

Методологические и практические аспекты сенсорной терапии и нейромоторного переобеспечения в современной нейрореабилитации

Велики резервы пластических перестроек деятельности ЦНС человека – как в норме, так и в процессе реабилитационной терапии различных заболеваний головного мозга. Безусловно, пластические свойства детского мозга намного выше, чем мозга взрослого человека. Тем не менее, построение и реализация программ нейрореабилитации больных зрелого возраста не оставляют, к счастью, у врача горького осадка бессилия современной восстановительной медицины в борьбе с заболеваниями нервной системы. Успехи в лечении многих заболеваний ЦНС, достигнутые в последние годы, очевидны и неоспоримы. Некоторые подходы в нейрореабилитации пациентов при заболеваниях ЦНС с преимущественным развитием двигательного-координаторных расстройств описаны в настоящей статье.

Известно, что целенаправленное формирование какого-либо навыка, двигательной функции сопровождается образованием в структурах ЦНС **артифициальных стабильных функциональных связей**, закрепляющихся, в конечном итоге, на уровне молекулярных перестроек и модуляции нейротрансмиттерных систем (Н.П. Бехтерева, 1980). Методы достижения указанных перестроек чаще всего являются безмедикаментозными, вовлекающими в процесс позитивных изменений своей работы различные сенсорные системы.

В предыдущих публикациях уже обосновывалась целесообразность использования в восстановительном лечении больных с поражениями нервной и опорно-двигательной систем методов т.н. «сенсорной терапии». При данной патологии это оправдано и с позиций патогенеза развития многих заболеваний, и из экономических соображений.

Методы сенсорной терапии основаны на рефлекторном принципе и – в целях создания модально специфических афферентных потоков – предполагают приложение к различным анализаторным входам пациента преформированных факторов, среди которых предпочтение отдается экологически безопасным, не чужеродным, встречающимся и в живой природе воздействиям.

В настоящем сообщении описываются некоторые терапевтические подходы в восстановительном лечении детей, подростков и взрослых, основанные на стимуляции извне или произвольной активации пациентом специфических для двигательных функций сенсорных входов – вестибулярного и проприоцептивного.

Безусловно, в историческом аспекте следует отметить многочисленные методы и системы **кинезитерапии** (лечебной физкультуры, нейромоторного переобеспечения). Ведущая роль массажа и кинезитерапии как действенных методов формирования направленных афферентных

потоков в лечебном процессе неоспорима, и изложение принципов и конкретных алгоритмов их исполнения не является темой настоящего сообщения.

В некоторых клиниках не утратил своего значения метод весьма эффективной модуляции и коррекции патологически усиленной афферентации от спастически напряжённых мышц и других рецепторных образований деформированного патологическими установками и контрактурами мышечно-суставно-связочного аппарата – **искусственная локальная гипотермия**. Привлекательность этой технологии заключается в том, что в самом простом исполнении при выраженных и достаточно стойких клинических эффектах метод не предусматривает использования какой-либо сложной техники; апплицируемый на мышцы и сухожилия хладагент представляет собой обычную ледяную крошку.

Несколько особняком стоит многочисленная группа методов и технических приёмов лечения пациентов при помощи **биологической обратной связи (БОС)**. В России это направление чаще описывается термином **функциональное биоуправление (ФБУ)**. Исключительность метода ФБУ заключается в том, что никакое внешнее воздействие какими-либо природными или преформированными факторами в традиционном понимании на пациента не оказывается. От страдающего тем или иным заболеванием или функциональными расстройствами человека требуется исключительно произвольными усилиями, осознанной регуляцией добиваться изменений определённых функций и параметров деятельности организма, которые и являются мишенями при проведении БОС-терапии.

