

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОМИОГРАФИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ НОВОГО ДВИГАТЕЛЬНОГО НАВЫКА ПОСЛЕ РЕКОНСТРУКЦИИ ПАЛЬЦЕВ И КИСТИ

Н.М. Александров, Н.М. Яковлев

ФГУ «Нижегородский НИИ травматологии и ортопедии Росмедтехнологий»,
директор – д.м.н. профессор А.В. Воробьев
г. Нижний Новгород
ГУ НИИ экспериментальной медицины РАМН,
директор – акад. РАМН, д.м.н. профессор Б.И. Ткаченко
Санкт-Петербург

Авторы разработали новый методологический подход к восстановлению двигательного навыка владения реконструированной кистью с использованием адаптивной тренировки с ЭМГ. Представлены новые методики адаптивной тренировки после различных реконструктивных вмешательств и способы оценки манипулятивных навыков кисти. Применение ЭМГ БОС позволило добиться восстановления манипуляторных навыков с коэффициентом эффективности в среднем 3,75. Двусторонний схват восстановлен у всех больных.

Ключевые слова: кисть, реконструктивные операции, электромиография, БОС.

The authors developed the new methodological approach to restoration of motor skill of possession by the reconstructed hand with use of adaptive training with electromyography. New techniques of adaptive training after various reconstructive interventions and an estimation technique manipulating skills of a hand are presented. Application of the electromyographic biological feedback has allowed to achieve restoration manipulating skills with effectiveness ratio on the average 3,75. Bilateral hand grip has been restored at all patients.

Key words: hand, reconstructive surgery, electromyography, biological feedback

Введение

В настоящее время достигнуты значительные успехи в реконструкции пальцев и кисти, связанные в основном с использованием прецизионной хирургической техники, позволяющей восстановить тончайшие анатомические структуры кисти [1, 7–9]. Однако реконструктивные операции на увечной кисти неизбежно приводят к нарушению привычных двигательных стереотипов, что затрудняет выработку новых манипуляторных навыков даже при полном устранении анатомического дефекта. Причем ухудшение функции кисти при ее тяжелых дефектах обусловлено не только анатомическими факторами, но и формированием в ЦНС патологического двигательного стереотипа [3, 4].

Многими авторами показана эффективность проведения тренировки с электромиографической биологической обратной связью (ЭМГ БОС) при центральных и периферических двигательных нарушениях [5, 6]. Данный метод лечения используется преимущественно у неврологических больных для выработки простых двигательных локомоций и значительно реже – после оперативных вмешательств на кисти, причем не связанных с реконструкцией утраченного в результате травмы пальца.

Цель исследования – изучение возможностей применения ЭМГ БОС для ранней выработки нового двигательного навыка после различных реконструктивных операций на кисти, разработка и обоснование методик адаптивной тренировки мышц кисти и предплечья в зависимости от типа дефекта кисти и характера ее реконструкции.

Материалы и методы

Адаптивная тренировка с ЭМГ БОС применена у 47 больных после выполнения реконструкции пальцев и кисти с использованием методов: фалангизации, расщепления культи предплечья, перемещения сегментов кисти (одноэтапного или после предварительной дистракции), кожно-костной пластики, пересадки второго пальца стопы на микрососудистых анастомозах.

Для оценки эффективности лечения использовались электромиографический и биомеханический методы. Регистрировалась активность мышц тенара и предплечья при выполнении основных движений первого пальца (отведения, приведения, противопоставления его остальным пальцам) и трехфаланговых пальцев (сгибание, разгибание). Определялся индекс реципрокно-

сти как отношение активности мышц тенара к активности сгибателей и разгибателей пальцев. В процессе выработки двигательного навыка кисти проводились электроэнцефалографические исследования. Использовали электромиограф фирмы «Медикор» МG-440 и диагностический комплекс «МБН-Нейромиограф».

Для оценки биомеханических показателей применяли программно-аппаратный комплекс НОКП НППИ-ННИИТО, который позволяет определять максимальные значения мышечного усилия (ММУ), скорости сокращения (МСС), скорости расслабления (МСР), силу при максимальной скорости сокращения, силу при максимальной скорости расслабления, коэффициент выносливости (произведение максимального мышечного усилия на время его удержания), а также показатели воспроизведения заданного мышечного усилия (ВЗМУ).

