

НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ КОМПЕНСАЦИИ НАРУШЕННЫХ ФУНКЦИЙ ВЕРХНЕЙ КОНЕЧНОСТИ В ТЕРАПИИ С ЭЛЕКТРОМИОГРАФИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

ЯКОВЛЕВ Н. М., АЛЕКСАНДРОВ Н. М.¹

ГУ «Научно-исследовательский институт экспериментальной медицины РАМН»,
Санкт-Петербург,

¹ФГУ «Научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии Росздрава»,
Нижний Новгород

Яковлев Н. М., Александров Н. М. Нейрофизиологические механизмы компенсации нарушенных функций верхней конечности в терапии с электромиографической обратной связью // Мед. академ. журн. 2009. Т. 9. № 2. С. 52–58. ГУ «Научно-исследовательский институт экспериментальной медицины РАМН», Санкт-Петербург, 197376, ул. Академика Павлова, 12; ФГУ «Научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии Росздрава», Нижний Новгород, 162340.

На основании комплексной психофизиологической оценки клинической тяжести имеющегося травматического дефекта верхней конечности и выбора адекватной реконструктивной операции разработан методологический подход формирования нового динамического стереотипа в ЦНС путем переобучения двигательных координаций, ранее им не свойственных, с помощью ЭМГ-БОС.

Ключевые слова: дефект верхней конечности, реконструктивная операция, биоуправление с ЭМГ-БОС, новый стереотип движения.

Jakovlev N. M., Alexandrov N. M. Neurophysiological mechanisms of compensations of damaged function of upper limbs in therapy with electromyography biofeedback // Med. Acad. Journ. 2009. Vol. 9. № 2. P. 52–58. Research Institute of Experimental Medicine of the RAMS, St. Petersburg, 197376. Research Institute of Traumatology and Orthopaedics, N. Novgorod, 162340.

Based on complex psychophysiological evaluation of clinical severity of existing extremity and selection of adequate reconstructive operation was developed a methodological approach forming new dynamical stereotypes in CNS by retraining motor coordination not inherent in them before with help of biofeedback.

Key words: traumatic defect, electromyography, biofeedback.

Впервые вопрос о центральных механизмах в двигательном обучении был поставлен И. М. Сеченовым в исследовании становления циклических движений у детей. Условнорефлекторный характер функциональной реорганизации нервных центров и ведущая роль коры больших полушарий в организации новых двигательных навыков подтверждена многими авторами в экспериментальных и клинических исследованиях, а также в работах по физиологии труда и спорта. Функциональную перестройку мышц за счет высших отделов ЦНС наблюдал Вейс у больных полиомиелитом после реконструктивной операции на мышцах [23]. Позже Уфлянд на основе ЭМГ-анализа подтвердил возможность формирования нового типа координаций при сухожильной пластике одной из головок мышц бедра [15]. Перестройку иннервации между мышцами антагонистами обнаружили другие авторы у лиц с ампутированными конечностями [14]. Сложным формам координаций обучались лица, не имевших с рождения обеих верхних конечностей, они научились писать и рисовать пальцами ног.

При анализе механизмов управления движением в 30–50 гг. П. К. Анохин в эксперименте по перешиванию нервов показал ведущую роль афферентного

потока в двигательном обучении. Выработка сложных форм движений, переделка врожденных координаций осуществляются на кортикоспинальном уровне по пирамидному тракту, что коррелирует с морфофизиологическими данными обезьян и человека моносинаптических контактов между аксонами пирамидных клеток с мотонейронами спинного мозга [20]. В процессе двигательного обучения под контролем супраспинальных воздействий изменяется возбудимость нейронов спинного мозга. Достоверно показана роль двигательной преднастройки, мотивации, последовательности функциональных изменений биоэлектрической активности (БЭА) мозга в условиях формирования новых навыков.

Наименее изученными остаются вопросы нейрофизиологических коррелятов компенсации при восстановлении двигательных нарушений в комплексной терапии с ЭМГ-БОС.