Естественно, возникает проблема текущего, в режиме реального времени, контроля правильности выполнения пациентом различных тренируемых движений, успешности управления регуляцией позы или адекватной релаксации организма; показателями успешной релаксации чаще всего выступают некоторые вегетативные параметры и характеристики альфа-ритма ЭЭГ. В этих целях используется подаваемая через различные сенсорные входы человека (зрение, слух, кожно-тактильный анализатор и др.) информация об успешности или, наоборот, о низком качестве выполнения того или иного двигательного действия и произвольно регулируемого расслабления. Разумеется, эффективность этого лечения возможна только при вовлечении достаточно мощных мотивационных механизмов, поэтому контроль пациентом качества своего биорегулирования осуществляется в увлекательной игровой форме, с яркой графикой различных сюжетов на мониторе компьютера и при помощи эмоционального звукового ряда, подаваемого через специальные наушники.

Всё большей популярностью пользуются компьютерные комплексы ФБУ одновременно для нескольких пациентов, когда их лечение осуществляется в условиях увлечённой соревновательной деятельности друг с другом, с накоплением в базе данных баллов и других критериев результата своих действий, а не в условиях т.н. «борьбы» с виртуальным «противником», генерируемым компьютерной программой.

Наиболее традиционны для российской восстановительной медицины стационарные компьютерные комплексы или портативные приборы для отработки правильности выполнения произвольного движения по показателям гониометрической (по величине значений суставного угла) или ЭМГ-обратной связи. При этом в ходе процедуры и контроля самим пациентом качества её выполнения создаются мощные направленные афферентные потоки проприоцептивной модальности, достигающие мозговых структур управления движениями и создающие предпосылку закрепления приближенных к норме механизмов двигательной регуляции.

Одной из современных разработок для БОС-терапии является кабинет **«НейроБОСрелакс»** (разработка НМФ «Статокин», Россия), предназначенный для релаксации и психофизиологического регулирования по показателям ЭЭГ, а также для описанной выше коррекции двигательных-координаторных нарушений при заболеваниях нервной и опорно-двигательной систем по показателям ЭМГ и гониометрического профиля.

Для объективной оценки двигательной реабилитации используется разработанный нами совместно с ОКБ «Ритм» компьютерный комплекс **«Статокинезиметр – СтабилАн»**, в своей диагностической части исследующий функции равновесия и статокинетической устойчивости человека методом компьютерной статокинезиметрии (стабилометрии) с синхронной кардиоинтервало- и пневмографией, регистрацией биоэлектрической активности антигравитационной мускулатуры.

Другое же, не менее важное назначение комплекса – его использование в качестве эффективного тренажёра, функционирующего на принципе БОС зрительной модальности (в игровой ситуации стоящим на стабиллоплатформе пациентом осуществляется постоянный контроль положения своего тела), для восстановительного лечения при нарушениях функций координации и равновесия. В комплексе реализован богатый набор компьютерных реабилитационных и развивающих игр, умело эксплуатирующих принцип мотивационной заинтересованности пациента в результатах игровой сессии. Также в этой технологии ФБУ по стабиллограмме возможно использование двуплатформенного варианта с реальным соревнованием в успешности управления вертикальной позой и двигательной координацией сразу двух пациентов.

Вестибулотерапия, или пассивная вестибулярная тренировка, предусматривает стимуляцию рецепторов полукружных каналов специфическим для этих рецепторов раздражителем – механической энергией угловых ускорений во время вращения пациента на специальных ротационных стендах. До недавнего времени широкое внедрение этого достаточно эффективного метода сенсорной терапии сдерживало отсутствие на российском рынке ротационных установок (электровращающихся кресел), не менее остро необходимых и для исследования вестибулярной функции в условиях вращательных тестов. В настоящее время первое отечественное устройство для вестибулодиагностики и вестибулоте-

рапии – **Ротационный компьютерный стенд «Гармония»** (разработка НМФ «Статокин») – готово к внедрению в профильные клиники.

