

Зрительная обратная связь – зеркальная терапия в нейрореабилитации

М.А. Назарова, М.А. Пирадов, Л.А. Черникова

ФГБУ «Научный центр неврологии» РАМН (Москва)

Зеркало – важный элемент двигательного обучения и двигательной реабилитации, создающий биологическую визуальную обратную связь во время занятий. Однако зеркальная обратная связь может быть использована и как самостоятельный метод лечения. Зеркальная терапия (ЗТ) – метод, основанный на создании искусственной визуальной обратной связи. ЗТ используется для лечения болевых синдромов, таких как фантомные боли и комплексный региональный болевой синдром 1 и 2 типов, а также двигательной реабилитации больных с гемипарезом после инсульта и после хирургических вмешательств на верхней конечности. Считается, что основным принципом действия ЗТ является восстановление нарушенной обратной афферентации от пораженной/утраченной конечности. В качестве механизмов действия ЗТ в литературе наиболее часто обсуждается роль «зеркальных нейронов», объединяющих в мозге процессы выполнения и восприятия действия. Очевидные плюсы метода ЗТ заключаются в простоте использования, доступности и, что особенно важно, в ориентированности на конкретного пациента.

Ключевые слова: зеркальная терапия, нейрореабилитация, постинсультный гемипарез, визуальная обратная связь

Многие десятилетия неврологи достаточно сдержанно относились к возможности компенсации тяжелых повреждений мозга. Первые публикации, свидетельствующие о высокой пластичности мозга человека, начали появляться в конце 1960-х гг. [3]. За последние 20 лет способность мозга к реорганизации на протяжении всей жизни, как в норме, так и при патологии, была продемонстрирована уже во многих экспериментальных, нейрофизиологических и нейровизуализационных работах [31]. Однако, несмотря на растущий с каждым годом объем информации о резервных возможностях центральной нервной системы, степень восстановления многих больных после повреждения мозга все еще остается незначительной.

Одной из наиболее актуальных проблем нейрореабилитации являются двигательные нарушения. Так, по данным Американской кардиологической ассоциации [32], гемипарез встречается примерно у 85% больных, переживших инсульт, при этом 55–75% пациентов продолжают испытывать двигательный дефицит в руке через год после нарушения мозгового кровообращения (НМК) [44]. В настоящее время постоянно появляются новые методики, способствующие восстановлению утраченных двигательных функций. Однако многие из них являются дорогостоящими и требуют постоянного участия физиотерапевта (инструктора) на протяжении многих недель, и поэтому малодоступны для использования пациентами в домашних условиях. Важно также отметить, что большая часть этих методов применима и эффективна для пациентов с двигательными нарушениями легкой и средней тяжести, в то время как при тяжелых парезах степень восстановления часто остается крайне неудовлетворительной.

В середине 1990-х гг. В. Рамачандраном был предложен метод зеркальной обратной связи для лечения фантомных болей [26]. Его же исследовательской группой через несколько лет было описано использование метода зер-

кальной обратной связи для восстановления движений у больных с гемипарезом после инсульта [1]. Важность зрительной обратной связи в двигательном обучении широко известна, использование же зеркальной обратной связи в качестве самостоятельного средства восстановления движений заслуживает отдельного рассмотрения. Зеркальная терапия уже почти 20 лет успешно применяется и как метод лечения болевых синдромов, и как метод двигательной реабилитации пациентов с гемипарезом после инсульта. К настоящему моменту в странах Европы, США и Японии проведено несколько рандомизированных контролируемых клинических исследований, доказывающих эффективность ЗТ при различных состояниях [18, 27, 44]. Сейчас проводятся исследования с использованием нейрофизиологических и нейровизуализационных методик (функциональная магнитно-резонансная томография – фМРТ, позитронно-эмиссионная томография – ПЭТ, транскраниальная магнитная стимуляция – ТМС, магнитоэнцефалография – МЭГ, электроэнцефалография – ЭЭГ) для выяснения механизмов действия зеркальной терапии [21, 41, 42, <http://www.clinicaltrials.gov>]. В качестве одного из основных механизмов действия ЗТ в литературе чаще всего рассматривается роль «зеркальных нейронов», объединяющих в мозге процессы выполнения и восприятия действия.

