

# Пластичность мозга и современные реабилитационные технологии

Л.А. Черникова

НИИ неврологии РАМН, г. Москва

*В работе обсуждаются основные достижения в области изучения механизмов нейропластичности с помощью современных методов нейровизуализации и, прежде всего, функциональной МРТ. Подчеркивается роль в этих процессах различных афферентных воздействий. Современные нейрореабилитационные технологии, такие как СИ-терапия, система «ЛОСОМАТ», робототерапия и др., рассматриваются как источники усиленной целенаправленной афферентации. Приводятся данные о возможности применения нервно-мышечной электростимуляции в первые часы после инсульта. Обсуждается уникальная методика внутриглоточной электростимуляции при лечении дисфагий различной этиологии. Приводятся данные об эффективности транскраниальной электростимуляции при лечении центрального постинсультного болевого синдрома. Представлены возможности метода биоуправления, организованного по электромиограмме, при обучении больных точностному схвату — одному из основных двигательных навыков руки. Детально обсуждаются особенности обучения различным постуральным задачам методом биоуправления по статокинезиграмме у больных с постинсультными гемипарезами, болезнью Паркинсона и спиноцеребеллярными атаксиями. Представлены данные об эффективности альфа-стимулирующего тренинга у больных с центральным постинсультным болевым синдромом с преобладанием в клинической картине аффективных расстройств. В заключение обсуждаются перспективы одной из самых интересных современных реабилитационных технологий — технологии, основанной на виртуальной реальности.*

**Ключевые слова:** нейропластичность, афферентные воздействия, новые реабилитационные технологии.

Одним из наиболее выдающихся достижений в области фундаментальных наук второй половины XX века являются результаты исследований пластичности головного мозга, доказавшие, что кора взрослого человека способна к значительным функциональным перестройкам и что решающая роль в этой реорганизации принадлежит афферентной информации. Эти достижения позволили по-новому взглянуть на роль нейрореабилитации, которая в настоящее время окончательно теряет свой статус Золушки в мире неврологии и начинает занимать одно из приоритетных направлений в клинической медицине [15].

Предположение о возможности ремодулирования невральные кортикальные соединения под влиянием тренировок одним из первых высказал D. Hebb [26] еще в 40-е годы прошлого века. Но уже начиная с середины 60-х годов стали появляться многочисленные экспериментальные исследования, демонстрирующие химические и анатомические механизмы пластичности головного мозга у взрослых животных [14, 51, 29]. Наиболее полно возможность реорганизации кортикальных полей под влиянием сенсорного входа была продемонстрирована только в середине 80-х годов M. Merzenich с соавторами [32, 38, 39] в опытах на обезьянах, в которых удалось показать увеличение области сенсомоторной коры под влиянием контролируемой тактильной стимуляции и уменьшение коркового представительства кисти и соответствующее расширение представительства соседних сегментов руки — предплечья и плеча при ампутации кисти. Тогда же эти авторы впервые высказали предположение об актуальности полученных данных для реабилитации больных после инсульта.

Действительно, сохранность двигательного представительства той или иной части тела обеспечивается афферентным потоком от нее. Так, при постоянной афферентации с кисти, например у пианистов или слепых, читающих при помощи шрифта Брайля, увеличивается представительство заинтересованных зон [46, 22]. Более того, в исследовании A. Pascual-Leone с соавторами [47] при использовании метода транскраниальной магнитной стимуляции на здоровых добровольцах было показано, что временная функциональная реорганизация областей кортикального представительства может стать обычным явлением в повседневной жизни при обучении.

В настоящее время благодаря методам функциональной визуализации появилась возможность изучать процессы нейропластичности, развивающиеся в головном мозге при его повреждении. Одно из первых исследований в этой области было выполнено R. Nudo и G. Milliken [45], которые, произведя частичное повреждение моторной коры обезьяны, показали, что без последующей тренировки представительство пораженной конечности уменьшалось в размере. Но если паретичную конечность тренировать, то ее двигательное представительство увеличивалось, распространяясь на области, формально отвечающие за представительство плеча и локтя. Таким образом, тренинг оказывает прямое влияние на реорганизацию коры мозга с вовлечением прилегающей к инфаркту непораженной моторной коры. Во многих исследованиях показано, что в процессе обучения новым двигательным навыкам участвуют разные мозговые структуры в зависимости от характера тренируемого движения, такие как префронтальная, париетальная и соматосенсорная кора, премоторная, первичная и дополнительная моторная кора, таламус, мозже-

чок как на стороне поражения, так и на здоровой стороне [21, 24, 30, 52]. Так, в исследовании R. Seitz [53] с соавторами выявлено последовательное включение мозжечка и премоторной коры при обучении воспроизведения определенной траектории движения. Интересные результаты получены в работе H. van Mieг с соавторами [40]: оказалось, что при первичном обучении двигательным навыкам в руке и при последующей двигательной тренировке активируются разные комплексы мозговых структур.

