

Электромиографическое биоуправление и функциональная магнитно-резонансная томография в постинсультной реабилитации (на примере обучения точностному схвату)

Черникова Л.А.¹, Иоффе М.Е.², Бушенева С.Н.¹, Шестакова М.В.¹,
Билименко А.Е.¹

EMG biofeedback and functional magnetic resonance imaging in the post-stroke rehabilitation (precise grip training)

Chernikova L.A., Ioffe M.Ye., Busheneva S.N., Shestakova M.V., Bilimenko A.Ye.

¹ Научный центр неврологии РАМН, г. Москва

² Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, г. Москва

© Черникова Л.А., Иоффе М.Е., Бушенева С.Н. и др.

Методом функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ) изучены механизмы реорганизации двигательных систем при ишемическом инсульте в результате реабилитации. У пациентов после проведения стандартной восстановительной терапии независимо от локализации инфаркта выявлено увеличение интенсивности основных активационных зон в сенсомоторной области и в области полушарий мозжечка как для паретичной, так и для здоровой руки. После функционального тренинга реорганизация функциональной двигательной системы заключалась в более значительном увеличении интенсивности активации основных зон только в пораженном полушарии; выраженность этих изменений не зависела от локализации инфаркта. Степень восстановления движений кисти после функционального тренинга была достоверно выше, чем после курса базисной восстановительной терапии. Таким образом, нейровизуализационный (фМРТ) и клинический анализ показал направленное и эффективное воздействие на процессы функциональной реорганизации двигательных систем с помощью методов функционального тренинга.

Ключевые слова: ишемический инсульт, реорганизация двигательных систем, восстановительная терапия, биоуправление с обратной связью по электромиографии, точностной схват, функциональная магнитно-резонансная томография.

The mechanisms of reorganization of motor systems at the poststroke patients after rehabilitation were studied using the method functional magnetic resonance imaging (fMRI). At patients after standard rehabilitation therapy, irrespective of localization of stroke, the increase in intensity of the basic activity zones in sensomotor areas and in the field of a hemisphere of a cerebellum as for parietic, so for a healthy hand was revealed. At patients after EMG biofeedback training of the precision grip the reorganization of functional motor system consists in more significant increase of intensity of activation of the basic zones only in lesioned hemisphere; expressiveness of these changes did not depend on localization of stroke. The degree of restoration of movements of hand after EMG biofeedback training was authentically above, than after a course of standard rehabilitation therapy. Thus, fMRI and the clinical analysis have shown that EMG biofeedback training of the precision grip have the goal-directed and effective influence upon processes of functional reorganization of motor systems.

Key words: ischemic stroke, reorganization of motor structures, rehabilitation, EMG biofeedback training, precision grip, functional magnetic resonance imaging.

УДК 612.821: 616.8

Введение

Движения рук играют важнейшую роль в повседневной деятельности человека, поэтому восстановление двигательных навыков верхней конечности

представляет собой важнейшую задачу реабилитации больных с постинсультными гемипарезами. Одним из базовых навыков руки выступает точностной схват (Precision grip), который основан на противопоставле-

нии большого пальца указательному и позволяет перемещать предмет относительно руки и ладони. Точностной схват является ключевым навыком для тонких движений кисти, поэтому его восстановление — наиболее важная часть реабилитации больных, перенесших инсульт.

Согласно современным представлениям, в основе как истинного восстановления, так и компенсации нарушенных функций при повреждениях головного мозга лежат механизмы нейропластичности, под которой подразумевается способность различных отделов центральной нервной системы (ЦНС) к реорганизации, прежде всего, за счет структурных изменений в веществе мозга. Особый интерес представляет изучение процессов реорганизации, которые развиваются в двигательных структурах головного мозга в ответ на применение разных методов двигательной тренировки у больных с легкими и умеренными парезами руки. Это обусловлено в первую очередь тем, что в последние годы появились работы, в которых продемонстрированы с помощью методов функциональной визуализации нейропластические процессы в головном мозге, лежащие в основе восстановления, и представлены возможности восстановления негрубых двигательных нарушений при использовании новых методов реабилитации даже в отдаленные сроки после инсульта.