История открытия ЗТ

Феномен фантомных конечностей и болей, связанных с ними, давно привлекал внимание людей: широко известен пример лорда Нельсона, длительное время ощущавшего руку после ее потери в бою и считавшего наличие у себя этого ощущения доказательством существования души. Известно, что 50–80% пациентов, перенесших ампутацию конечности, страдают мучительными болями в области ее фантома [24]. В настоящее время для лечения фантомной боли применяются различные методы, включая хирургические, но ни один из них не является эффективным для всех пациентов. Идея возможного применения зеркальной

обратной связи для лечения фантомной боли появилась в результате эксперимента, который был проведен в 1992 г. Во время исследования профессором В. Рамачандраном тактильной чувствительности у юноши, страдавшего фантомными болями в области ампутированной руки, при прикосновении к щеке больной отметил одновременное ощущение прикосновения к большому пальцу своего фантома. Детальное изучение чувствительности показало наличие подробной тактильной карты отсутствующей кисти на щеке с ипсилатеральной стороны. Наличие перестройки чувствительной карты у вышеописанного пациента было подтверждено с помощью МЭГ: была картирована контралатеральная по отношению к потерянной конечности зона S1 и обнаружено, что зона лица значительно перекрывает зону руки по сравнению с противоположным полушарием [28, 43]. Эти данные стали одними из первых свидетельств возможности масштабных перестроек топографии мозга взрослого человека. Позднее во многих работах были показаны перестройки сенсорных представительства в коре и таламусе на фоне изменения сенсорного входа. Это послужило основанием для следующего предположения: при внезапной потере конечности или резко наступившей неподвижности, как при инсульте, возникает несоответствие эфферентной команды мозга и ответной сенсорной информации о ее выполнении. В таком случае возможно, «обманывая» мозг на уровне сенсорного входа, воздействовать на его реорганизацию.

Эффективность ЗТ была впервые четко показана у пациента, страдавшего постоянными фантомными болями в течение 11 лет. Впервые за эти годы облегчение боли он почувствовал, «увидев» свой фантом в зеркале. Во время занятий ЗТ пациент не только видел свою фантомную руку двигающейся, но и ощущал ее движение. В дальнейшем в течение нескольких недель произошло постепенное исчезновение фантома: сначала на время занятия ЗТ, а затем и полностью [29].

Через несколько лет после введения ЗТ в качестве метода лечения фантомных болей было выдвинуто предположение, что он может также использоваться и для восстановления движений у больных после инсульта. Основанием для этого послужило следующее: известно, что пациенты, у которых до ампутации конечность длительное время была обездвижена, часто жалуются на ощущение того, что их фантом парализован. Возможно, эта связь закрепляется в мозге в виде «функционального паралича» (“learned paralysis”) [27], который, вероятно, может присутствовать как при фантомном параличе, так и быть элементом пареза после инсульта. В 1999 г. было проведено пилотное плацебо-контролируемое исследование эффективности ЗТ при гемипарезе руки у 9 пациентов в хроническом периоде инсульта и продемонстрирована ее эффективность у 6 из них [2]. В дальнейшем было выполнено несколько контролируемых исследований эффективности ЗТ при гемипарезе после инсульта на больших группах пациентов с подострым и хроническим инсультом.

Технология ЗТ

Для проведения ЗТ необходим только один инструмент – зеркало. Во время занятий ЗТ перед пациентом ставится зеркало отражающей поверхностью в сторону здоровой руки или ноги, ориентированное таким образом, что пациент видит только свою здоровую конечность и ее отражение в зеркале. Пациент смотрит в зеркало, за которым находится его пораженная конечность, видит в нем здоро-



рис. 1: Принципиальная схема проведения зрительной терапии.