По мнению Д. В. Басмаджана, компенсация двигательных расстройств с помощью ЭМГ-БОС обусловлена возникновением новых связей в ЦНС и/или вовлечением в работу новых нервных путей, ранее не участвующих в движении [11]. Близко к гипотезе о формировании в коре мозга новых сенсомоторных программ при тренинге с ЭМГ-БОС придерживается

Вульф (1983). В то же время Brady (1979) считает, что в тренинге с ЭМГ-БОС обратная связь обогащает афферентный поток в сенсомоторную кору и нейроны кортикоспинального тракта. Кроме того, автор не исключает опосредованного влияния обратной связи на подкорковый уровень и через него на стволовые ядра. По данным Н. М. Яковлева, обратная связь с ЭМГ-БОС обуславливает формирование новых нервных связей в коре мозга [4, 16]. Имеются единичные работы комплексного исследования центральных механизмов адаптивных изменений двигательного анализатора на различных этапах формирования новых навыков с ЭМГ-БОС у здоровых детей и у больных церебральным параличом [16–18].

До сих пор практически не изучены нейрофизиологические механизмы пластичности врожденных двигательных программ после реконструктивных операций на верхней конечности. Тем не менее некоторые авторы прямо указывали на существенные проблемы, связанные с диагностикой двигательных нарушений и комплексной реабилитацией при травмах кисти и их последствиях [2–4]. Как результат травмы кисти, особенно тяжелой, последствий травмы верхней конечности, в том числе осложненной, в ЦНС возникают и закрепляются патологические стереотипы движений, которые мало поддаются лечению и приводят к инвалидизации пациента. Поэтому решающее значение имеет своевременная адекватная диагностика и коррекция двигательных нарушений до наступления устойчивых патологических стереотипов двигательных навыков [4–10].

Цель работы – изучение механизмов компенсации нарушенных функций верхней конечности при формировании новых типов двигательных координаций в условиях комплексного лечения с использованием ЭМГ-БОС и разработка нового методологического подхода к его применению.

МЕТОДИКА

Комплексная реабилитация пациентов с тяжелыми травмами кисти разработана в клинике хирургии кисти и микрохирургии Нижегородского НИИТО. Система включает выбор адекватной реконструктивной операции в зависимости от характера дефекта кисти, физиологических параметров ее и проведение раннего функционального лечения, физиотерапевтических процедур и трудотерапии с учетом особенностей выполненного вмешательства и нейрорегуляторных нарушений. Оценка эффективности аутоотренинга (АТ) с ЭМГ-БОС проведена у 47 больных после реконструкции пальцев различными методами по поводу острой травмы и последствий повреждения кисти, а также у 23 больных после операции пластического расщепления культи предплечья по Крукенбергу. Такой же методологический

подход был использован у 56 детей и подростков с ДЦП после реконструктивной операции на верхней конечности, а также у 22 детей (4–12 лет) с различными видами неосложненных переломов в области локтевого сустава [19].

Коррекцию движений проводили с помощью различных биотехнических устройств (портативных и компьютерных тренажеров), реализующих принцип адаптивной саморегуляции с электромиографической обратной связью (ЭМГ-БОС).

Процедуру с ЭМГ-БОС проводили следующим образом. Предварительно у каждого больного устанавливали уровень амплитуды ЭМГ произвольного мышечного сокращения, равный 2/3 амплитуды ЭМГ максимального ее сокращения. В условиях работы, если амплитуда ЭМГ достигала заданного уровня или была выше него, возникали световой или звуковой сигналы обратной связи (положительное подкрепление действия). В тех случаях, если амплитуда ЭМГ была ниже заданного уровня, подавалась электрокожная стимуляция ладонной поверхности предплечья (отрицательное подкрепление). Задача больного состояла в стремлении достичь заданного уровня путем удержания положительных сигналов обратной связи. Для отведения ЭМГ использовали 4 вида электродов: 1) биполярные с активной поверхностью 0,5 см и фиксированным расстоянием 15 мм; 2) биполярные с нефиксированным расстоянием; 3) накожные биполярные проволочные электроды с нефиксированным расстоянием для отведения потенциалов отдельных мышц (провода манганиновая, активная часть диаметром 0,2 мм, длиной 3 мм); 4) имплантируемые изолированные гибкие проволочные электроды с зачищенной активной частью (диаметр проволоки 0,2 мм, длина активной части 3 мм). Всего проведено от 8 до 25 занятий с ЭМГ-БОС (каждое от 15 до 40 мин). Время активного сокращения мышцы составляло 5–10 с, интервал между сокращениями 20–30 с. Анализ эффективности адаптивной тренировки с ЭМГ-БОС проводился по динамике ЭМГ (внутреннего паттерна) и внешнего рисунка движений (биомеханические и биометрические показатели) до и после проведенного курса функционального лечения.