В настоящее время значительная роль в восстановлении нарушенных функций при поражении первичных моторных зон и пирамидных трактов в бассейне средней мозговой артерии отводится более дистально расположенным от первичной моторной коры зонам, а именно премоторной коре [41, 42], которая обладает рядом свойств, позволяющих ей взять на себя функции первичной моторной коры при ее повреждении. Это прежде всего высокая видоизменяемость ее нейронов при обучении, прямые проекции пирамидных клеток V слоя на спинальные интернейроны и альфа-мотонейроны, наконец, соматотопическая организация, аналогичная такой же в первичной моторной коре.

Каковы же механизмы нейропластичности?

Согласно современным представлениям, как при модификации синаптических соединений, так и при реорганизации кортикальных полей у взрослых вовлекается прежде всего феномен долговременной потенциации (ДП), заключающийся в длительном увеличении нейронной активности (синтезе новых белков и развитии новых синаптических соединений) определенной структуры после тетанизации ее афферентного входа. Этот феномен лежит в основе процессов обучения и памяти. Для выработки ДП необходимы три условия:

1. содружественность активирования нескольких нервных волокон;
2. ассоциативность активирования пресинаптических волокон и постсинаптических клеток;
3. специфичность механизма ДП только к активированному пути.

Механизм ДП лежит в основе таких синаптических изменений, как:

1. восстановление синаптической передачи по мере разрешения локального отека, сдавливающего тело нейрона или аксон, в результате чего возникает невральнй шок;
2. денервационная гиперчувствительность, которая имеет место при разрушении окончания пресинаптического аксона. На клетке-мишени развиваются новые рецепторы в ответ на медиатор, высвобождающийся из других близлежащих аксонов. Примером может служить денервационная гиперчувствительность в постсинаптической мембране клеток стриатума, которая развивается при гибели нейронов черной субстанции;
3. синаптическая гиперэффективность, которая развивается при разрушении только некоторых ветвей пресинаптического аксона. Оставшиеся терминалы получают весь медиатор, который в норме распределяется среди всех

окончаний. В результате на оставшиеся окончания аксона поступает большее количество медиатора, чем в нормальных условиях. Механизм ДП, по-видимому, превращает молчащие синапсы в активные путем структурных изменений этих синапсов при самом активном участии AMPA- и NMDA-глутаматных рецепторов, а также  $Ca^{2+}$  и  $Na^{+}$  каналов. Надо сказать, что глутамат играет решающую роль в механизмах нейропластичности. В ряде экспериментальных работ показано, что блокирование NMDA-рецепторов глутамата предотвращает реорганизацию кортикальных карт первичной соматосенсорной коры.

Что же касается аксональных изменений, то известно, что регенеративный спраутинг (возобновление роста пораженного аксона) типичен только для периферической нервной системы, поскольку повреждения аксонов в ЦНС носят необратимый характер; это обусловлено отсутствием фактора роста нервов (NGF), вырабатываемого шванновскими клетками, торможением роста за счет олигодендроцитов и фагоцитарной активностью микроглии. Вместе с тем существование другого вида спраутинга (коллатерального) в структурах головного мозга (в рубро-спинальных нейронах красного ядра) впервые было показано в уникальных экспериментальных исследованиях N. Tsukahara еще в середине 1980-х годов [23]. Затем в ряде работ H. Asanuma с соавторами были обнаружены явления спраутинга и формирование новых синапсов в моторной коре за счет входа из соматосенсорной коры после уменьшения таламического входа [11, 33, 43]. Наконец, в одной из последних работ R. Nudo с соавторами [45], выполненных на обезьянах, было показано изменение траектории внутрикортикальных аксонов вентральной премоторной зоны вблизи очага ишемии, расположенного в первичной моторной зоне у обезьян, проходивших целенаправленный тренинг руки, и отсутствие этого явления у обезьян контрольной группы, которые не тренировались. Эти данные еще раз доказывают наличие феномена аксонального коллатерального спраутинга в мозговой коре.

Таким образом, в многочисленных экспериментальных и клинических исследованиях было выявлено, что в активизации механизмов нейропластичности ЦНС важную роль играют различные методы усиления афферентного входа, которые составляют основу восстановительной терапии больных с двигательными нарушениями. Эти данные, несомненно, послужили значительным толчком к развитию новых технологий в области двигательной реабилитации.

### Кинезитерапия

Наряду с традиционно применяемыми методами ЛФК, состоящими из классических лечебно-гимнастических приемов и направленными на выработку отдельных движений, в современной кинезитерапии все шире внедряются новые подходы, ориентированные на тренировку и обучение определенной двигательной задачи (*task-oriented approach*) [16, 56]. Такие подходы основаны на интенсификации лечебных методик, внедрении специальных робототехнических устройств.