ую и старается выполнять синхронные движения обеими руками (ногами) (рис. 1). Таким образом, возникает зрительная иллюзия того, что больная конечность работает так же хорошо, как здоровая. В случае фантомных конечностей пациента просят представлять движение отсутствующей конечности. Для проведения ЗТ у больных после инсульта единого протокола до настоящего времени не существует: в большинстве исследований при проведении ЗТ пациентов просили двигать больной рукой или ногой настолько хорошо, насколько возможно, и представлять ее движение в полном объеме; в некоторых случаях инструктор помогал движению больной конечности. Длительность проведения ЗТ также варьируется. По некоторым данным, наиболее успешным вариантом является длительное (несколько месяцев) проведение ЗТ по 10–15 мин несколько раз в день; каждая процедура проводится не дольше, чем пациенту удастся испытывать ощущение (иллюзию) движения больной конечностью как здоровой [7]. Однако в большинстве исследований эффективности этого метода ЗТ проводилась в следующем режиме: 30-минутный сеанс один раз в день 5 дней в неделю. Общим правилом для проведения процедуры ЗТ является отсутствие каких-либо дополнительных визуальных раздражителей (в т.ч. на отражающей в зеркале руке не должно быть часов и колец). Зеркало должно быть достаточно большим, чтобы в нем полностью отражалась здоровая конечность, в то время как пораженная конечность должна быть полностью скрыта.

Области применения ЗТ ЗТ для восстановления движений после инсульта

К настоящему времени эффективность ЗТ показана при таких состояниях, как фантомные боли, комплексный региональный болевой синдром, а также для восстановления движения при гемипарезе после инсульта или при кинезофобии после переломов руки. Для фантомных болей ЗТ является одним из наиболее эффективных способов лечения. Изучается эффективность ЗТ при таких состояниях, как фокальная дистония и таламические боли после инсульта, односторонние тригеминальные боли [27]. Основными условиями использования ЗТ являются: наличие нарушений только с одной стороны и способность больного удерживать внимание на отражении в зеркале.

Изучение эффективности ЗТ при инсульте ведется уже около 15 лет. В 1999 г. было проведено первое плацебо-контролируемое пилотное исследование, продемонстрировавшее эффективность использования ЗТ у больных после инсульта. В контрольной группе пациентов применялась ширма из прозрачного плексигласа, через который пациен-

ты видели движение больной руки [1]. В дальнейшем улучшение двигательных функций на фоне ЗТ у больных после инсульта было описано в нескольких сериях случаев [33, 38, 39]. Улучшение двигательных функций у больных с гемипарезом после инсульта было показано в двух рандомизированных контролируемых исследованиях [40, 44]. Исследование 40 пациентов с парезом в ноге со сроком до 12 месяцев после инсульта [40] показало статистически значимое улучшение по шкале Brunnstom и по моторному индексу FIM по сравнению с контрольной группой. Статистически значимой разницы по модифицированной шкале спастичности Ashworth в том же исследовании получено не было. В другом исследовании 40 пациентов с инсультом давностью менее года и парезом в руке [44] получали ЗТ или плацебо-терапию в виде бимануального тренинга с разделением рук неотражающей поверхностью. Все пациенты получали в то же время стандартную физиотерапию. У пациентов из группы ЗТ было показано статистически значимое улучшение по шкалам Brunnstom и FIM по сравнению с контрольной группой. В третьем рандомизированном контролируемом исследовании у 15 пациентов в подостром периоде инсульта также было показано значимое улучшение двигательной функции руки по шкале Fugl-Meyer в группе ЗТ [18]. В некоторых работах на фоне ЗТ у пациентов с наличием постинсультного локального комплексного болевого синдрома 1-го типа, помимо двигательного улучшения, было также отмечено уменьшение болевого синдрома [23]. Совсем недавно опубликовано исследование, в котором была продемонстрирована эффективность ЗТ у детей с гемиплегией [12].