В патогенезе двигательных нарушений у больных детским церебральным параличом одно из ведущих мест отводится дисбалансу рефлекторной активности более древних в онтофилогенезе отолитовых органов (тонические феномены скелетной и глазодвигательной мускулатуры; в варианте заболевания – своевременно нередуцированный лабиринтный тонический рефлекс) и более молодых полукружных каналов, обеспечивающих формирование установочных и статокинетических реакций. Проведение вестибулотерапии стимулирует жизненно важные для возрастного двигательного развития организма реакции полукружных каналов, которые по реципрокному принципу способствуют снижению интенсивности приобретенных патогенетического значения тонических реакций отолитовых органов (К.А. Семёнова, В.И. Доценко, 1988).

Известна также тесная взаимосвязь вестибулярных реакций и зрительной информации, формирующей постоянное окружение человека в его повседневной деятельности. В связи с высокой актуальностью изучения данной проблемы в целях исследования глазодвигательной регуляции и вестибулярной функции в целом специалистами НМФ «Статокин» разработан аппаратно-программный комплекс **«ОкулоСтим»**, позволяющий проводить полифакторное отоневрологическое и психофизиологическое тестирование.

В рамках же описываемой концепции создания направленных афферентных потоков приложение к зрительному афферентному входу пациента **стимуляционных программ лечебной направленности** позволяет повысить его статокинетическую устойчивость и адаптацию к постоянно меняющемуся зрительному окружению. Этот метод лечения выступает эффективным средством купирования и профилактики пароксизмальных состояний, в структуре которых ведущими клиническими симптомами являются головокружение, зрительные иллюзии и связанные с ними вегетативные нарушения (Л.Н. Корнилова и соавт., 2004).

По своей идеологии и механизмам реализации сано-генетических эффектов с кинезитерапией очень созвучен описываемый ниже современный инструментальный метод перестройки патологического двигательного стереотипа у больных ортопедо-неврологического профиля.

Функциональная программируемая электростимуляция (ФПЭС) мышц, осуществляемая во время двигательного акта ходьбы или любых других циклических, стереотипных двигательных актов (бега, занятий на велотренажёре или беговой дорожке, при имитирующих греблю движениях верхних конечностей и др.), также относится к обширному классу методов «сенсорной терапии». Несмотря на то, что подводимое извне импульсное электрическое воздействие на нерв/мышцу в естественной среде жизнеобитания человека не встречается, негативных изменений со стороны ЦНС или нарушений адаптационных реакций не отмечается. Данное положение становится объяснимым с учётом значимой патогенетической целесообразности ФПЭС, которая моделирует выработанную в эволюции *пространственно-временную организацию мышечной активности*.

Применяемая в клинической и спортивной реабилитации традиционная стимуляционная техника в условиях неподвижного положения пациента/спортсмена при своём воздействии на нервно-мышечную систему

базируется на использовании преимущественно *силовых характеристик электрического тока*. Это полезно, т.к. улучшает метаболизм нервной и мышечной ткани, усиливает крово- и лимфообращение, что в конечном счёте способствует увеличению мышечной массы, оптимизации функции «сокращение-расслабление». Лечебные эффекты реализуются преимущественно на уровне периферического нейромоторного аппарата.

Однако электростимуляция покоя протекает в условиях, далёких от реального функционирования мышц. Этот метод электромиостимуляции не связан с координацией двигательного акта, а значит, не может влиять ни на коррекцию, ни на выработку нового двигательного стереотипа (А.С. Витензон, 1981; 1982).

Напротив, восстановительное лечение двигательных нарушений методом ФПЭС моделирует выработанную в эволюции пространственно-временную организацию мышечной активности. Данная особенность является предпосылкой формирования и закрепления физиологических паттернов движений не столько на уровне спинального генератора локомоций, сколько на более высоких уровнях иерархии ЦНС, а именно – в стволовых и полушарных центрах моторного контроля, что детерминирует стойкость достигнутой функциональной перестройки.

