипотезы выглядит следующим образом: Применять данную разновидность БОС-терапии вместе с движением пациента в экзоскелете. То есть мышечная система пациента, образно выражаясь, «пытается двигаться во время трансляции ДПД», а экзоскелет в это время, выполняет движения под управлением этой же записи ДПД, с помощью специальной компьютерной программы. Которая синхронизирует работу экзоскелета с трансляцией записи ДПД, и если нужно, корректирует работу экзоскелета. При этом через аудионаушники, пациент слушает, синхронно с трансляцией ДПД, дыхание и сердцебиение человека — источника ДПД.

Предположительно сильные стороны рассматриваемой гипотезы(в форме вопросов):

1. В изначальной, базовой версии данной гипотезы, оборудование для исследований и проверки стоит сравнительно дешево, по сравнению с оборудованием, применяемым в других методах лечения ДЦП. Фактически нужны: миостимулятор, компьютер с программным обеспечением, и электромиограф.
2. Можно измеримо отслеживать прогресс пациента, так как изначальный «правильный» образец движения уже в наличии.
3. Высокая скорость набора статистики для анализа и дальнейших исследований, ввиду дешевизны, сравнительной простоты используемого оборудования. - Если речь идет о базовой версии данной гипотезы, то речь идет об оборудовании для миографии\миостимуляции с накладными электродами.
4. В худшем случае, если пациент не знает(не понимает) инструкций и\или объяснений, информация через обратную афферентацию и другие механизмы все равно будет поступать в мозг. Но предполагаемый эффект скорее всего будет гораздо слабее.

Предположительно слабые стороны рассматриваемой гипотезы(в форме вопросов):

1. Достаточно ли будет механизмов обратной афферентации и модуляции активности пирамидной и экстрапирамидной систем для, образно выражаясь, усвоения пациентом передаваемого ДПД ?
2. Имеет ли такой способ «передачи ДПД» от здорового человека к пациенту накопительный эффект — то есть, сколько сеансов «передачи ДПД» нужно провести, чтобы двигательные паттерны пациента начали ощущаться, технически фиксируемо, улучшаться? И сколько таких сеансов нужно для полной замены двигательного паттерна пациента на здоровый? - возможно ли это вообще?
3. Имеет ли такой способ «передачи ДПД» от здорового человека к пациенту достаточную эффективность, чтобы можно было отслеживать изменения в пораженных участках головного мозга с помощью томографа?
4. Для проверки более сильной версии данной гипотезы — с инвазивными электродами, и/или с синхронным применением экзоскелетов нужны значительные финансовые средства. Также нужно более сложное в обслуживании и дорогое оборудование. Нужно сложное программное обеспечение, позволяющее синхронизировать и в случае возникновения отклонений корректировать одновременную работу экзоскелета и воспроизведение записи ДПД.
5. Миостимулятор и электромиограф должны обеспечивать максимально точные запись и стимуляцию мышечной активности. То есть мышцы должны сокращаться с заранее выбранными интенсивностью, скоростью, временем — точно воспроизводя запись двигательной активности мышц здорового человека, чьи двигательные паттерны были записаны.

В чем перспективность данной гипотезы в случае подтверждения на практике?

В случае подтверждения на практике, описываемый в качестве гипотезы в данном тексте метод реабилитации пациентов с ДЦП, инсультами может стать более эффективным, чем существующие сейчас методы реабилитации.

Основное преимущество данного метода заключается в том, что пациенту, с помощью технических средств предоставляются готовые двигательные паттерны здорового человека. В результате, пациенту не нужно формировать двигательный паттерн самостоятельно, методом проб и ошибок, его задача сводится к усвоению и закреплению уже готового паттерна.

Примечание*: Данную гипотезу можно проверить на взрослых здоровых добровольцах. Для этого их надо обучить, используя описываемый в данном тексте метод, какому либо двигательному навыку, которым они до этого не владели.

Еще одной областью применения описываемого в данной гипотезе метода, является перенос двигательных навыков от обученного человека к необученному. Что это значит? - Можно записать правильные движения обученного человека — например определенные движения в спорте, приемы в единоборствах. Манипуляции, требующие мелкой моторики рук — например управление летательными аппаратами, хирургия и так далее. Разумеется, что данный метод может применяться(если будет доказана его эффективность) только на начальном этапе обучения, что то вроде «первичной разметки» или образца для подражания. Но у обучаемого уже появляется готовый паттерн движения, который он, разумеется «подстроит под себя», но все же, ему не нужно создавать двигательный паттерн с нуля. - Именно в этом, на мой взгляд, заключается полезность этого метода для обучения здоровых людей новым двигательным навыкам. Разумеется, все вышеописанное будет возможно, если описываемая в данном тексте гипотеза подтвердится.