Определялся индекс реципрокности как отношение активности мышц тенара к активности сгибателей (ИР-1) и разгибателей (ИР-2) в положении супинации (ИР-3) и пронации (ИР-4). До и после курса лечения с ЭМГ-БОС проводилось ЭЭГ-исследование. Для оценки биомеханических показателей использовали программно-аппаратный комплекс НОКП НППИ-ННИИТО, который позволяет регистрировать максимальное мышечное усилие (ММУ), максимальную скорость сокращения (МСС), максимальную скорость расслабления (МСР), силу при

максимальной скорости сокращения (величина силы, которой соответствует максимальная скорость ее нарастания на кривой сила–время), силу при максимальной скорости расслабления (сила, соответствующая максимальной скорости уменьшения), коэффициент выносливости (произведение максимального мышечного усилия на время его удержания), а также показатели воспроизведения заданного мышечного усилия (ВЗМУ). Проводилась комплексная оценка ЭМГ, биомеханических и биометрических показателей на различных этапах восстановления после операции с использованием критерия Вилкоксона. Кроме того, сравнивались отдаленные результаты лечения различными методами с использованием парного критерия Манна–Уитни и определялись корреляционные зависимости указанных показателей после операции.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования показали, что важным этапом в разработке нового методологического подхода реабилитации больных с травмами верхней конечности является оперативное лечение, направленное на создание анатомических предпосылок для восстановления функции кисти. Основное внимание обращалось на восстановление анатомических структур, обеспечивающих хват кисти (пересадка второго пальца стопы, противоположной кисти, перемещение пальцев одноименной кисти на сосудисто-нервной ножке, пластическое расщепление культи), что позволяло в последующем проводить функциональную коррекцию двигательных нарушений с помощью ЭМГ-БОС. Проведен нейрофизиологический анализ механизмов компенсации двигательных нарушений на различных этапах формирования новых двигательных навыков в процессе адаптивной тренировки с ЭМГ-БОС.

Функциональное лечение в комплексной терапии состояло из 3 этапов. На предварительном этапе проводилось обследование для коррекции коморбидной патологии и выбора адекватного метода двигательного обучения с ЭМГ-БОС. На основном этапе проводилась систематическая, направленная коррекция двигательных нарушений с ЭМГ-БОС с индивидуальной программой для каждого больного. На заключительном этапе проводилась направленная коррекция движений с ЭМГ-БОС в условиях моделирования бытовых и профессиональных навыков.

На предварительном этапе в результате обследования выделены две группы больных с коморбидной патологией: с выраженными соматовегетативными и невротическими расстройствами. Коррекция вегетативных нарушений проводилась в течение 4–5 дней по 20–25 мин с помощью произвольной регуляции кардиореспираторного показателя – респираторной синусовой аритмии (РСА-БОС). Паттерн РСА возни-

кает при выработке нового навыка – диафрагмально-релаксационного дыхания. У лиц с невротическим синдромом в течение 4–6 дней проводился тренинг с ЭЭГ-БОС по 15–20 мин на произвольное увеличение интенсивности альфа-ритма.

Таким образом, в обеих группах проводился тренинг на умение сохранять выработанный навык активного бодрствующего состояния на фоне мышечной релаксации. Известно, что обучение с различными вариантами БОС относится по сути к альфа-стимулирующему тренингу, так как в процессе обучения снижается уровень внутреннего психоэмоционального напряжения, тревожного состояния (на ЭЭГ в этот момент увеличивается индекс мощности альфа-ритма). Все это создает оптимальные предпосылки для последующей адаптивной тренировки с ЭМГ-БОС [19–21].

Основной этап функционального лечения с ЭМГ-БОС состоял в активации сенсорного входа (осознание и восстановление мышечного чувства), в увеличении мышечной силы (амплитуды ЭМГ) ослабленных мышечных групп, в формировании простых и сложных координаций, в устранении мышечных синергий и синкинезий, в переобучении двигательных координаций, ранее им не свойственных, в подготовке освоения бытовых навыков.