Среди современных технологий двигательной терапии особый интерес представляет биоуправление с обратной связью (БОС) по электромиограмме, относящаяся к одному из способов восстановительной терапии при инсультах. Обратная связь, или сигнал ошибки, является важным элементом поведения. Она может быть речевой (правильно — неправильно), зрительной, тактильной (распознавание предметов на ощупь), вкусовой и т.д. При выполнении любого действия в мозге создается «модель потребного будущего» [2], или «акцептор результатов действия» [1], с которым сравнивается эффект поведенческого акта, в результате чего в действие вносится необходимая коррекция для получения положительного результата, подкрепления. Обратная связь необходима при обучении новым движениям. Зрительная обратная связь с использованием современных компьютерных технологий (биоуправление) [4] сегодня находит применение при исследовании нервных механизмов обучения, а также в процессе реабилитации [3, 8, 11]. Среди современных методов двигательной терапии особый

интерес представляет БОС по электромиограмме, оно относится к одному из способов восстановительной терапии постинсультных двигательных нарушений и, пожалуй, к категории единственной медицинской технологии, при которой пациент из пассивного объекта врачебных манипуляций превращается в активного субъекта лечебно-реабилитационного процесса [4].

Вместе с тем исследований по изучению возможности применения метода биоуправления по электромиограмме (ЭМГ) для тренировки точностных движений руки и влияние этого вида обучения на реорганизацию двигательных мозговых структур ранее не проводилось.

Целью настоящей работы явилось, во-первых, изучение процесса обучения точностному схвату с помощью биоуправления по электромиограмме, во-вторых, изучение возможности влияния этого обучения с помощью метода функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ) на реорганизацию двигательных структур мозга у больных после ишемического инсульта (ИИ).

Материал и методы

В исследование были включены 32 пациента, обследованных и прошедших курс восстановительной терапии в НИИ неврологии РАМН (средний возраст 54,5 (50—59)). Критерии отбора больных для данного исследования: 1) первичный ишемический инсульт; 2) супратенториальная локализация острой недостаточности мозгового кровообращения; 3) давность ИИ до 1 года; 4) наличие в клинической картине умеренной или легкой степени гемипареза или монопареза руки, что позволяло больному правильно выполнять «двигательную парадигму» во время фМРТ; 5) отсутствие нарушений слуха или высших психических функций (сенсорная афазия), препятствующих пониманию инструкций; 6) общие противопоказания для проведения магнитно-резонансной томографии.

Основным сосудистым заболеванием была артериальная гипертензия и (или) ее сочетание с атеросклерозом (27 человек, 84,4%). Атеротромботический и лакунарный характер ИИ отмечен у 26 (81,3%) из 32 больных.

Все пациенты были разделены на две группы в зависимости от объема восстановительной терапии. Основную составили 16 больных, которые в течение 2 нед обучались «точностному схвату» с помощью биоуправления с обратной связью по электромиограмме по специально разработанной методике (10 занятий). Кон-

трольную группу составили 16 пациентов, получавших комплексное восстановительное лечение в соответствии с методическими рекомендациями, разработанными в Научном центре неврологии РАМН, включавшее массаж паретичных конечностей, нервно-мышечную электростимуляцию разгибателей кисти и пальцев и традиционную лечебную гимнастику, в том числе и упражнения, направленные на улучшения двигательных функций в руке. Обе группы были сопоставимы по возрасту, тяжести неврологического дефицита, срокам начала и длительности лечения, объему медикаментозной терапии.

Для тренировки точностного схвата с помощью технологии БОС по электромиограмме использовался аппаратно-программный комплекс «Бослаб» (г. Новосибирск). Электромиографические электроды накладывались на мышцы возвышения большого пальца. Испытуемые сжимали большим и указательным пальцами небольшой предмет и обучались поддерживать заданный уровень активности мышц (ЭМГ) в 20, 40 или 60% от уровня максимального сокращения. На экране монитора испытуемый видел заданный уровень ЭМГ в виде коридора, а также изменения своей интегрированной ЭМГ (рис. 1). Задача состояла в совмещении уровня ЭМГ с заданным коридором и удержании уровня мышечного напряжения в течение 30 с.