К настоящему времени накоплен достаточно большой материал об эффективности метода интенсивной тренировки паретичной руки у больных с легкими или умерен-



рис. 1: Форсированная методика кинезитерапии – Constraint-induced (CI)-терапия  
Обучение двигательным навыкам в паретичной руке стимулируется путем фиксации здоровой руки в течение 2 недель по 5 часов в день.



рис. 2: Система «LOCOMAT»

ными парезами, при котором здоровая рука остается жестко фиксированной в течение 5–6 часов в день, в то время как паретичная рука усиленно тренируется (*constraint-induced movement therapy – CI therapy*) [57] (рис. 1). В настоящее время эффективность этой технологии в реабилитации больных с легкими и умеренными парезами при разной давности инсульта, начиная с 3 мес. и более, не вызывает сомнения [34, 48, 49]. Улучшение двигательных функций руки, наблюдаемое при использовании *CI therapy*, нашло подтверждение в последнее время в исследованиях с применением транскраниальной магнитной стимуляции, функциональной МРТ (фМРТ) и однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (ОФЭКТ), выявивших

процессы реорганизации коркового представительства руки не только в здоровом, но и в пораженном полушарии под влиянием этой терапии [18, 35, 50].

В качестве еще одного перспективного способа интенсификации кинезитерапии можно рассматривать методику тренировки ходьбы с использованием бегущих дорожек с поддерживающими вес тела системами, которая признана в качестве самой эффективной технологии восстановления навыка ходьбы для больных с постинсультными гемипарезами [12, 27]. В последние годы рассматриваемые системы были дополнены компьютеризированными роботами-ортезами, которые вначале обеспечивают пассивные движения в нижних конечностях, имитируя шаг (система «LOCOMAT» фирмы Hocoma) [19], а по мере восстановления движений доля активного участия больного в локомоции увеличивается (рис. 2). По оценке специалистов, такая система прежде всего облегчает работу инструкторов кинезитерапии и особенно эффективна у больных с нижней параплегией. В настоящее время получены обнадеживающие результаты применения этих систем и у больных с постинсультными гемипарезами [36].

Большой интерес представляет использование *робототехнических устройств* для восстановления функций руки, особенно у больных с глубокими парезами [13, 28, 59]. Одна из целей робототерапии заключается в преодолении патологических мышечных синергий, возникающих при попытке больного совершить какое-либо произвольное движение. Например, робот-ортез, фиксируемый на паретичной руке больного, запрограммирован таким образом, что он препятствует появлению сгибательной синергии в руке во время произвольных движений. Тренировка с помощью этого робота-ортеза в течение 8 недель (по 3 раза в неделю) приводит к значительному уменьшению выраженности синергии и увеличивает функциональные возможности руки.

### Электростимулирующая терапия

Другим методом реабилитации, который широко используется при центральном парезе, является метод нервно-мышечной электростимуляции (НЭС). Известно, что тренировочный эффект НЭС связан как с непосредственной активизацией больших мотонейронов  $\alpha$ -типа, так и с облегчающими эффектами со стороны кожных афферентов на эти мотонейроны; он сравним лишь с тренирующим эффектом произвольных сокращений очень высокой интенсивности. Однако в отличие от активных физических упражнений, оказывающих прямые активирующие влияния на сердечно-сосудистую и дыхательную системы, при НЭС эти влияния минимальны и носят преимущественно локальный характер [9]. Указанное обстоятельство послужило основанием для начала в Институте неврологии РАМН цикла исследований по изучению возможности использования НЭС в острейший период инсульта (в первые часы после развития заболевания) [6]. Проведенные работы показали, что применение НЭС паретичной руки уже в первые часы после развития инсульта (стимулируются разгибатели кисти и пальцев паретичной руки по 20 мин. дважды в день в течение 3 недель) весьма положительно влияет на двигательное и функциональное восстановление больных, не ухудшая при этом состояние мозгового кровотока (по данным перфузионно-взвешенной МРТ) и не увеличивая зону инфаркта (по данным диффузионно-взвешенной МРТ). Кроме того, при использовании



рис. 3: Проведение процедуры внутриглоточной электростимуляции

фМРТ во время НЭС паретичной руки было показано, что НЭС вызывает целенаправленный афферентный поток, приводящий к появлению очагов активации коры мозга на стороне поражения в периинфарктной зоне [58].

В Институте неврологии РАМН был разработан и внедрен в клинику уникальный метод *внутриглоточной электростимуляции* (рис. 3) у больных с нарушениями глотания различного генеза. Использование эндоскопического исследования до начала лечения позволило уточнить показания и противопоказания для применения данного метода лечения дисфагии. В настоящее время продолжаются исследования по разработке комплексной терапии с включением внутриглоточной электростимуляции и специальной методики лечебной гимнастики у больных с постинсультной дисфагией [17, 54]. Предварительные результаты свидетельствуют о высокой эффективности такой терапии с точки зрения восстановления (хотя бы частичного) функции глотания и связанного с этим заметного улучшения качества жизни больных.