Механизмы действия ЗТ

Принципы действия ЗТ не ясны до конца. Существует ряд возможных механизмов действия технологии ЗТ для лечения болевых синдромов и восстановления движения после инсульта. Ниже будут рассмотрены механизмы восстановления движений и посвященные им исследования.

Предполагается, что с помощью ЗТ связи создаются «условия несоответствия» между сигналами проприоцептивной и зрительной сенсорных систем. О важности конфликта между информацией от разных анализаторов известно из работ гештальтпсихологов: особенность человеческого восприятия состоит в том, что зрительная информация важнее, нежели проприоцепция и тактильная чувствительность [11, 30]. Таким образом, используя наиболее значимую для мозга визуальную связь, удастся соединить посылаемый эфферентный стимул с положительным зрительным подкреплением («конечность двигается», «конечность двигается без боли», «прикосновение к конечности не вызывает боли»).

Исследованию конфликта между зрительным и проприоцептивным анализаторами при ЗТ была посвящена работа группы немецких исследователей [7]. В этой работе добровольцы наблюдали за отражением в зеркале одной из рук и выполняли либо синхронные движения обеими руками, либо противофазные движения. Таким образом, создавался конфликт между информацией, поступающей от зрительного и проприоцептивного входов. Методом ПЭТ было продемонстрировано, что префронтальная и первичная моторная кора активировались с обеих сторон при выполнении синхронных движений. Основным результатом при выполнении противофазных движений была большая активация в правой дорсолатеральной префрон-

тальной коре, что, возможно, свидетельствует о важности межполушарной асимметрии для ЗТ.

Первый вероятный механизм действия ЗТ в восстановлении движений после инсульта — это растормаживание структурно сохраненных, но функционально неактивных нейрональных сетей в моторных областях пораженного полушария. Хорошо известно, что в первые дни и недели после острого НМК объем поражения кортикофугальных волокон за счет отека белого вещества больше, чем истинный размер очага, что может приводить к развитию «функциональной компоненты» паралича даже после исчезновения отека. Многие исследования, посвященные изучению механизмов действия зеркальной обратной связи, базируются на гипотезе, что зеркальная иллюзия должна повышать возбудимость или активацию первичной моторной коры, ипсилатеральной по отношению к движущейся руке. Активность и возбудимость моторных зон, ипсилатеральных для движущейся руки, были изучены с помощью методов ТМС [10], МЭГ [41], ЭЭГ [42] и фМРТ [19]. Во всех этих работах проводилось сравнение двух состояний — с наличием зеркальной обратной связи и без нее. В МЭГ и ЭЭГ исследованиях было показано, что зеркальная иллюзия приводит к увеличению активации первичной моторной коры [41, 42]. В то же время в нескольких работах с использованием метода ТМС влияния зеркальной иллюзии на возбудимость моторной коры показано не было [9, 10]. Таким образом, имеющиеся на настоящий момент данные о механизмах действия ЗТ противоречивы. Важным ограничением вышеуказанных работ также является то, что большинство из них выполнено на здоровых добровольцах.

Второй механизм, вероятно, обуславливающий эффективность ЗТ для восстановления движений после инсульта — стимуляция моторного воображения с помощью визуальной обратной связи. В литературе принято разделять моторное воображение на две компоненты: визуальную и кинестетическую. При ЗТ к воображению добавляется визуальная положительная обратная связь. К настоящему времени эффективность моторного воображения (мысленного выполнения движений) для формирования двигательных навыков уже показана во многих исследованиях как у здоровых людей [20], так и при патологии. Появляется все больше работ, в которых оценивается эффективность моторного воображения у больных с двигательными нарушениями [25]. Экспериментально показано, что у здоровых людей при воображении движения активируются те же области мозга, что и при выполнении движения, но с несколько меньшей степенью вовлеченности области М1 и с некоторой разницей в топографии [17, 34, 36]. У пациентов с хорошим восстановлением после подкоркового инсульта при моторном воображении отмечена активация первичной моторной коры со стороны поражения [35]. При этом показано, что у больных с поражением первичной моторной области способность к воображению движения сохраняется [14, 15]. Использование моторного воображения в нейрореабилитации актуально в связи с тем, что оно может применяться у больных с плегией. ЗТ является способом обучения моторному воображению больных и может быть использована самостоятельно, а может применяться в комплексе с другими технологиями, основанными на воображении движения, например, такими как реабилитационный интерфейс мозг—компьютер. Важность воображения для реализации эффекта ЗТ была продемонстрирована в одной из японских работ с использованием метода ТМС, где на 6 добро-