После каждой пробы испытуемый должен был максимально расслабить мышцы под зрительным контролем (тренировка преодоления спастичности), а затем пытался воспроизвести необходимый уровень ЭМГ по памяти, не видя ЭМГ на экране, т.е. без зрительного контроля. Продолжительность сеанса составляла 20—25 мин. Курс обучения состоял из 10 ежедневных сеансов.



Рис. 1. Процедура обучения точностному схвату методом биоуправления по электромиограмме

Для объективизации степени выраженности клинических симптомов и динамики восстановительных процессов использовались унифицированные международные шкалы: шкала Национального института по борьбе с инсультом (NIHSS), индекс Бартля (BI), Motor Assessment Scale (MAS), Fugl-Meyer Scale (FMS).

Для уточнения локализации инсульта всем пациентам проводилась магнитно-резонансная томография (МРТ) головного мозга в первые 2—3 дня поступления в стационар на магнитно-резонансном томографе Magnetom Symphony (Siemens, Германия), создающем напряженность магнитного поля 1,5 Тл. Кроме того, для изучения динамических процессов реорганизации функциональной активности и структуры функциональных систем головного мозга использовалось фМРТ. В данной работе выбрана моторно-сенсорная парадигма, которая заключалась в противопоставлении большого пальца остальным пальцам кисти, требующая определенной точности движения. У всех больных фМРТ-исследование проводилось при поступлении в стационар (первичное) и на следующий день после окончания курса восстановительной терапии или завершения обучения точностному схвату.

Результаты и обсуждение

При анализе процесса обучения оказалось, что под зрительным контролем точность воспроизведения заданного уровня ЭМГ (разницы заданного уровня и уровня выполнения) в 1-й день тренировки несущественно нарушена у больных с гемипарезом. В течение 10 дней наблюдалось достоверное улучшение точности у здоровых испытуемых и менее выраженное улучшение у больных. Без зрительного контроля в 1-й день исследования точность выполнения задачи не хуже, чем со зрительным контролем, как у здоровых испытуемых, так и у больных с повреждением моторной системы. В то же время после 10 дней тренировки у здоровых испытуемых результат обучения без контроля зрения хуже, чем со зрительным контролем, а при поражении моторной системы без контроля зрения никакого обучения вообще не происходит.

Таким образом, обучение с помощью зрительной обратной связи улучшает точность произвольной активности мышц кисти у больных с гемипарезом после

инсульта. При воспроизведении без зрительного контроля работает так называемая мышечная (проприоцептивная) память. При этом обнаруживаются два разных механизма такой памяти. Быстрое воспроизведение в 1-й день без контроля зрения может быть основано на кратковременной проприоцептивной памяти. Оно не нарушается при поражении моторной системы у больных с инсультом. При 10-дневной тренировке происходит образование нового навыка, которое связано с долговременной памятью. Это обучение после поражения моторной системы ухудшается при зрительном контроле и полностью отсутствует без него. Таким образом, установлено, что больные с поражением моторной системы не могут обучаться без контроля зрения. Основную роль в этих условиях играет проприоцептивная референтная система, оценивающая ошибку, но она работает лишь при сохраненной моторной системе.

При анализе данных, полученных при фМРТ, выделены основные и дополнительные активационные зоны [5, 6]. К основным зонам активации отнесены сенсомоторная зона (SMC), дополнительная моторная зона (SMA), полушария мозжечка (Cereb.) и базальные ганглии (BG).

В контрольной группе после курса стандартной восстановительной терапии, при повторном фМРТ-исследовании независимо от локализации инфаркта было выявлено увеличение интенсивности основных активационных зон (в сенсомоторной области и в области полушарий мозжечка) как для паретичной, так для здоровой руки. В области дополнительной моторной коры отмечалось либо увеличение интенсивности имеющихся до терапии, либо возникновение новых активационных зон для паретичной руки.