В последние годы все большее внимание уделяется методу транскраниальной электростимуляции (ТЭС), под которой подразумевается неинвазивное электрическое воздействие (прямоугольные импульсы частотой 60-80 Гц) на мозг через кожные покровы головы, избирательно активирующее эндорфинергические и серотонинергические структуры защитных систем мозга. Основные эффекты ТЭС-терапии: обезболивание, ускорение процессов заживления, нормализация кровяного давления, лечение абстинентных синдромов, стимуляция иммунитета, нормализация психофизиологического статуса и некоторые другие [3]. В Институте неврологии ТЭС с успехом применяется для лечения центрального постинсультного болевого синдрома. Кроме того, было показано, что у больных с данным синдромом ТЭС значительно снижает выраженность гиперпатии и степень гиперкинезов [5].

### **Функциональное биоуправление с обратной связью**

Метод функционального биоуправления с помощью обратной связи по различным физиологическим параметрам занимает особое место среди новейших реабилита-



рис. 4: Тренировка точностного схвата методом биоуправления с обратной связью по электромиограмме

ционных технологий. В основе этого метода лежит активное обращение к личности пациента и использование обратной связи как источника дополнительной информации для пациента о результативности выполнения отдельных действий, целенаправленного движения или поведения в целом.

Основная цель метода биоуправления с обратной связью заключается в повышении уровня осознания и произвольного управления как обычно не осознаваемых (непроизвольных), так и произвольно контролируемых физиологических процессов – сначала путем контролирования внешних сигналов, а затем путем сознательного регулирования внутреннего физиологического состояния или усвоения такого типа поведения, которое будет предотвращать возникновение симптомов, устранять или ослаблять их вскоре после возникновения. Можно сказать, что биоуправление, сопровождающееся широким спектром сигналов, пояснениями и обучением пациента, восполняет недостаток информации в процессе лечения.

В Институте неврологии РАМН метод биоуправления, организованный по электромиограмме, используется при тренировке точностного схвата у больных с постинсультными гемипарезами [1, 10, 55] с помощью аппаратно-программного комплекса «БОС-ЛАБ», разработанного в Институте молекулярной биологии и биофизики СО РАМН (Новосибирск). В качестве сигнала обратной связи используется электрическая активность мышц возвышения большого пальца паретичной руки (рис. 4). Обучение осуществляется по специально разработанному протоколу, согласно которому периоды тренировки с использованием зрительной обратной связи по ЭМГ чередуются с воспроизведением аналогичного по силе мышечного напряжения «по памяти», без предъявления сигнала обратной связи. После курса тренировки у больных наблюдается тенденция к уменьшению амплитуды отклонения от заданного уровня тренировки, что можно расценивать как повышение точности воспроизведения дозированного мышечного напряжения. Кроме того, наблюдалось снижение амплитуды мышечной активности в фазу расслабления и достоверное увеличение максимально возможного сокращения группы мышц thenar в фазу произвольного максимального мышечного сокращения у здоровых и больных лиц.



рис.5: Функциональное биоуправление по статокинезиграмме (баланс-тренинг)



рис. 6: Альфа-стимулирующий тренинг

Одним из интересных направлений применения технологий, основанных на использовании обратной связи по различным физиологическим параметрам, является активно разрабатываемый в Институте неврологии РАМН метод биоуправления, в котором в качестве сигнала обратной связи используются параметры проекции центра давлений (ЦД) на плоскость опоры (рис. 5). Данный метод позволяет обучать больного произвольно контролировать перемещение ЦД без потери равновесия в ходе специальных компьютерных стабилографических игр. Метод осуществляется на компьютерно-стабилографическом комплексе «Стабилан», разработанным ОКБ «РИТМ» (г. Таганрог) со специальным пакетом прикладных программ. По условию игры больной посредством произвольных перемещений корпуса относительно стоп совмещает ЦД, представленный на экране в виде курсора, с мишенью и далее перемещает ее в определенном направлении в зависимости от игрового задания.