Установлено, что в ранние сроки после реконструктивной операции верхней конечности возникают двигательные нарушения, формируются патологические стереотипы. Основной причиной развития неправильных двигательных стереотипов является отсутствие мышечного чувства вновь сформированного первого пальца, резкое снижение амплитуды ЭМГ и атрофия мышц тенара. Для предотвращения инвалидизации восстановительное лечение начинали с 6–7-го дня после операции. В этом случае сенсорное обогащение мышц достигалось с помощью адаптивной тренировки с ЭМГ-БОС.

С этой целью применялись накожные электроды с нефиксированным расстоянием или гибкие, имплантируемые в мышцы тенара во время операции. В условиях низкой активности тенара лучше использовать имплантированные электроды, которые можно либо подключать к усилителю бипотенциалов для избирательного тренинга отдельных мышц с ЭМГ-БОС, либо подавать на электроды селективную электростимуляцию для непроизвольного сокращения мышц. Преимущество второго способа в том, что он позволяет не только диагностировать дееспособность мышцы в разные сроки после операции, но и использовать его для усиления сенсорной афферентации в различном сочетании с адаптивной тренировкой с ЭМГ-БОС. Функциональное лечение проводили в изометрическом режиме. Начинали работу с ЭМГ-БОС с минимального сокращения мышцы как «щадя-

щий» режим тренировки (с 20–30% от максимально возможного). Выбранный режим работы считается оптимальным, если больной может длительное время без видимого утомления продолжать тренировку. Известно, что изометрическое сокращение мышц вовлекает в работу преимущественно тонические волокна, так как гамма-мотонейроны более устойчивы к длительному мышечному напряжению по сравнению с альфа-мотонейронами. Наряду с восстановлением мышечного чувства, такой режим работы способствовал также улучшению микроциркуляции в суставе, рассасыванию гематомы и уменьшению болевого синдрома, а сама тренировка предотвращала гипотрофию мышц. В этот момент подключается также комплекс физиотерапевтического воздействия, массажа, ЛФК, направленный на уменьшение отека, профилактику и лечение рубцевания в зоне операции. Сам тренинг на каждом занятии проводился в динамическом режиме. Работу начинали со сгибателей в течение 2–3 мин, через каждые 5 мин давался 2–3-минутный перерыв. После 15–20 мин работы со сгибателями в таком же режиме проводился тренинг с разгибателями.

Полученные результаты свидетельствуют, что биоэлектрическая активность мышц тенара является критерием, объективно отражающим сократительные свойства мышц кисти и предплечья. Показано, что наибольшая эффективность тренинга с ЭМГ-БОС отмечалась после перемещения сегментов кисти. При этом достоверно улучшилась функция первого пальца, а также сократились сроки адаптации чувствительности перемещенных сегментов ($P < 0,026$). Выявлена статистическая тенденция к уменьшению среднего значения воспроизведения заданного мышечного усилия в отдаленном периоде, что рассматривается как результат улучшения мышечно-суставной чувствительности, а также совершенствования «мышечной памяти», достигнутого при адаптивной тренировке. По мере возрастания амплитуды ЭМГ в ходе тренировки длительность процедуры увеличивалась от 30 мин до 3 ч. В среднем курс функционального лечения составлял 12–15 процедур.

В последующем вырабатывался навык на синергичные движения перемещенного и сохранившегося сегмента первого пальца, а также на произвольные синергичные движения перемещенного и сохранившихся пальцев кисти (умению «схвата» кисти).

Для устранения синкинезий пальцев использовали два канала с ЭМГ-БОС. При этом первый канал применялся для увеличения объема движений сгибателей пальцев. Второй канал использовался для снижения активности сгибателей соседнего пальца при сгибании первого пальца. При этом задача больного состояла в увеличении сигналов с мышц первого канала и в уменьшении их с мышц второго канала.

Объем движений перемещенного пальца восстанавливался при увеличении активности его сгибателей. В тех случаях, когда имелась деформация второго, третьего, четвертого пальцев, проводили адаптивную тренировку их сгибателей и разгибателей.

Наиболее важной частью в реабилитации кисти является целенаправленный тренинг на «перевоспитание» врожденной программы перемещенного пальца, а именно на выработку нового двигательного навыка – умения противопоставлять вновь сформированный палец остальным. В этом случае электрод с нефиксированным расстоянием устанавливают на область тенара. В случае ослабленной мышцы лучше проводить тренинг с помощью имплантированных электродов для избирательного отведения активности мышц при произвольном их сокращении с помощью ЭМГ-БОС.