Нейрофизиологическая сущность метода ФПЭС заключается в точном временном соответствии программ искусственного (посредством электростимуляции) и естественного (при попытке произвольного усилия) возбуждения мышцы в двигательных актах человека (А.С. Витензон, 2000). Иными словами, электростимуляция мышцы во время локомоции происходит в точном соответствии с естественным возбуждением и сокращением мышц на протяжении двигательного акта. Метод ФПЭС удачно совмещает свойства трёх глобальных стратегий клинической реабилитологии – лечебной физкультуры (кинезитерапии), аппаратной физиотерапии и функционального ортезирования (А.С. Витензон, 2003).

Приоритеты в разработке методов ФПЭС принадлежат английским исследователям, создавшим устройство для электростимуляции мышц и улучшения ходьбы больных перонеальным параличом (W.T. Liberson et al., 1961). Успехи развития ФПЭС в нашей стране, в отличие от многочисленных зарубежных исследований, обусловлены глубоко изучением функционального восстановления моторного контроля со стороны ЦНС.

Помимо восстановления нарушенной биомеханики ходьбы, при использовании ФПЭС решается задача нормализации работы локомоторных центров на всех вертикальных уровнях регуляции двигательной активности. В связи с тем, что в процессе ФПЭС активация мышцы путём приложения к ней электрического раздражения осуществляется именно в тот момент двойного шагового цикла, когда данная мышца и естественным порядком – не раньше и не позже – должна включаться в выполнение этого циклического двигательного действия, достигается максимальная перестройка нейродинамики пациента. Только в фазы естественного (произвольного) возбуждения мышц локомоторные центры всех вертикальных уровней ЦНС восприимчивы к внешним афферентным сигналам и доступны для коррекции своей деятельности. В остальные фазы шагового цикла они заторможены и практически не поддаются коррекции (К.В. Баев, 1984; А.С. Витензон и соавт., 1999).

Каким образом на современном этапе развития электронных технологий, при использовании компьютерных комплексов ФПЭС, удаётся осуществить точную и кор-

ректную синхронизацию произвольного напряжения той или иной мышцы в двигательном акте и наслаиваемой на неё электрической стимуляции? Ответ прост. Локомоция в целом и используемый для клинического анализа ходьбы её минимальный циклический модуль – *двойной шаговый цикл* – при постепенной вертикализации человека и его переходе к биподальной локомоции вырабатывались в эволюции не одно тысячелетие. По своим биомеханическим характеристикам ходьба за годы эволюции вертикального перемещения человека в гравитационном поле Земли приобрела свойства *высокостереотипного двигательного акта с минимизированным разбросом параметров шага*. В полной мере это положение относится и к циклическому, стереотипному включению конкретных мышц в обеспечение ходьбы. Во вполне определённый момент двойного шагового цикла конкретным значениям углов в суставах нижних конечностей, а также биомеханическим параметрам контакта стопы с опорой (т.е. фазам переката стопы от пятки к носку) соответствует чёткий паттерн напряжения и расслабления всей совокупности мышц нижних конечностей, таза и спины. Эта «мозаика» мышечной активности во время шага – *мышечный профиль*, соотносённая с текущим значением суставных углов – *гониометрическим профилем*, является достоянием любого серьёзного руководства по клинической биомеханике (Я.Л. Славуцкий, 1982).

Безусловно, затрудняющая строгую синхронизацию внутрииндивидуальная вариабельность мышечного профиля от шага к шагу существует; зависит она и от темпа ходьбы, от меняющегося в процессе передвижения человека качества опоры (упругость покрытия, неровности дороги) и от зрительного окружения. Тем не менее, относительное (процентное) распределение мышечной активности в период двойного шага и её соотношение с гониометрическим профилем можно принять за некую константу, используемую при подстройке фаз мышечной электростимуляции в процессе активного передвижения пациента. Следовательно, аппаратно-программный модуль временной синхронизации электромиостимуляции с фазами шага, использующий для синхронизации измеряемые в формате on-line и управляющие стимулятором опорные (подометрические) или гониометрические параметры каждого шагового цикла, по праву является ключевым в работе комплекса ФПЭС.