Проведенные исследования показали, что тренировка методом биоуправления, организованного по статокинезиграмме, отражающей перемещение ЦД на плоскости опоры, способствует уменьшению асимметрии и повышению устойчивости вертикальной позы – как статической, так и динамической, при этом наблюдается уменьшение степени пареза в ноге, восстановление глубокой чувствительности, повышение функциональных возможностей больного в целом [8]. Кроме того, было выявлено, что включение данного метода в комплексную реабилитацию больных с постинсультными гемипарезами способствует достоверному улучшению параметров ходьбы, и прежде всего уменьшению асимметрии шага [4]. Дальнейшие исследования показали, что наличие корковых механизмов контроля позы и обучения произвольному управлению ЦД не подлежит сомнению. В последнем принимают участие различные корковые зоны. Моторная, премоторная и париетальная области участвуют как в когнитивной, так и в координационной фазе формирования нового позного навыка. Максимальный дефицит обучения возникает при комбинированных поражениях моторной и теменной или моторной, премоторной и теменной областей. Дефицит сенсорной интеграции и схемы тела в пространстве при поражении теменной области является одним из основных ограничивающих факторов и не может быть преодолен в процессе обучения [7]. Кроме того, было показано, что обучение общей стратегии управления ЦД в большей степени нарушено у больных болезнью Паркинсона и спиноцеребеллярными атаксиями, чем у больных с постинсультными гемипарезами. В то же время обучение тонкой позной координации наиболее успешно у больных с болезнью Паркинсона по сравнению с больными с постинсультными гемипарезами и спиноцеребеллярными атаксиями. Предполагается, что механизмы участия nigro-стриарной, кортико-спинальной систем и мозжечка в обучении произвольному контролю позы частично являются общими, а частично различаются [31].

В настоящее время в институте начаты исследования по изучению возможности применения биоуправления, организованного по альфа-ритму, в комплексной терапии больных с ЦПИБС (рис. 6). Известно, что ЦПИБС сопровождается нарушением высших психических функций, развитием выраженных аффективных расстройств и изменениями личности астенического и депрессивно-ипохондрического типа, что замедляет функциональное восстановление пациента. В основу работ по использованию в качестве регулируемого параметра биоуправления показателей биоэлектрической активности мозга легли наблюдения за изменениями альфа-ритма у здоровых людей в зависимости от их функционального состояния. Было показано, что между различными психическими показателями (такими, как память, внимание, тревожность) и данными электроэнцефалограммы (ЭЭГ) существует определенная зависимость [25, 44]. Эти работы послужили толчком к широкому клиническому применению биоуправления по параметрам ЭЭГ (нейробиоуправление) при различных органических и функциональных заболеваниях ЦНС – эпилепсии, нарушениях сна, синдроме нарушения внимания, депрессии, травмах головного мозга, инсульте, синдроме хронической усталости, различных болевых синдромах. Проведенные исследования продемонстрировали, что альфа-стимулирующий тренинг показан больным с ЦПИБС, для которых характерны интактность перцептивно-гностической деятельности, доминирование собствен-

но депрессивного аффекта в структуре аффективных расстройств и при этом имеет место сохранность способности к обучению, наличие терапевтической мотивации. Отметим, что альфа-стимулирующий тренинг оказывает более значительное влияние на аффективную составляющую боли [2, 5].

### **Виртуальная реальность**

Одной из наиболее интересных и перспективных в современной нейрореабилитации является технология, основанная на виртуальной реальности (VR), технической основой которой служат компьютерное моделирование и компьютерная имитация, а также ускоренная трехмерная визуализация, позволяющие реалистично отображать на экране движение. Несомненные достоинства этой технологии – возможность достижения большей интенсивности тренировок на фоне усиления обратной сенсорной связи, создание индивидуального виртуального пространства для каждого больного в соответствии с его двигательными особенностями, а также взаимодействие с виртуальными объектами внутри этих пространств. Для реализации VR необходимы следующие аппаратные средства: монитор, мышь с пространственно управляемым курсором или джойстиком, иногда применяются виртуальные шлемы с дисплеями или со стереоскопическими очками, «цифровые перчатки», которые обеспечивают тактильную обратную связь с пользователем. В настоящее время технологии VR широко применяются для тренировки локомоции и поструральной устойчивости [37]. С этой целью создаются виртуальные комнаты, коридоры, залы. Пример одного из

виртуальных коридоров представлен на рис. 7 (наблюдение К.И. Устиновой). В настоящее время получены убедительные свидетельства кортикальной реорганизации соответствующих зон мозга (по данным фМРТ) у больных с постинсультными гемипарезами давностью более 1 года при использовании VR-технологий, направленных на тренировку ходьбы [60].

В заключение необходимо подчеркнуть, что благодаря появлению новых функциональных методов нейровизуализации, прежде всего фМРТ, открылись уникальные возможности как для изучения нейропластических процессов, происходящих в различных структурах мозга под влиянием тех или иных реабилитационных технологий, так и для усовершенствования этих методов восстановительной терапии и создания новых технологий. Огромное значение имеют исследования, в которых продемонстрированы кортикальная реорганизация в отдаленные периоды после инсульта – спустя 1 год и больше – на фоне применения целенаправленных интенсивных тренировок, приводящих к выработке новых двигательных навыков. Вместе с тем не следует забывать, что нейропластичность как постоянный физиологический фактор, действующий в постинсультном периоде, участвует также в формировании и реализации ряда патологических симптомов – спастичности, повышенной рефлекторной активности и хронического болевого синдрома, появление которых также может быть спровоцировано усиленным афферентным потоком. В связи с этим важнейшей задачей современной нейрореабилитации как науки является изучение возможности адекватного управления нейропластическими процессами с помощью различных средств восстановительной медицины.