Предварительно у 161 больного были изучены адаптивные реакции нервно-мышечного аппарата кисти и предплечья до выполнения реконструктивной операции и в различные сроки после нее. Проводилась статистическая обработка полученных данных с использованием критериев Вилкоксона, Манна-Уитни и корреляционного анализа.

Управляемым параметром при функциональном лечении с ЭМГ БОС была средняя амплитуда интерференционной электромиограммы тренируемой мышцы. Сеансы лечения проводили по разработанной нами методике [3] в кабинете биологической обратной связи, оснащенном аппаратами различного назначения: «Миотоник-03», «Митон-03», «Миотренажер», «Корректор движений», биокомпьютерный тренажер «Биобитман», выпускаемыми ЗАО «Биосвязь» (г. Санкт-Петербург). Сеансы осуществлялись в комплексе с физиотерапевтическими процедурами, направленными на улучшение трофики, микроциркуляции тканей, стимуляцию их регенерации, купирование боли и травматического отека кисти.

Результаты и обсуждение

Биомеханические исследования показали, что направленность адаптивных реакций нервно-мышечного аппарата зависела от метода реконструкции пальцев и кисти.

При перемещении сегментов кисти выявлена положительная динамика показателей ММУ, МСС, МСР, силы при МСС, при МСР, коэффициента выносливости, среднего отклонения ($p=0,068$ для всех параметров). В случае реконструкции пальцев данным методом эти показатели были лучше, чем при пересадке и перемещении комплексов тканей с осевым кровотоком ($p=0,00016 - 0,121$ для различных параметров).

Электромиографический паттерн мышц дистальных отделов верхней конечности и его динамика после операции также зависели от особенностей оперативного вмешательства. При выполнении восстановленным первым пальцем различных движений в случае сохранения его адекватной иннервации (перемещении сегмента) отмечалось нарастание амплитудных показателей тенара ($P=0,009-0,03$), а в условиях денервации пальца (пересадки пальца стопы и кожно-костных комплексов) имела место положительная динамика частотных показателей мышц тенара ($P=0,03-0,05$) и амплитудных – мышц предплечья ($P=0,02-0,05$).

Это может быть объяснено сохранением иннервации и, следовательно, адекватной специфической сомато-сенсорной информации, поступающей с восстановленного пальца в центральную нервную систему, и выработкой правильного двигательного стереотипа в случае реконструкции с использованием местных тканевых ресурсов. В то же время, в первые месяцы после пересадки на микрососудистых анастомозах сегмент остается денервированным, а реиннервация восстановленного пальца наступает в течение длительного времени, в связи с чем достигается патологическая компенсация функции за счет рекрутирования дополнительных двигательных единиц тенара и участия вспомогательных мышц.

Положительная динамика биоэлектрической активности после реконструкции пальцев, преимущественно мышц тенара, индексов реципрокности, а также корреляционные зависимости амплитуды биопотенциалов мышц тенара и большинства силовых, скоростных биомеханических параметров ($r=0,33-0,71$) в различные сроки после операции, степени сохранности мышц позволяют предположить, что адаптационный потенциал кисти преимущественно определяется мышцами тенара.

Не менее значимым в понимании процессов адаптации нервно-мышечного аппарата кисти является корреляционный анализ ЭМГ показателей тенара и биомеханических параметров кисти в одни и те же сроки после операции. Сразу после операции и в ближайшие сроки после нее отмечались отрицательные корреляционные связи биоэлектрической активности мышц тенара и ММУ, МСС, силы при МСР, коэффициента выносливости ($r=-0,59-0,87$). В отдаленные сроки после операции выявлена прямая корреляционная связь активности мышц тенара с биомеханическими показателями ($r=0,41-0,53$ для различных движений). Наличие связи преимущественно с показателями «мышечной памяти» в отдаленные сроки свидетельствует в определенной степени о формировании двигательного навыка и

целесообразности использования этих биомеханических параметров для оценки восстановления динамического двигательного стереотипа. Отрицательную корреляционную зависимость после операции и в ближайшие сроки после нее можно объяснить преимущественным участием в обеспечении схвата кисти других мышечных групп (сгибателей и разгибателей пальцев), а не мышц тенара, вследствие имеющихся нейрорегуляторных расстройств. Полученные данные свидетельствуют о целесообразности первоочередной тренировки с ЭМГ БОС мышц тенара в ранние сроки после операции.