Наибольшие изменения при повторном фМРТ-исследовании отмечены в зонах дополнительной активации, причем степень этих изменений зависела от локализации инфаркта. Для всех пациентов было характерно развитие дополнительной активации в области полушарий мозжечка. Причем для всех пациентов с высокой степенью статистической достоверности ($p = 0,0021$) была обнаружена корреляция между степенью восстановления двигательного дефицита (по шкале MAS) и формированием дополнительных зон активации в полушариях мозжечка.

Усиление активации в области мозолистого тела было характерно для пациентов с подкорковыми (в области таламуса, внутренней капсулы) и корково-

подкорковыми инфарктами. Появление зон активации после базисной терапии в области премоторной коры было характерно для пациентов с корково-подкорковыми инфарктами. Сопоставление данных динамики двигательного дефицита с развитием активационных зон в области мозолистого тела и премоторной коры не обнаружило корреляции между этими параметрами ($p = 0,17$). Возникновение дополнительной активации в указанных зонах, вероятно, отражает варианты нейропластических процессов в зависимости от локализации очага поражения и требует дальнейшего углубленного изучения.

В основной группе больных, получавших в течение 2 нед только обучение точностному схвату, при повторном фМРТ-исследовании реорганизация функциональной двигательной системы заключалась в увеличении интенсивности активации основных зон (в области сенсомоторной коры, дополнительной моторной области и полушарий мозжечка) только для паретичной руки. Выраженность этих изменений не зависела от локализации инфаркта.

Для всех пациентов основной группы было характерно появление зон дополнительной активации в полушариях мозжечка и в передних отделах мозолистого тела. Степень интенсивности как основных, так и дополнительных активационных зон после целенаправленного обучения точностным движениям пальцев кисти была достоверно выше ($p = 0,001$), чем после курса стандартной терапии. Возникновение дополнительных зон активации в области полушарий мозжечка коррелировало с улучшением двигательной функции руки, что имеет прогностическую значимость в отношении восстановления двигательного дефицита (аналогичные данные получены у пациентов после стандартной восстановительной терапии).

В двигательной парадигме, используемой при проведении фМРТ, так же как и при обучении точностному схвату, участвуют мышцы кисти и пальцев, поэтому представляло интерес оценить степень восстановления движений избирательно для дистального отдела руки (MAS — для кисти). До начала курса восстановительного лечения степень нарушения движений в кисти у больных основной и контрольной групп достоверно не различалась и составляла 1,94 и 1,93 балла соответственно. После курса восстановительной терапии у больных контрольной группы, получавших стандартное лечение, функция кисти улучшилась до 4,3 балла, в то

время как в основной группе, получавшей целенаправленную тренировку точностных движений пальцев, двигательная функция кисти увеличилась до 8,9 балла (рис. 2).

Анализ динамики восстановления показал, что степень восстановления движений кисти (наиболее тонких и трудных для восстановления движений) после функционального тренинга достоверно выше, чем после курса стандартной восстановительной терапии. То есть можно говорить о более целенаправленном и универсальном действии терапии с использованием обучения средствами технологии биоуправления. Это положение подтверждается данными фМРТ-исследования, при котором выявлено влияние функционального тренинга только на представительство паретичной руки.

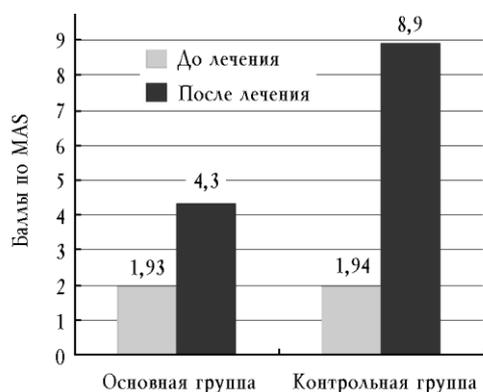


Рис. 2. Средние значения степени нарушения двигательной функции кисти (в баллах по шкале MAS) до и после проведения восстановительной терапии в основной и контрольной группах

По данным литературы, усиление зон активации на стороне инсульта, которое отмечено у пациентов после прохождения функционального тренинга, имеет положительное прогностическое значение и коррелирует с хорошим восстановлением в отличие от усиления активации непораженного полушария, которое, как правило, наблюдается при плохом течении реабилитационного этапа [7, 9, 10].