А



Б

рис. 7: Технология виртуальной реальности: А – виртуальный коридор, Б – пациент в стереоскопических очках

## Список литературы

1. Гусарова М.В., Черникова Л.А., Ланская Л.Д., Иоффе М.Е. Применение метода биоуправления с обратной связью по электромиограмме при тренировке точностного схвата у больных с постинсультными гемипарезами. В кн.: Медицинская реабилитация пациентов с заболеваниями и повреждениями опорно-двигательной и нервной систем. М., 2004: 367–369.
2. Ланская Л.Д., Сашина М.Б., Гусарова М.В., Черникова Л.А. Эффекты альфа-стимулирующего биоуправления у больных с центральной постинсультной болью. В кн.: Медицинская реабилитация пациентов с заболеваниями и повреждениями опорно-двигательной и нервной систем. М., 2004: 383–385.
3. Лебедев В.П. Транскраниальная электростимуляция: новый подход (экспериментально-клиническое обоснование и аппаратура). В кн.: Лебедев В.П. (ред.). Транскраниальная электростимуляция. Экспериментально-клинические исследования. Сборник статей. С.Пб., 2001: 22–38.
4. Майорникова С.А., Козырева О.В., Черникова Л.А. Особенности комплексной методики восстановления функции ходьбы у больных с постинсультными гемипарезами. Леч. физкульт. и массаж 2006; 8: 3–6.
5. Сашина М.Б., Черникова Л.А., Кадыков А.С. Постинсультные болевые синдромы. Атмосфера. Нервные болезни 2004; 3: 25–27.
6. Умарова Р.М., Черникова Л.А., Танашиян М.М., Кротенкова М.В. Нервно-мышечная электростимуляция в острейший период ишемического инсульта. Вопр. курортологии, физиотер. и леч. физкультуры 2005; 4: 6–8.
7. Устинова К.И., Черникова Л.А., Иоффе М.Е., Слива С.С. Нарушения обучения произвольному контролю позы при корковых поражениях различной локализации: к вопросу о корковых механизмах регуляции позы. Журн. высшей нервной деятельности 2000; 3: 421–433.
8. Черникова Л.А., Устинова К.И., Иоффе М.Е. и др. Биоуправление по стабильности в клинике нервных болезней. Бюллетень СО РАМН 2004; июль-сентябрь: 85–91.
9. Черникова Л.А., Шарыпова Т.Н., Разинкина Т.П., Торопова Н.Г. Влияние нервно-мышечной электростимуляции на мышечный кровоток у больных с постинсультными гемипарезами. Физиотерапия, бальнеология и реабилитация 2003; 3: 23–26.
10. Шестакова М. В., Ланская Л. Д., Билименко А. Е. и др. Обучение произвольному контролю ЭМГ со зрительной обратной связью в норме и у больных с постинсультными гемипарезами: роль зрительной и проприоцептивной афферентации. В сб.: Мат–лы международного симпозиума «Механизмы адаптивного поведения», посвященного 80-летию организации Института физиологии им. И.П. Павлова РАН. М., 2005: 6.
11. Asanuma H, Mackel R. Direct and indirect sensory input pathways to the motor cortex; its structure and function in relation to learning of motor skills. Jpn. J. Physiol. 1989; 39: 1–19.
12. Barbeau H., Visintin M. Optimal outcomes obtained with body-weight support combined with treadmill training in stroke subjects. Arch. Phys. Med. Rehabil. 2003; 84: 1458–1465.
13. Beer R.F., Dewald J.P., Dawson M.L., Rymer W.Z. Target-dependent differences between free and constrained arm movements in chronic hemiparesis. Exp. Brain Res. 2004; 156: 458–470.
14. Bennett E.L., Diamond M.C., Krech D., Rosenzweig M.R. Chemical and anatomical plasticity of brain. Science 1964; 146: 610–619.
15. Bracwell R.M. Stroke: neuroplasticity and recent approaches to rehabilitation. J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry 2003; 74: 1465–1470.
16. Carr J.H., Shepherd R.B. Motor relearning programme for stroke. Rockville: Aspen Publications, 1983.
17. Chernikova L., Avdjunina I., Savizkaya N. et al. Effectiveness of interpharyngeal electrostimulation in patients with poststroke dysphagia. Neurologie & Rehabilitation. 2004; 4: 46.
18. Chouinard P.A., Leonard G., Paus T. Changes in effective connectivity of the primary motor cortex in stroke patients after rehabilitative therapy. Exp. Neurol. 2006; 201: 375–387.
19. Colombo G., Hostettler P. Der Lokomat—eine angetriebene Geh-Orthese. Med. Orth. Tech. 2000; 120: 178–181.