вольцах было показано увеличение возбудимости ипсилатеральной коры только при сочетании зеркальной обратной связи с воображением движения [8].

Третьим возможным механизмом ЗТ является активация так называемых «зеркальных нейронов», задействованных как при выполнении действия, так и при наблюдении за данным действием. Эти нейроны были впервые обнаружены у макаков в вентральной премоторной коре (область F5) в начале 1990-х гг. [5]. В дальнейшем было показано, что зеркальные нейроны организованы в мозге в две основные группы: первая включает премоторную кору и париетальную область, вторая – островок и переднюю цингулярную кору [4]. Зеркальные нейроны участвуют во взаимодействии различных модальностей: зрения, проприоцепции, слуха и моторных команд, что дает возможность предполагать их вероятную роль в механизме действия ЗТ у больных после инсульта. Возможно, при инсульте в пораженном полушарии может сохраняться часть функционально неактивных зеркальных нейронов. Тогда можно предположить, что визуальная обратная связь при ЗТ стимулирует эти нейроны, давая возможность наблюдать «активное» движение пораженной конечности. Гипотеза о роли зеркальных нейронов в восстановлении движений получила подтверждения в работе группы Buccino (2007) [6]. В этой работе пациентам с гемипарезом после инсульта демонстрировали видео движений, выполняемых здоровыми добровольцами, а далее просили их выполнить те же движения паретичной конечностью. Данная технология показала свое преимущество по сравнению с выполнением тех же физических упражнений, но с демонстрацией геометрических символов вместо видеозаписи движений. Принципиальным для активации зеркальных нейронов, в т.ч. с помощью ЗТ, по-видимому, является выполнение движений с определенной целью. В исследовании на обезьянах показано, что в премоторной коре при выполнении движений с участием одних и тех же мышц, но разных по характеру действий (схватывание, почесывание) работают различные нейроны. Большая часть париетальной и премоторной коры кодирует именно определенные двигательные акты, даже в первичной моторной коре около 40% нейронов отвечают не за сокращение отдельных мышц, а за выполнение различных движений [16, 37].

Изучению роли зеркальных нейронов в ЗТ посвящены фМРТ работы группы из Нидерландов. В 2009 г. на 18 добровольцах при использовании фМРТ с зеркальной обратной связью не было выявлено никакой дополнительной активации в сенсомоторных зонах, но была обнаружена активация верхней височной извилины [19], которая, как полагают, включена в «зеркальную» систему мозга [13]. Недавно этими же исследователями была опубликована работа, в которой механизм ЗТ изучался на группе пациентов с гемипарезом в хронической стадии инсульта: было проведено фМРТ-исследование бимануальных и односторонних движений руками в условиях наличия или отсутствия зеркальной обратной связи [21]. Было показано, что при бимануальных движениях в условиях зеркальной обратной связи у пациентов повышается активация в области предклинья и задней цингулярной коры – регионах, ассоциированных с пространственным вниманием и самовосприятием. При этом дополнительной активации в моторных зонах и зонах, где предположительно находятся зеркальные нейроны у человека, обнаружено не было. В последней работе, опубликованной этой группой, была впервые показана корковая реорганизация, связанная с ЗТ у больных в хронической стадии инсульта. Было выявлено изменение баланса активации в

сторону первичной моторной коры пораженного полушария в группе ЗТ (взвешенная разница индексов латерализации между группами $0,40 \pm 0,39$, $p < 0,05$) [22], при этом на данном этапе исследования активации «зеркальных» областей мозга при ЗТ выявлено не было.