Таким образом, в результате адаптивной тренировки с ЭМГ-БОС происходило восстановление мышечно-суставного чувства в перемещенном первом пальце, появилась возможность противопоставления и изолированных движений восстановленного пальца, устранились патологические синергии, восстановилась функция «схват» кисти. В частности, улучшился объем активных движений пальцев в суставах перемещенного пальца ($P > 0,018$), повысилась возможность противопоставления восстановленного первого пальца остальным пальцам ($P > 0,002$). Анализ биоэлектрической активности мышц при выполнении противопоставления первого пальца пятому показал динамику мышц тенара с $78,2 \pm 8,05$ мкВ до $210,1 \pm 10,03$ мкВ после лечения, сгибателей пальцев – с $61,2 \pm 6,4$ мкВ до $130,1 \pm 10,03$ мкВ, разгибателей пальцев – с $56,05 \pm 16,05$ мкВ до $110,05 \pm 30,09$ мкВ. Различия статистически достоверны ($P < 0,05$). Анализ индексов реципрокности мышц позволил обнаружить их зависимость от типа ($r = -0,30-0,40$), этиологии дефектов ($r = -0,35$), уровня ампутации восстанавливаемого пальца ($r = -0,25-0,40$). Средние сроки адаптивной тренировки 11,5 дня. По сравнению с контролем в опытной группе общие сроки реабилитации сократились в 1,92 раза ($P > 0,05$).

Для оценки функционального результата применялось также точное вычисление значимости различных долей (процентов) по методу углового преобразования Фишера. Показано, что у 50% больных был восстановлен полный объем движений в межфаланговых суставах, противопоставление восстановленного пальца всем остальным было достигнуто у 75%.

Метод адаптивной тренировки с ЭМГ-БОС оказался также эффективным при формировании нового динамического стереотипа, ранее не свойственного мышцам культи предплечья (после пластического

расщепления этих мышц на лучевую и локтевую порции). Особенность формирования нового навыка состояла в том, что в условиях тренинга с ЭМГ-БОС появлялась возможность произвольного контроля различных порций одной и той же мышечной группы при различных функциях «клешни». В качестве критерия перестройки функции мышечной группы нами выбрано преобладание активности латеральной группы мышц сгибателей или разгибателей при разведении лучевого «пальца» и преобладание активности медиальной группы этих мышц при сведении «пальца». Выработывался навык сведения, «схвата», путем изолированного сокращения круглого пронатора и медиальной порции мышц лучевого «пальца». В этих условиях «схват» «клешней» и одновременно расслабление локтевой группы мышц, которая, сокращаясь одновременно с круглым пронатором, препятствовала сближению «пальцев». Разведение «пальцев» осуществлялось латеральной порцией мышц лучевого «пальца» и плечелучевой мышцей.

После завершения тренировок и в отдаленные сроки после операции при разведении «клешни» преобладала активность латеральной группы сгибателей над активностью этой же группы мышц при сведении в положении пронации. В условиях супинации культуры предплечья отмечается преобладание активности медиальной группы сгибателей пальцев при сведении «клешни» над активностью их при разведении. В отдаленные сроки после операции в положении пронации предплечья отмечается преобладание активности медиальной порции разгибателей при разведении «клешни» над активностью этой мышечной группы при сведении «клешни» ($P = 0,083$). Данный факт указывает на незавершенность перестройки функции этой мышцы. Интересной является тенденция к преобладанию активности двуглавой мышцы плеча в начале адаптивной тренировки при сведении «клешни» ($P = 0,12$), что также обусловлено нарушением координации.

В процессе систематического тренинга с ЭМГ-БОС функциональная перестройка мышц после расщепления характеризуется формированием новых реципрокных взаимоотношений преимущественно со стороны сгибателей, медиальная порция которых перестраивается на выполнение функции сведения «пальцев» в положении супинации предплечья. По мере совершенствования двигательного навыка владения «клешней» происходит минимизация участия в ее функции других мышц плеча, в частности двуглавой мышцы. Изучение адаптивной саморегуляции функции движения с помощью ЭМГ-БОС позволило разработать и обосновать эффективную методику тренировки расщепленной культуры предплечья, добиться компенсации отсутствующей функции.