Ссылки на научные статьи, работы:

Стохастический резонанс:

1. Matsugi A, Oku K and Mori N (2020) The Effects of Stochastic Galvanic Vestibular Stimulation on Body Sway and Muscle Activity. *Front. Hum. Neurosci.* 14:591671. doi: 10.3389/fnhum.2020.591671
2. Nobusako S, Osumi M, Matsuo A, Furukawa E, Maeda T, Shimada S, Nakai A and Morioka S (2021) Influence of Stochastic Resonance on Manual Dexterity in Children With Developmental Coordination Disorder: A Double-Blind Interventional Study. *Front. Neurol.* 12:626608. doi: 10.3389/fneur.2021.626608
3. Влияние стохастической резонансной стимуляции на двигательные функции у детей с гемиплегической формой детского церебрального паралича: пилотное клиническое исследование. Авторы: Джессика Линн, Эллисон Вулф, Трэвис Бриджес, Закари Поттанат, Сюзанна Спайви, Оливье Ролен. PMID: 35187840 DOI: 10.1002/pmrj.12788

Способы и методы уменьшения спастичности мышц пациентов с ДЦП:

1. Куренков А.Л., Батышева Т.Т., Виноградов А.В., Зюзяева Е.К. Спастичность при детском церебральном параличе: диагностика и стратегии лечения. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. Спецвыпуски.* 2012;112(7-2):24-28.
Kurenkov AL, Batysheva TT, Vinogradov AV, Ziuziaeva EK. Spasticity in children cerebral palsy: diagnosis and treatment strategies. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry.* 2012;112(7-2):24-28. (In Russ.)

2. Красавина Д.А., Иванов Ю.И. Новые возможности в лечении детей со спастичностью. РМЖ. Медицинское обозрение. 2021;5(10):630-635. DOI: 10.32364/2587-6821-2021-5-10-630-635.

Влияние пассивных движений конечностей пациентов на состояние мышц и соответствующих зон головного мозга:

1. Nakagawa M, Sasaki R, Tsuiki S, Miyaguchi S, Kojima S, Saito K, Inukai Y and Onishi H (2017) Effects of Passive Finger Movement on Cortical Excitability. Front. Hum. Neurosci. 11:216. doi: 10.3389/fnhum.2017.00216
2. Диноме М., Шенье Э., Линьон Г., Ришар И., Тер Минасян А., Тич С.Н. Влияние видеоподсказок на пассивные движения у пациентов с церебральным параличом: исследование с помощью функциональной магнитно-резонансной томографии. Res Dev Disabil. 2013 Oct;34(10):3487-96. DOI: 10.1016/j.ridd.2013.07.008. Опубликовано 6 августа 2013 г. PMID: 23927991.
3. Непрерывные пассивные движения и физиотерапия (НПД) в сравнении с физиотерапией (ФТ) и отсроченной физиотерапией (ОФТ) после хирургического лечения локтевых контрактур: протокол проспективного рандомизированного контролируемого исследования. Джетске Вивин, Йоб Н. Дорнберг, Изаак Ф. Кодде, Пётр Гуссенс, Коэн Л. М., Коенраадт, Бертрам Те, Дениз Эйгендал. PMID: 29166890 DOI: [10.1186/s12891-017-1854-0](https://doi.org/10.1186/s12891-017-1854-0)

Влияние активно - пассивных движений конечностей пациентов с ДЦП, с использованием экзоскелетов, на состояние мышц и соответствующих зон головного мозга:

1. Изменение показателей ходьбы параолимпийцев с диагнозом детский церебральный паралич при использовании тренажерной системы WALKBOT на восстановительном этапе реабилитации В. В. Горелик, С. Н. Филиппова, О. С. Сментына, Л. С. Ревчук, Я. В. Давыдова. DOI: <https://doi.org/10.17816/PAVLOVJ611555>
2. Нефедьева Д.Л., Абдрахманова Л.И., Бодрова Р.А. Эффективность применения роботизированного комплекса Walkbot у пациентов с детским церебральным параличом // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. - 2024. - Т. 6. - №3. - С. 253-262. DOI: [10.36425/rehab631151](https://doi.org/10.36425/rehab631151)
3. Когерентность ЭЭГ у детей с ДЦП на фоне реабилитации с применением нейроинтерфейса «мозг — компьютер — экзоскелет кисти». Авторы: В.Б. Павленко, С.В. Власенко, Е.Н. Чуян, Д.В.Павленко, Л.С. Орехова, Е.А. Бирюкова. Ссылка: <https://doi.org/10.24075/vrgmu.2024.020>

4. Artoni, F., Cometa, A., Dalise, S. et al. Кортико-мышечная связь модулируется при пассивной и активной ходьбе с помощью Lokomat. Sci Rep 13, 21618 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-48072-x>

Влияние миостимуляции на пациентов с ДЦП, на состояние мышц и соответствующих зон головного мозга:

1. Mooney JA and Rose J (2019) A Scoping Review of Neuromuscular Electrical Stimulation to Improve Gait in Cerebral Palsy: The Arc of Progress and Future Strategies. Front. Neurol. 10:887. doi: 10.3389/fneur.2019.00887
2. Оу Ч. Х., Шиу С. С., Куан Ю. С., Лиу Т. Х., Чен Х. К., Куо Т. Дж. Нейромышечная электростимуляция верхних конечностей у пациентов с церебральным параличом: систематический обзор и метаанализ рандомизированных контролируемых исследований. Am J Phys Med Rehabil. 1 февраля 2023 г. 102(2):151-158. doi: 10.1097/PHM.0000000000002058. Опубликовано 9 июня 2022 г. PMID: 35687763.