Еще одним часто обсуждаемым механизмом восстановления движения, который может быть активирован с помощью ЗТ, является включение ипсилатерального кортикоспинального тракта. Роль ипсилатерального тракта, как в норме, так и в процессе восстановления, малопонятна. До сих пор даже неясно, является ли этот путь возбуждающим или тормозным, и почему сохраненный ипсилатеральный тракт обычно не берет на себя функцию поврежденного контралатерального. Предполагается, что обратная визуальная связь работает частично за счет вовлечения до этого неактивного ипсилатерального пути [27]. Интересным представляется исследование степени вовлеченности ипсилатерального тракта у больных с разной степенью ответа на ЗТ.

Таким образом, исследования механизмов ЗТ ведутся в настоящее время по всему миру, однако многое остается неясным. Стоит отметить, что большая часть работ, посвященных действию ЗТ, до сих пор проводилась на здоровых добровольцах. При патологии наиболее активно изучается механизм действия ЗТ при фантомных болях: так, в настоящее время проводится большое фМРТ-исследование механизмов ЗТ у больных с фантомными конечностями, финансируемое Министерством обороны США (www.clinicaltrials.gov, NCT00662415). Изучение механизмов влияния визуальной обратной связи, совмещенной с воображением движения, для восстановления двигательных функций только начинается.

Заключение

Эффективность метода ЗТ для лечения болевых синдромов и для восстановления движений после инсульта показана во многих работах. Метод ЗТ уже активно применяется в составе комплексной реабилитации после инсульта во многих странах мира. Информации о данной методике в русскоязычной медицинской печати практически нет.

Важно подчеркнуть, что одним из основных достоинств ЗТ является возможность ее использования у больных с тяжелой степенью моторного дефицита, вплоть до плегии. Вариабельность результатов исследований эффективности ЗТ указывает на то, что данная процедура, по-видимому, является в неодинаковой степени эффективной для различных групп больных в зависимости от локализации очага и давности инсульта. В связи с этим необходимы дальнейшие исследования для определения групп пациентов, которым ЗТ может быть показана в первую очередь. В то же время, ввиду простоты, доступности и безопасности данной методики, нет никаких причин, по которым она не могла бы быть введена как рутинная процедура в комплексе других методов двигательной нейрореабилитации.

Представляется интересным проведение дальнейших исследований механизмов действия ЗТ при инсульте. Тот факт, что в методе ЗТ соединяются технологии воображения движения и положительной визуальной обратной связи, делает его особенно привлекательным в изучении процесса восстановления после инсульта у больных с умеренным и грубым двигательным дефицитом.