Целесообразность адаптивной тренировки с ЭМГ БОС подтверждается также при изучении функциональных результатов реконструкции пальцев по нашему методу, примененному у 25 больных с различным характером реконструкции пальцев. Только у двух больных правильно восстановлению двигательного стереотипа и автоматизма движений соответствовали адекватные биометрические показатели.

На основании полученных данных и клинического опыта применения ЭМГ БОС у пациентов с острой травмой кисти и последствиями повреждений разработана система адаптивной тренировки больных после различных реконструктивных вмешательств, направленная на раннюю выработку нового двигательного навыка.

Наш опыт показывает нецелесообразность представления больному в виде сигналов обратной связи всего электромиографического паттерна целостного сложнокоординированного движения, хотя это на современном уровне развития техники и возможно. Во-первых, не существует линейной зависимости между ЭМГ-параметрами и сложностью выполнения манипуляторного навыка, а, во-вторых, для выработки тонких высокодифференцированных движений достаточна тренировка базовых движений кисти, что создает условия для формирования наиболее сложного движения на основе принципов адаптивной саморегуляции на различных уровнях системной организации ЦНС. При этом происходит перестройка центральных двигательных программ, что сопровождается улучшением параметров не только внешнего, но и внутреннего рисунка движений, характеризующих состояние периферического отдела нервно-мышечной системы.

Интенсивность тренировки, в первую очередь, зависела от уровня ампутации большого пальца и типа дефекта кисти. При более проксимальных уровнях и более тяжелых дефектах кисти (отсутствие или деформация всех пальцев) интенсивность тренировки увеличивалась. В условиях неизбежной временной или постоянной сенсорной недостаточности пальца при восстановлении его путем использования отдаленных

донорских ресурсов адаптивная тренировка мышц тенара и гипотенара имеет особую значимость при любых уровнях ампутации пальца, так как после подобных вмешательств отмечается формирование наиболее устойчивого патологического двигательного стереотипа. Длительность и интенсивность адаптивной тренировки после подобных вмешательств должны быть больше по сравнению с перемещением.

При любом методе реконструкции пальца и корригирующей операции на нем тренировка была направлена, в первую очередь, на восстановление основной функции кисти – двустороннего схвата. С этой целью тренировали мышцы, обеспечивающие движение как лучевой (первого луча), так и локтевой branши (одного из сохранившихся или единственного трехфалангового пальца). Формировали два канала: с мышц восстановленного пальца и сохранившейся локтевой или лучевой противоупорной branши. В случае реконструкции первого и трехфалангового пальцев каналы формировали с мышцами обоих восстановленных пальцев. Задача больного состояла в воспроизведении и удержании сигналов обратной связи с обоих каналов. В результате тренировок достигалось смыкание branш, и появлялась возможность двустороннего схвата. В случае реконструкции первого или трехфалангового пальца пересадкой или перемещением на культю пальца сегмента, не содержащего сухожилие, осуществляли тренировку мышц тенара или соответствующих межкостных мышц. В условиях реконструкции первого или трехфалангового пальца сегментом, содержащим сухожилие, осуществляли дополнительную тренировку мышцы, прикрепляющейся к сегменту. При реконструкции пятого пальца проводили тренировку мышц гипотенара.

После перемещения пальцев и их культей в позицию первого пальца отмечались различные нейрорегуляторные расстройства, в связи с чем возникала необходимость восстановления «мышечного чувства» сформированного пальца, его изолированных движений, а также содружественных движений перемещенного и сохранившегося сегмента первого пальца. При формировании правильных взаимодействий сгибателей перемещенного пальца с сохранившимися мышцами тенара, обеспечивающими функционирование восстановленного первого пальца как единого органа, использовали два канала: со сгибателей перемещенного пальца и мышц тенара. Задача пациента состояла в том, чтобы вызывать и удерживать сигналы обратной связи с обоих каналов при изотоническом сокращении мышц. Постепенно восстанавливалось содружественное сокращение тренируемых мышц.