ФПЭС предусматривает решение трёх задач: укрепление ослабленных мышц, коррекцию неправильно выполняемых движений, выработку и поддержание приближающегося к норме двигательного стереотипа ходьбы. Иными словами, перечисление этих трёх задач высвечивает три пласта, как бы три мишени, на которые содружественно проецируется действие метода ФПЭС: а) первичное исполнительное звено движения, периферический нейромоторный аппарат, на который оказываются позитивные эффекты силового воздействия ФПЭС, общие с эффектами классической электростимуляции покоя; б) текущее, во время сеанса лечения, исправление кинематических и динамических характеристик шага – задействуется истинный биомеханический уровень исполнения движения; в) воздействие на нейродинамику пациента, закрепление правильного двигательного стереотипа ходьбы на уровне локомоторных центров головного и спинного мозга. В этом триединстве и заключается качественный скачок клинической эффективности метода ФПЭС по сравнению с некоторыми другими стимуляционными и кинезитерапевтическими технологиями.

В нашей клинической работе технология ФПЭС осуществляется при помощи **Аппаратно-программного комплекса многоканальной программируемой электростимуляции «АКорД – Мультимоистим»** (разработка НМФ «Статокин», Россия).

В качестве иллюстрации высокой эффективности ФПЭС – и не только у больных с выраженной неврологической патологией – проанализируем результаты лечения 55 детей в возрасте от 7 до 15 лет с *начальными формами сколиоза 1–2 ст.* (В.И. Доценко и соавт., 2008). Первично обследованные и получившие курс ФПЭС – 35 больных; 10 пациентов лечились методом ФПЭС повторно; 10 пациентов, в качестве основной терапии получившие курс электростимуляции мышц в покое при помощи аппарата «Стимул-1», составили контрольную группу.

В зависимости от клинической формы заболевания первично обследованные пациенты были разделены на 2 группы: первая – больные S-образным сколиозом – 14 человек (40%), вторая – С-образной формой – 21 человек (60%).

Оценка результатов ФПЭС продемонстрировала:

1) В группе больных С-образным сколиозом увеличилась максимальная электрическая активность мышц в 1,5 раза. Коррекция общего угла искривления составила 23%, или 4,6° в сторону уменьшения деформации. Амплитуда вращательных движений таза в среднем уменьшилась на 25,3%, плечевого пояса – на 28,3%. Произошло улучшение работы мышц в цикле шага: появились чёткие максимумы электрической активности мышц, оптимизировались временные рамки работы мышц; включение мышц туловища в движение в результате применения ФПЭС стало более симметричным.

2) В группе больных S-образным сколиозом были отмечены аналогичные изменения клинического течения заболевания, а также иннервационной и биомеханической структуры ходьбы пациентов.

3) В контрольной группе результаты лечения оказались менее убедительными: после проведения курса электростимуляции мышц в покое коррекция общего угла искривления составила 1,0°, максимальная электрическая активность увеличилась всего на 4%. Амплитуда вращательных движений таза и верхнего плечевого пояса уменьшилась на 10,7 и 10,3% соответственно. В иннервационной структуре ходьбы изменений не произошло.

Изучение отдалённых результатов лечения показало: эффективность ФПЭС сохраняется в течение 6–18 месяцев после одного курса стимуляции. При этом повторные курсы ФПЭС, проведённые через 6–12 месяцев, позволяют не только добиться поддержания лечебного эффекта, но и увеличить возможности дальнейшей коррекции деформации позвоночника.

Таким образом, использование метода ФПЭС позволило у детей и подростков со сколиотической болезнью уменьшить дефицит мышечной функции, нормализовать работу мышц туловища во время ходьбы, выработать естественный более правильный стереотип работы мышц при ходьбе. Проведение курса ФПЭС предоставляет возможности за сравнительно короткий промежуток времени добиться долговременной коррекции сколиотической деформации.