20. Dancause N., Barbay S., Frost S.B. et al. Extensive cortical rewiring after brain injury. J. Neurosci. 2005; 25: 10167–10179.
21. Deiber M.P., Ibanez V., Honda M. et al. Cerebral processes related to visuomotor imagery and generation of simple finger movements studied with positron emission tomography. Neuroimage 1998; 7: 73–85.
22. Elbert T., Pantev C., Wienbruch C. et al. Increased cortical representation of the fingers of the left hand in string players. Science 1995; 270: 305–307.
23. Fujito Y., Watanabe S., Kobayashi H., Tsukahara N. Promotion of sprouting and synaptogenesis of cerebrofugal fibers by ganglioside application in the red nucleus. Neurosci. Res. 1985; 2: 407–411.
24. Goerres G.W., Samuel M., Jenkins I.H., Brooks, D.J. Cerebral control of unimanual and bimanual movements: a PET study. Neuroreport 1998; 9: 3631–3638.
25. Hardt J.V., Kamiya J. Anxiety change through electroencephalographic alpha feedback seen only in high anxiety subjects. Science 1978; 201: 79–81.
26. Hebb D.O. The effects of early experience on problem solving at maturity. Am. Psychol. 1947; 2: 737–745
27. Hesse S., Konrad M., Uhlenbrock D. Treadmill walking with partial body weight support versus floor walking in hemiparetic subjects. Arch. Phys. Med. Rehabil. 1999; 80: 421–427.
28. Hogan N., Krebs H.I., Rohrer B. et al. Motions or muscles? Some behavioral factors underlying robotic assistance of motor recovery. J. Rehabil. Res. Dev. 2006; 43: 605–618.
29. Holloway R.L. Dendritic branching: some preliminary results of training and complexity in rat visual cortex. Brain Res. 1966; 2: 393–396.
30. Honda M., Deiber M.P., Ibanez V. et al. Dynamic cortical involvement in implicit and explicit motor sequence learning. A PET study. Brain 1998; 121: 2159–2173.
31. 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. 2006; 168: 384–394.
32. Jenkins W.M., Merzenich M.M. Reorganization of neocortical representations after brain injury: a neurophysiological model of the bases of recovery from stroke. Progr. Brain Res. 1987; 71: 249–266.
33. Keller A., Arissian K., Asanuma H. Formation of new synapses in the cat motor cortex following lesions of the deep cerebellar nuclei. Exp. Brain Res. 1990; 80: 23–33.
34. Kopp B., Kunkel A., Muhlneckel W. et al. Plasticity in the motor system related to therapy-induced improvement of movement after stroke. Neuroreport 1999; 10: 807–810.
35. Liepert J. Motor cortex excitability in stroke before and after constraint-induced movement therapy. Cogn. Behav. Neurol. 2006; 19: 41–47.
36. Mauritz K.H. Gait training in hemiparetic stroke patients. Eur. J. Med. Phys. 2004; 40: 165–178.
37. Merians A.S., Jack D., Boian R. et al. Virtual reality-augmented rehabilitation for patients following stroke. Phys. Ther. 2002; 82: 898–915.
38. Merzenich M.M., Kaas J.H., Wall J.T. et al. Topographic reorganization of somatosensory cortical areas 3b and 1 in adult monkeys following restricted deafferentation. Neuroscience 1983; 8: 33–55.
39. Merzenich M.M., Nelson R.J., Stryker M.P. et al. Somatosensory cortical map changes following digit amputation in adult monkeys. J. Comp. Neurol. 1984; 224: 591–605.
40. Mier H., Tempel L.W., Perlmutter J.S. et al. Changes in brain activity during motor learning measured with PET: effects of hand of performance and practice. J. Neurophysiol. 1998; 80: 2177–2199.
41. Miyai I., Suzuki T., Kang J. et al. Middle cerebral artery stroke that

includes the premotor cortex reduces mobility outcome. *Stroke* 1999; 30: 1380–1383.

42. *Miyai I., Yagura H., Oda I. et al.* Premotor cortex is involved in restoration of gait in stroke. *Ann. Neurol.* 2002; 52: 188–194.

43. *Mori A., Waters R.S., Asanuma H.* Physiological properties and patterns of projection in the cortico-cortical connections from the second somatosensory cortex to the motor cortex, area 4 gamma, in the cat. *Brain Res.* 1989; 504: 206–210.