С целью устранения синкинезий перемещенного с сохранившимися пальцами и их культями использовали два канала обратной связи: первый канал – со сгибателей восстановленного пальца, объем движений которого необходимо увеличить, а второй – со сгибателей соседнего пальца, активность которых необходимо уменьшить при сгибании первого. Усилия больного при этом состояли в увеличении интенсивности сигналов с мышц первого канала и уменьшении – со второго. При необходимости осуществляли изотоническую тренировку с формированием канала обратной связи со сгибателями других трехфаланговых пальцев (если они вовлекаются в движения первого пальца). После выработки навыка изолированных движений первого пальца проводили разработку противопоставления его остальным с использованием базового принципа – тренировки мышц тенара.

В случаях пересадки пальца стопы, кожно-костных комплексов на микроанастомозах, дистракционного удлинения культей пальцев и пястных костей характер нейрорегуляторных расстройств и алгоритм тренировки в основном были аналогичными перемещению пальца или его сегмента, за исключением необходимости тренировки содружественных движений перемещенного и сохранившегося сегментов восстановленного первого пальца. Основной компонент адаптивной тренировки (разработка мышц тенара) дополнялся другими компонентами также с учетом индивидуальных особенностей реконструкции пальца, двигательных нарушений нейрорегуляторного характера при различных типах дефектов кисти.

Наиболее выраженные нейрорегуляторные нарушения отмечали после пластического расщепления культи предплечья, когда возникала необходимость выработки совершенно нового двигательного навыка, не свойственного ранее предплечью: сведения и разведения сформированных «пальцев». Направленная адаптивная тренировка сводится к выработке изолированного сокращения медиальной группы мышц лучевого «пальца» и круглого пронатора. Это обеспечивает полное сведение «пальцев» в среднем через 15 сеансов.

При фалангизации первой пястной кости в результате иссечения мышц первого межпальцевого промежутка в ряде случаев происходит выпадение функции приведения первой пястной кости. В связи с этим возникает необходимость в переадаптации функции части сохранившихся мышц тенара взамен удаленных на выполнение приведения первой пястной кости.

Подтверждением эффективности адаптивной тренировки с ЭМГ БОС является положительная динамика амплитуды ЭМГ и биомеханических

показателей после лечения. Так, отмечалось увеличение амплитуды биоэлектрической активности всех тренируемых мышц после реконструкции пальцев применявшимися методами ($p=0,04-0,0002$ для различных движений), в то время как частотные показатели ЭМГ менялись в значительно меньшей степени. Выявлена тенденция к уменьшению среднего значения воспроизведения заданного мышечного усилия в отдаленном периоде по сравнению с ближайшим периодом ($P=0,11$), что можно рассматривать как результат улучшения проприоцептивной чувствительности, а также совершенствования «мышечной памяти», достигнутого при адаптивной тренировке. В результате адаптивной тренировки после перемещения сегмента достоверно улучшались функции первого пальца ($P=0,059-0,000008$ для различных функций), а также сокращались сроки переадаптации чувствительности перемещенных сегментов ($P=0,026$), что обеспечивало восстановление манипуляторных навыков кисти. Достижение лучших непосредственных результатов позволило сократить общие сроки реабилитации больных в опытной группе по сравнению с контрольной в 1,92 раза ($P<0,05$). При этом сравнивались результаты первичной реконструкции большого пальца путем перемещения интактного трехфалангового пальца. В опытной группе, где проводилась ранняя адаптивная тренировка с ЭМГ БОС, было 4 человека (трое мужчин, одна женщина), средний возраст которых составил $36,75 \pm 6,05$ лет, а продолжительность госпитализации $40,25 \pm 2,95$ дней. Контрольная группа состояла из четырех больных (все мужчины), которым проводилось функциональное лечение традиционными методами. Средний возраст больных составил $27,50 \pm 4,51$ лет, а продолжительность госпитализации - $40,50 \pm 0,50$ дней. Сравнимые группы не отличались статистически по этим параметрам, а также по этиологии травмы, уровню ампутации первого пальца, методике операции и характеру остеосинтеза ($P_{тмф}=0,57, P>0,5$). В опытной группе были достигнуты полный объем движений в межфаланговом суставе пальца у 50% больных, в контрольной – ни у одного пациента ($P<0,018$), а также возможность противопоставления первого пальца всем остальным у 75% пострадавших, тогда как в контрольной группе у всех больных данная функция не была восстановлена ($P<0,002$). Продолжительность функционального лечения в опытной группе составила $3,33 \pm 0,88$ дня, а опытной – $6,4 \pm 0,9$ дней ($P<0,05$).