На фоне курсового лечения методом ФПЭС, при помощи оптических методов компьютерного видеоанализа движений, продемонстрирована положительная динамика ходьбы пациентов, страдающих *детским церебральным*

параличом. Оценивались ведущие показатели угловой и линейной кинематики локомоций – скорость, ускорение, текущие значения суставных углов в структуре двойного шагового цикла (В.И. Доценко и соавт., 2005; Н.Ю. Титаренко и соавт., 2006; А.В. Воронов, Н.Ю. Титаренко, 2007). Исследования проводились с использованием **компьютерного комплекса «Видеоанализ движений»** (разработка и производство НМФ «Статокин», Россия).

В связи с тем, что во время сеанса ФПЭС формируется направленная афферентная посылка проприоцептивной модальности, строго синхронизированная по времени с оптимальными условиями поступления информации в локомоторные центры головного и спинного мозга (момент произвольного напряжения мышцы), этот метод лечения по праву можно отнести к одному из наиболее эффективных видов сенсорной терапии.

Литература

1. Баев К.В. *Нейронные механизмы программирования спинным мозгом ритмических движений*. – Киев: Наукова Думка, 1984. – 156 с.
2. Бехтерева Н.П. *Здоровый и больной мозг человека*. – Л.: Наука, 1980. – 208 с.
3. Витензон А.С., Миронов Е.М., Петрушанская К.А., Скоблин А.А. *Искусственная коррекция движений при патологической ходьбе*. – М., 1999. – 504 с.
4. Витензон А.С., Петрушанская К.А. *От естественного к искусственному управлению локомоцией*. – М., 2003. – 440 с.
5. Воронов А.В., Титаренко Н.Ю. *Исследование биомеханических характеристик ходьбы больных спастической диплегией // Семёнова К.А. Восстановительное лечение детей с перинатальным поражением нервной системы и детским церебральным параличом: Руководство для врачей*. – М.: Закон и порядок, 2007. – С. 531-553.
6. Доценко В.И., Воронов А.В., Титаренко Н.Ю., Титаренко К.Е. *Компьютерный видеоанализ движений в спортивной медицине и нейрореабилитации // Медицинский алфавит*. – 2005. – № 3 (41). – С. 12-14.
7. Доценко В.И., Есютин А.А., Марков А.А., Чугунов В.В. *Устройство для лечения поражений опорно-двигательного аппарата: Патент РФ на изобретение № 2241500 с приоритетом от 01.08.2003 г.* – М.: 2004.
8. Доценко В.И., Титаренко Н.Ю., Успенский А.Л. *Функциональная программируемая электромиостимуляция в ходьбе у детей и подростков со сколиотической болезнью // Курортные ведомости*. – 2008. – № 3 (48). – С. 49-51.
9. Корнилова Л.Н., Соловьёва А.Д., Саранцева А.В. и соавт. *Компьютерные тесты для исследования глазодвигательных реакций у больных с жалобами на головокружения // Ж. невропатол. и психиатр*. – 2004. – Т. 104, № 5. – С. 34-41.
10. Семёнова К.А., Доценко В.И. *Вестибулометрия и её значение в выяснении патогенеза и прогнозировании течения некоторых заболеваний нервной системы у детей // Ж. невропатол. и психиатр*. – 1988. – Т. 88, № 8. – С. 32-37.
11. Титаренко Н.Ю., Воронов А.В., Доценко В.И. и соавт. *Компьютерный видеоанализ движений в оценке восстановительного лечения детей с резидуальным нейромоторным дефицитом // Функциональная диагностика*. – 2006. – № 3. – С. 69-75.

**ГУ Научный центр здоровья детей РАМН,
Научно-медицинская фирма «Статокин»
119602, Москва, а/я 285; тел. (495) 430-8073,
statokyn@aha.ru**