Заключение

Сведения об авторах

Л.А. Черникова — д-р мед. наук, профессор, зав. отделением нейрореабилитации и физиотерапии Научного центра неврологии РАМН (г. Москва).

М.Е. Иоффе — д-р мед. наук, главный научный сотрудник лаборатории двигательного обучения Института высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН (г. Москва).

Результаты проведенного исследования выявили особенности реорганизации двигательных структур при обучении больных точностному схвату, показали возможность более направленного и эффективного воздействия на процессы функциональной реорганизации двигательных структур головного мозга в режиме технологии биоуправления, организованного по ЭМГ. Это позволяет активно включать в программы двигательной реабилитации биоуправление, организованное по электромиограмме и направленное на выработку точностных движений пальцев кисти, особенно у больных с легкими и умеренными парезами и нарушением мелкой моторики руки.

Литература

1. Анохин П.К. Биология и нейрофизиология условного рефлекса. М.: Медицина, 1968.
2. Бернштейн Н.А. Очерки по физиологии движений и физиологии активности. М.: Медицина, 1966.
3. Черникова Л.А., Устинова К.И., Иоффе М.Е. и др. Биоуправление по стабิโลграмме в клинике нервных болезней // Бюл. СО РАМН. 2004. № 3. С. 85—91.
4. Штарк М.Б. Биоуправление: исследовательская и практическая составляющие // Бюл. СО РАМН. 2004. № 3. С. 8—9.
5. Calautti C., Leroy F., Guincestre J.-Y. et al. Sequential activation brain mapping after subcortical stroke: changes in hemispheric balance and recovery // Neuro Report. 2002. V. 12. P. 3883—3886.
6. Calautti C., Naccarato M., Jones P.S. et al. The relationship between motor deficit and hemisphere activation balance after stroke: A 3T fMRI study // Neuroimage. 2006. Oct 9.
7. Carey J.R., Greer K.R., Grunewald T.K. et al. Primary motor area activation during precision-demanding versus simple finger movement // Neurorehabil. Neural Repair. 2006. № 20 (3). P. 361—370.
8. Ioffe M.E., Ustinova K.I., Chernikova L.A., Kulikov M.A. Supervised learning of postural tasks in patients with poststroke hemiparesis, Parkinson's disease or cerebellar ataxia // Exp. Brain Res. 2005. № 21. P. 1—11.
9. Nair D.G., Fuchs A., Burkart S. et al. Assessing recovery in middle cerebral artery stroke using functional MR // I. Brain. Inj. 2005. Dec. № 19 (13). P. 1165—1176.
10. Ohnishi T., Matsuda H., Asada T. et al. Functional anatomy of musical perception in musicians // Cereb. Cortex. 2001. V. 11. P. 754—760.
11. Shestakova M., Lanskaya L., Chernikova L.A., Ioffe M. Voluntary control of EMG with or without visual feedback in healthy subjects and patients with poststroke hemiparesis. Gait & Posture, 2005. V. 21, Suppl. 1. S111.

Поступила в редакцию 02.12.2009 г.
Утверждена к печати 22.12.2009 г.

Новые технологии

От науки к практике

С.Н. Бушенева — канд. мед наук, научный сотрудник Научного центра неврологии РАМН (г. Москва).

М.В. Шестакова — врач-невролог отделения нейрореабилитации и физиотерапии Научного центра неврологии РАМН (г. Москва).

А.Е. Билименко — методист-инструктор ЛФК отделения нейрореабилитации и физиотерапии Научного центра неврологии РАМН (г. Москва).

Для корреспонденции

Черникова Людмила Александровна, тел.: 8 (495)490-25-02, 8 (495) 490-20-10, 8 (916) 655-38-27, luda_cher44@mail.ru