В результате проведенного лечения получены следующие оценки интегральных показателей восстановления функций кисти: отлично – 19 (45,2%), хорошо – 10 (23,8%), удовлетвори-

тельно – 11 (26,2%), неудовлетворительно – 2 (4,8%). У всех 5 больных, которым было выполнено пластическое расщепление культи предплечья, достигнут хват сформированной «клешней».

Восстановление основных функций первого пальца создавало благоприятные условия для выработки профессиональных навыков оперированной кисти в ранние сроки после операции. Тренировку сложных манипуляторных навыков также проводили с использованием ЭМГ БОС, стенда профессиональной реабилитации и набора основных рабочих инструментов.

Нами разработана методика балльной оценки манипуляторных навыков кисти в зависимости от тяжести ее дефекта. При наличии на кисти первого и хотя бы одного из трехфаланговых пальцев определяли скорость захвата и перекладывания на расстоянии 20-25 см различных рабочих инструментов: бутылки, стакана, черенка лопаты, молотка, кусачек, рубанка, отвертки, гаечного ключа, ручки, канцелярской кнопки, иголки, спичек, гвоздей. Кроме того, оценивалась возможность выполнения следующих действий: завода ручных часов (на один оборот), застегивания пуговицы на пиджаке, рубашке, поворота на один оборот водопроводного крана, дверного ключа, переноса наполненной чайной чашки за ручку, вдевания нитки в иголку.

В случае отсутствия всех пальцев осуществлялись захват и перекладывание молотка, кусачек, отвертки, гаечного ключа, ручки, ложки, столового ножа, канцелярской кнопки, иголки, спичек, гвоздей, наполненной чайной чашки за ручку. Оценивалась также возможность поворота водопроводного крана, дверного ключа, гайки диаметром 10 мм и 6 мм на болте на один оборот. За выполнение конкретного движения в пределах 5 сек начислялось 5 баллов, при невозможности выполнения – 0 баллов, за выполнение двигательного акта, отсутствовавшего до лечения – 5 баллов; за уменьшение времени выполнения манипуляции на 5 - 15% дополнительно начислялся 1 балл, на 16 - 30% – 2 балла, больше 30% – 3 балла, до 50% – 5 баллов. Коэффициент эффективности адаптивной тренировки вычислялся путем деления суммы баллов всех движений после тренировки на аналогичный показатель до начала проведения функционального лечения.

Коэффициент эффективности лечения у больных с наличием на кисти первого и не менее одного из трехфаланговых пальцев (31 пациент) составил $3,24 \pm 0,31$, а у больных с отсутствием всех пальцев кисти (11 пациентов) – $3,92 \pm 0,43$. Восстановление манипуляторных навыков кисти позволило улучшить и социальные показате-

ли лечения. Из 31 больного первой группы 7 человек восстановили свою рабочую квалификацию, 6 переквалифицировались на другую работу, 2 получили профессию, 3 продолжают учиться в школе, у двух пациентов снижена инвалидизация, а у 11- сохранилась группа инвалидности. Во второй группе из 11 пострадавших, имевших наиболее тяжелые, как правило, двухсторонние дефекты кисти, 8 человек сохранили группу инвалидности, один пациент трудоустроился, один получил профессию и еще один продолжает учиться в школе. Больные после расщепления культи предплечья (5 человек) сохранили первую группу инвалидности, но получили возможность самообслуживания.