Оценку эффективности результатов функционального лечения с ЭМГ-БОС проводили путем сравнительного анализа электромиографических, биомеханических и биометрических данных. Специальные исследования на 25 больных с различным характером реконструкции пальцев показали, что, по данным биомеханических и биометрических показателей, двигательный стереотип и автоматизм движений у 17 из 22 или не восстановился или вырабатывался неправильный двигательный навык. Поэтому внешний рисунок движений по этим показателям не дает полного представления, и только ЭМГ-паттерн (внутренний рисунок движения) достоверно отражает характер нейромоторной перестройки двигательных координаций после проведенного курса лечения с ЭМГ-БОС [5, 6].

Критерием перехода к заключительному этапу реабилитации было устойчивое сохранение координационных навыков произвольных движений, выполняемых без обратной связи. С этой целью нами сравнивался рисунок выполняемого произвольного движения – внешний (биомеханические и биометрические параметры) и внутренний ЭМГ-паттерн координации с обратной и без обратной связи. Если результаты были сопоставимы, то больному предлагали попытаться выполнить профессиональные навыки на стенде ручек управления наиболее распространенных станков (сверлильный, фрезерный, токарный). В связи со сложностью и многообразием двигательных расстройств, программу профессиональной реабилитации составляли индивидуально, с учетом характера двигательных нарушений, выявления у каждого ассоциативных способностей к обучению, мотивации, состояния психоэмоциональной и волевой сферы. Коррекция выполняемого движения постоянно сравнивалась с эталонным рисунком движения (ЭМГ-паттерн здорового человека, занимающегося ручным трудом, аналогичным деятельности пострадавшего).

Проведенные исследования показали, что при равных условиях проведения занятий с ЭМГ-БОС результат обучения зависел не только от возраста (10–50 лет), длительности и количества занятий, состояния когнитивной и волевой сферы, личностных особенностей (акцентуации и психопатии), но и от индивидуальной способности к ассоциативному обучению.

Установлено, что эффективность обучения возрастает в условиях альтернативного обучения (поощрение–наказание), когда в процессе тренинга применяется сочетание положительного и негативного (электрокожного) подкрепления.

Осложняющим фактором в адаптивной тренировке и в прогнозе социальной адаптации оказались последствия ЧМТ и сопутствующая алкогольная и наркотическая зависимость.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Таким образом, исследования показали, что после реконструктивной операции на кисти восстановление нарушенных координаций и социальная реабилитация больных возможны только в условиях адаптивной тренировки с ЭМГ-БОС. Известно, в условиях удачно проведенной операции с применением прецизионной техники при полном устранении анатомического дефекта на увечной кисти не всегда реально достижение адекватной функции. Ухудшение функции кисти при тяжелых дефектах обусловлено в большей мере не анатомическим фактором, а функциональной адаптацией к патологии в результате развития в ЦНС устойчивого патологического состояния с последующим формированием ригидных патологических стереотипов движения. У больных после операции на пальцах и кисти нами проведен нейрофизиологический анализ адаптивных механизмов регуляции движения в процессе целенаправленной коррекции движения с помощью ЭМГ-БОС. Установлено, что в начале адаптивной тренировки произвольный контроль мышечного чувства еще не осознается положительной обратной связью самим пациентом. На ЭЭГ в этот момент регистрируется реакция десинхронизации. В дальнейшем, опираясь на избирательный способ подкрепления (поощрение-наказание), пациент начинает осознавать связь между сигналами обратной связи и состоянием регулируемой функции (выбранном порогом амплитуды ЭМГ тренируемой мышцы), что по своей сути есть явление синхронизации, как основной механизм для любой условнорефлекторной деятельности внешней обратной связи [12]. В ЭЭГ в этот момент отмечается реакция синхронизации в виде увеличения интенсивности альфа-ритма преимущественно моторной зоны коры. Отмечалась также синхронизация тета- и бета-ритмов, ответственных за механизмы концентрации внимания и сохранения сформированного навыка. В ходе тренировки на 10–12-й день усиливается частота пространственно-временной синхронизации ЭЭГ-и ЭМГ-активности. На 14–16-й день формируемый двигательный навык характеризуется образованием нового динамического стереотипа, в котором ослабевают, а затем полностью исчезают динамические связи между ЭЭГ и биоэлектрической активностью мышцы. Это согласуется с представлением, что в иерархической многоуровневой системе управления движениями в условиях, когда двигательный навык доведен до автоматизма, ослабевает влияние моторного контроля со стороны коры больших полушарий. Особенностью устойчивых форм адаптации является способность длительно сохранять в памяти программу выработанного навыка и быстро ее извлекать и воспроизводить для реализации полезного результата. Воспроизводимость и устойчивость выработанного навыка сохранялась до 4–6 мес [16–19].