44. *Mulholland T.* Human EEG, behavioral stillness and biofeedback. *Int. J. Psychophysiol.* 1995; 19(3): 263–279.

45. *Nudo R.J., Milliken G.W.* Reorganization of movement representations in primary motor cortex following focal ischemic infarcts in adult squirrel monkeys. *J. Neurophysiol.* 1996; 75: 2144–2149.

46. *Pascual-Leone A., Torres F.* Plasticity of the sensorimotor cortex representation of the reading finger in Braille readers. *Brain* 1993; 116: 39–52.

47. *Pascual-Leone A., Grafman J., Hallett M.* Modulation of cortical motor output maps during development of implicit and explicit knowledge. *Science* 1994; 263: 1287–1289.

48. *Peurala S.H., Pitkanen K., Sivenius J., Tarkka I.M.* How much exercise does the enhanced gait-oriented physiotherapy provide for chronic stroke patients? *J. Neurol.* 2004; 251: 449–453.

49. *Platz T.* Impairment-oriented training (IOT)—scientific concept and evidence-based treatment strategies. *Restor. Neurol. Neurosci.* 2004; 22: 301–315.

50. *Ro T., Noser E., Boake C. et al.* Functional reorganization and recovery after constraint-induced movement therapy in subacute stroke: case reports. *Neurocase* 2006; 12: 50–60.

51. *Rosenzweig M.R.* Environmental complexity, cerebral change, and behavior. *Am. Psychol.* 1966; 21: 321–332.

52. *Seitz R.J., Azari N.P.* Cerebral reorganization in man after acquired lesions. *Adv. Neurol.* 1999; 81: 37–47.

53. *Seitz R.J., Canavan A.G., Yaguez L. et al.* Successive roles of the cerebellum and premotor cortices in trajectory learning. *Neuroreport* 1994; 5: 2541–2544.

54. *Selivanov V., Chernikova L.A., Avdyunina I. et al.* Intraparyngeal electrostimulation in patients with post-stroke dysphagia. *Neurology* 2005; 64 (Suppl. 1): A110.

55. *Shestakova M., Lanskaya L., Chernikova L., Ioffe M.* Voluntary control of EMG with or without visual feedback in healthy subjects and patients with poststroke hemiparesis. *Gait & Posture* 2005; 21 (Suppl. 1): S111.

56. *Shumway-Cook A., Woollacott M.H.* Motor control. Theory and practical applications. Williams & Wilkins, 1995.

57. *Taub E., Miller N.E., Novack T.A. et al.* Technique to improve chronic motor deficit after stroke. *Arch. Phys. Med. Rehab.* 1993; 74: 347–354.

58. *Umarova R.U., Tanashayn M.M., Chernikova L.A., Krotenkova M.V.* The intensity of the afferent input is the main factor for the benefit of the rehabilitation in acute stroke patients. *Neurorehabilitation & Neural Repair* 2006; 20: 97.

59. *Volpe B.T., Ferraro M., Lynch D. et al.* Robotics and other devices in the treatment of patients recovering from stroke. *Curr. Neurol. Neurosci. Rep.* 2005; 5: 465–470.

60. *Woolf C.J., Salter M.W.* Neuronal plasticity: Increasing the gain in pain. *Science* 2000; 288: 1765–1768.

61. *You S.H., Jang S.H., Kim Y.H. et al.* Virtual reality-induced cortical reorganization and associated locomotor recovery in chronic stroke. *Stroke* 2005; 36: 1166–1178.

## Brain plasticity and modern rehabilitation technologies

L.A. Chernikova

*Institute of Neurology, Russian Academy of Medical Sciences, Moscow*

**Key words:** neuroplasticity, afferent inputs, novel neurorehabilitation technologies.

Discussed are basic achievements in the studies of neuronal plasticity with the use of modern neuroimaging methods and, first of all, functional MRI. The role of various afferent inputs in these processes is emphasized. Novel neurorehabilitation technologies such as constraint-induced therapy (CI therapy), "LOCOMAT" system, the robotic therapy etc., are considered as the source of intensive goal-directed afferentation. Data concerning the possibility of the use of neuromuscular electrostimulation at the first hours after ischemic stroke are presented. The unique methods of intrapharyngeal electrostimulation in the treatment of dysphagia of different etiologies are discussed. Efficiency of transcranial electrostimulation in central post-

stroke pain syndrome is described. Data on possibilities of the EMG feedback in training of the precision grip, one of the basic motor hand skills, are presented. The details of learning of different postural tasks using postural sway feedback in patients with poststroke hemiparesis, Parkinson's disease and spinocerebellar ataxias are discussed. Data on efficiency of alpha-stimulating training in patients with central poststroke pain syndrome and with clinical prevalence of affective disturbances are presented. Finally, prospects of one of the most interesting novel rehabilitation technologies, the technology based on virtual reality, are discussed.