Заключение

Таким образом, адаптивная тренировка с ЭМГ БОС является эффективным методом лечения, позволяющим выработать новый двигательный навык кисти в ранние сроки после выполнения реконструктивной операции. Предложенный методологический подход к выработке двигательного навыка кисти значительно расширяет возможности метода. Разработанная система адаптивной тренировки мышц кисти и предплечья позволяет улучшить результаты реконструкции кисти и пальцев при различных типах дефектов кисти, в том числе и самых тяжелых, восстановить сложные манипуляторные навыки и улучшить социальные показатели лечения.

Литература

1. Абалмасов, П.К. Аутотрансплантация лоскутов в ургентной микрохирургии / П.К. Абалмасов, В.Г. Чичкин, Т.Ю. Сухинин // Пластическая хирургия и эстетическая дерматология : материалы IV конгресса по пластической, реконструктивной и эстетической хирургии с международным участием. – Ярославль, 2003. – С. 217.
2. Акчурин, Р.С. Реконструктивная микрохирургия беспалой кисти : автореф. дис. ... д-ра мед. наук / Акчурин Ренат Сулейманович; Всесоюзный научный центр хирургии. – Москва, 1984. – 26 с.
3. Александров, Н.М. Применение метода биоуправления с ЭМГ-обратной связью в реабилитации больных с повреждениями кисти и предплечья / Н.М. Александров, Н.М. Яковлев, А.А. Сметанкин, Л.В. Домбровская // Ортопедия, травматология и протезирование. – 1988. - №1. – С. 25-29.
4. Блохин, В.Н. Восстановительные операции при дефектах кисти и пальцев: метод кожно-костной пластики : автореф. дис. ... д-ра мед. наук / Блохин Владимир Николаевич ; Академия мед. наук СССР. – Москва, 1964. – 26 с.
5. Богданов, О.В. Восстановление двигательных расстройств с помощью приемов функционального биоуправления / О.В. Богданов, Б.Г. Варман, А.Т. Алиев // Журн. невропатологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. – 1985. – Т. 85, № 3. – С. 359-365.

6. Косов, И.С. Особенности двигательных нарушений у детей с последствиями родового повреждения плечевого сплетения и их коррекция методом функционального биоуправления / И.С. Косов // Вестн. травматологии и ортопедии им. Н.Н.Приорова. — 2000. - № 2. — С.44-47.
7. Валетова, С.В. Реконструктивно-восстановительное лечение после реплантации и реваскуляризации длинных пальцев кисти / С.В. Валетова, Л.А. Родоманова / Пластическая хирургия и эстетическая дерматология : материалы IV конгресса по пластической, реконструктивной и эстетической хирургии с международным участием. — Ярославль, 2003. — С. 219-220.
8. Yabe, T. Fingertip replantation using a single volar arteriovenous anastomosis and drainage with a transverse tip incision / T.Yabe, M. Myraoka, H. Motomura, T. Ozawa // J. Hand Surg. — 2001. - Vol. 26-A, N 6. — P.1120-1124.
9. Woo, S.-H. Partial great toe transfer for the reconstruction of composite defects of the distal thumb / S.-H. Woo [et al.] // Plast. Reconstr. Surg. — 2006. - Vol.117, N 6. - P. 1906-1915.

Контактная информация: Александров Николай Михайлович, микрохирургическое отделение ННИИТО
603155, г. Нижний Новгород, Верхневолжская наб., д.18,
тел. 8-312-436-14-07.

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

С 9 по 10 октября 2009 года

ФГУ «Российский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена Росмедтехнологий» проводит ежегодную конференцию с международным участием

«ВРЕДЕНОВСКИЕ ЧТЕНИЯ»

Основные темы

1. Сложные случаи и новые технологии при первичной артропластике тазобедренного сустава.
2. Ревизионная артропластика тазобедренного сустава.
3. Первичная и ревизионная артропластика коленного сустава.

Заседания пройдут в отеле «Ольгино» (Приморское шоссе, д.15).

Публикация тезисов

Материалы конференции (статьи объемом 4-5 страниц (Times New Roman, кегль 14, полуторный интервал) будут опубликованы в журнале «Травматология и ортопедия России».

Условия публикации размещены на сайте www.altaastra.com.

Статьи принимаются до 15 июня 2009 года.

Все рукописи подлежат рецензированию, редакция журнала оставляет за собой право отклонить статью в случае отрицательного отзыва.