Выработка двигательного навыка у больных сопровождалась снижением уровня психоэмоционального напряжения и утомления. Так, отмечалось уменьшение уровня реактивной тревожности с 56 до 41, личностной – с 46 до 42 по Спилбергеру-Ханину. Кроме того, повысилась субъективная оценка проведенного тренинга с 3 до 5 баллов. Отмечалось также снижение коэффициента вегетативной реактивности с 1,8 до 1,3, что указывало на преобладание влияния парасимпатической нервной системы в вегетативном обеспечении вновь сформированного двигательного навыка. Установлено, что на основе выработанных устойчивых двигательных координаций только в условиях ЭМГ-контроля за изменением каждого элемента и взаимосвязи их в целостном движении на 5–7-й день адаптивной тренировки с ЭМГ-БОС удалось добиться формирования правильного профессионального двигательного стереотипа. Это позволило пациентам приступить к работе по своей специальности.

Таким образом:

1. Искусственная обратная связь обеспечивает компенсацию имеющегося дефицита афферентного потока с мышечных проприоцепторов в сенсомоторную кору, что в итоге приводит к усилению нисходящих влияний с моторной коры на двигательные нейроны. В результате занятий нормализуется мышечный тонус, увеличивается мышечная сила и выносливость тренируемой мышцы.
2. Происходит нормализация реципрокных взаимоотношений мышц антагонистов, устраняются патологические синергии, синкинезии.
3. В результате систематического тренинга с ЭМГ-БОС происходит восстановление мышечных координаций и объема активных движений.
4. Вырабатывается новый динамический стереотип сложных координаций движений, ранее не свойственных функции перемещенных мышц.
5. Нормализация двигательной функции с помощью метода ЭМГ-БОС происходит на основе условнорефлекторного формирования нового двигательного навыка.
6. Формирование временных связей и нового двигательного навыка осуществляется в ассоциативных системах мозга. Ассоциация в тренинге с ЭМГ-БОС основана не только на селективной синхронизации обратного сенсорного потока с компонентом регулируемой функции, но также на воздействии произвольного управления физиологических процессов внимания, памяти, психоэмоционального напряжения, мотивации.

Исследование механизмов адаптивной пластичности управляющих систем мозга при восстановлении или переобучении двигательных навыков у больных после реконструктивной операции на кисти позволило научно обосновать новый методологический подход в комплексном лечении с ЭМГ-

БОС. Ведущим звеном в реабилитации был выбор оптимального способа оперативного вмешательства для восстановления анатомических структур, обеспечивающих схват кисти. Выбор индивидуальной программы раннего восстановительного лечения должен проводиться на основе анализа внешнего (биомеханические и биометрические показатели), внутреннего (ЭМГ) рисунка движений, характера дефекта и реконструкции кисти. Основными принципами применения адаптивной тренировки с ЭМГ-БОС являются: раннее начало, непрерывность, этапность, многократность и систематичность проведения процедур, последовательность, преемственность, комплексный подход.

Литература

1. Александров Н.М., Сметанкин А.А., Мотякина А.П. и др. Адаптивная тренировка с использованием электромиографической обратной связи в реабилитации больных с повреждениями кисти и их последствиями: Пособие для врачей / ФГУ «Нижегородский НИИТО Росздрава». Н. Новгород, 2005. 44 с.
2. Азолов В.В., Петров С.В., Александров Н.М. Ранняя профессиональная реабилитация больных после перемещения патологически измененных пальцев кисти // Тез. докл. республ. конф. «Промышленная реабилитация больных ортопедо-травматологического и неврологического профилей». Горький, 1989. С. 12–13.
3. Азолов В.В., Пахомов С.П., Пономарева Н.А. и др. Система медицинской реабилитации обожженных: метод. реком. Горький, 1989.
4. Александров Н.М., Яковлев Н.М., Сметанкин А.А., Домбровская Л.В. Применение метода биоуправления с ЭМГ-обратной связью в реабилитации больных с повреждениями кисти и предплечья // Ортопед., травмат. и протезир. 1988. № 1. С. 25–28.
5. Александров Н.М. Ранняя реабилитация больных после пересадки пальцев кисти // Реабилитация больных с некоторыми заболеваниями и повреждениями кисти: Сб. научн. тр. Горький, 1987. С. 26–29.
6. Александров Н.М. Адаптивное биоуправление с ЭМГ-БОС в восстановительном лечении поврежденных кисти // Биологическая обратная связь: нейромоторное обучение в клинике и спорте. СПб., 1991. С. 129–136.
7. Александров Н.М. Реабилитация больных с тяжелой травмой руки // Биологическая обратная связь: нейромоторное обучение в клинике и спорте / Под ред. Н.М. Яковлева. СПб., 1991. С. 126–129.
8. Александров Н.М., Мотякина О.П., Шалдина Е.А., Яковлев Н.М. Функциональное лечение больных с использованием метода биологической обратной связи при реконструкции пальцев кисти // Биологическая обратная связь. СПб., 2000. № 4. С. 19–22.
9. Александров Н.М., Мотякина О.П., Шалдина Е.А., Яковлев Н.М. Адаптивная тренировка с обратной связью по ЭМГ у больных с посттравматическими дефектами пальцев кисти // Биологическая обратная связь. СПб., 2001. № 1. С. 13–16.
10. Александров Н.М., Яковлев Н.М., Донченко Е.В., Зимина К.С. и др. Новый подход к обоснованию методов реконструкции пальцев, адаптивной тренировки с электромиографической обратной связью и оценке результатов лечения // Бюл. ВСНЦ СО РАМН. 2006. Т. 4. С. 25–30.
11. Басмаджан Д.В. Тренировка отдельных спинальных нервных клеток и ее применение в обучении управлению миоэлектрическими устройствами для больных с физическими недостатками // Биоэлектрическое управление. Человек и автоматические системы. М.: Наука, 1970. С. 326–331.
12. Ливанов М.Н. Пространственная организация процессов головного мозга. М.: Наука, 1972. 128 с.
13. Перемещение патологически измененных пальцев кисти и их культей: метод. реком. / Сост. В.В. Азолов, С.В. Петров, Н.М. Яковлев, Н.М. Александров. Н. Новгород, 1992. 16 с.
14. Славуцкий Я.Л. Некоторые вопросы координационной деятельности мышц в условиях биоэлектрического управления // Проблемы физиологии двигательного аппарата. М.: Медгиз, 1970. С. 90–110.
15. Уфлянд Ю.М. Физиология двигательного аппарата человека. Л.: Медгиз, 1965. 138 с.
16. Яковлев Н.М. Адаптивные механизмы регуляции движения в онтогенезе. Л.: Наука, 1981. 136 с.
17. Яковлев Н.М., Сметанкин А.А. Новый методологический подход в функциональном лечении больных с двигательными нарушениями при помощи портативных приборов с ЭМГ-БОС // БОС-нейромоторное обучение в клинике и спорте / Под ред. Н.М. Яковлева. СПб., 1991. С. 3–30.
18. Яковлев Н.М., Комов Г.В. Функциональное лечение детей с переломами верхних конечностей с применением метода ЭМГ-БОС // БОС-нейромоторное обучение в клинике и спорте / Под ред. Н.М. Яковлева. СПб., 1991. С. 117–125.
19. Яковлев Н.М. Биологическая обратная связь при лечении стресса и психосоматической патологии // Висцеральное обучение в клинике / Под ред. Н.М. Яковлева. СПб., 1993. С. 3–49.
20. Яковлев Н.М. Адаптивные механизмы висцерального обучения с помощью БОС // Висцеральное обучение в клинике / Под ред. Н.М. Яковлева. СПб., 1993. С. 49–80.
21. Яковлев Н.М., Косицкая З.В., Пинчук Д.Ю., Моховикова Н.И. Реорганизация паттерна ЭЭГ у подростков с дефицитом внимания и токсикоманией в процессе комплексного функционального лечения // Психофарм. биол. и наркол. 2005. № 2. С. 957–964.
22. Lloyd D.P.C. Conduction and synaptic transmission of reflex response to stretch in spinal cats // J. Neurophysiol. 1943. Vol. 6. № 21. P. 317–320.
23. Weiss P., Brown P. Electromyographic studies on recoordination of leg movements in poliomyelitis patients with transposed tendons // Proc. Soc. Exp. Biol. and Med. 1941. Vol. 48. P. 284–287.

Представлена академиком РАМН А. А. Скоромцом