Список литературы

1. *Altschuler E.L., Wisdom S.B., Stone L. et al.* Rehabilitation of hemiparesis after stroke with a mirror. *Lancet* 1999; 353: 2035–2036.
2. *Altschuler E.L., Ramachandran V.S.* A simple method to stand outside oneself. *Perception* 2007; 36: 632–634.
3. *Bach-y-Rita P.* Sensory plasticity. Applications to a vision substitution system. *Acta Neurol. Scand.* 1967; 43: 417–426.
4. *Cattaneo L., Rizzolatti G.* The mirror neuron system. *Arch. Neurol.* 2009; 66: 557–560.
5. *di Pellegrino G., Fadiga L., Fogassi L. et al.* Understanding motor events: a neurophysiological study. *Exp. Brain Res.* 1992; 91: 176–180.
6. *Ertelt D., Small S., Solodkin A. et al.* Action observation has a positive impact on rehabilitation of motor deficits after stroke. *Neuroimage* 2007; 36 (Suppl. 2): 164–173.
7. *Fink G.R., Marshall J.C., Halligan P.W. et al.* The neural consequences of conflict between intention and the senses. *Brain* 1999; 122: 497–512.
8. *Fukumura K., Sugawara K., Tanabe S. et al.* Influence of mirror therapy on human motor cortex. *Int. J. Neurosci.* 2007; 117: 1039–1048.
9. *Funase K., Tabira T., Higashi T. et al.* Increased corticospinal excitability during direct observation of self-movement and indirect observation with a mirror box. *Neurosci. Lett.* 2007; 419: 108–112.
10. *Garry M.I., Loftus A., Summers J.J.* Mirror, mirror on the wall: viewing a mirror reflection of unilateral hand movements facilitates ipsilateral M1 excitability. *Exp. Brain Res.* 2005; 163: 118–122.
11. *Gibson J.J.* Observations on active touch. *Psych. Rev.* 1962; 69: 477–491.
12. *Gyax M.J., Schneider P., Newman C.J.* Mirror therapy in children with hemiplegia: a pilot study. *Dev. Med. Child Neurol.* 2011; 53: 473–476.
13. *Iacoboni M., Dapretto M.* The mirror neuron system and the consequences of its dysfunction. *Nat. Rev. Neurosci.* 2006; 7: 942–951.
14. *Johnson S.H.* Imagining the impossible: intact motor representations in hemiplegics. *Neuroreport* 2000; 11: 729–732.
15. *Johnson S.H., Sprehn G., Saykin A.J.* Intact motor imagery in chronic upper limb hemiplegics: evidence for activity-independent action representations. *J. Cogn. Neurosci.* 2002; 14: 841–852.
16. *Kakei S., Hoffman D.S., Strick P.L.* Muscle and movement representations in the primary motor cortex. *Science* 1999; 285: 2136–2139.
17. *Lotze M., Halsband U.J.* Motor imagery. *Physiol. Paris.* 2006; 99: 386–395.
18. *Matsuo A., Tezuka Y., Morioka S. et al.* Mirror therapy accelerates recovery of upper limb movement after stroke: a randomized cross-over trial. In: Sixth World Stroke Conference. Vienna, 2008 (Abstract).
19. *Matthys K., Smits M., Van der Geest J.N. et al.* Mirror-induced visual illusion of hand movements: a functional magnetic resonance imaging study. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 2009; 90: 675–681.
20. *Meister I.G., Krings T., Foltys H. et al.* Playing piano in the mind—an fMRI study on music imagery and performance in pianists. *Brain Res. Cogn. Brain Res.* 2004; 19: 219–228.
21. *Michielsen M.E., Smits M., Ribbers G.M. et al.* The neuronal correlates of mirror therapy: an fMRI study on mirror induced visual illusions in patients with stroke. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry* 2011; 82: 393–398.
22. *Michielsen M.E., Selles R.W., van der Geest J.N. et al.* Motor recovery and cortical reorganization after mirror therapy in chronic stroke patients: a phase II randomized controlled trial. *Neurorehabil. Neural. Repair* 2011; 25: 223–233.
23. *Moseley G.L., Parsons T.J., Spence C.* Visual distortion of a limb modulates the pain and swelling evoked by movement. *Curr. Biol.* 2008; 18: R1047–R1048.
24. *Nikolajsen L., Ilkjaer S., Christensen J.H. et al.* Pain after amputation. *Br. J. Anaesth.* 1998; 81: 486.
25. *Page S.J., Levine P., Leonard A.* Mental practice in chronic stroke: results of a randomized, placebo-controlled trial. *Stroke* 2007; 38: 1293–1297.
26. *Ramachandran V.S., Rogers-Ramachandran D., Cobb S.* Touching the phantom limb. *Nature* 1995; 377: 489–490.
27. *Ramachandran V.S., Altschuler E.L.* The use of visual feedback, in particular mirror visual feedback, in restoring brain function. *Brain* 2009; 132: 1693–1710.
28. *Ramachandran V.S.* Behavioral and magnetoencephalographic correlates of plasticity in the adult human brain. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 1993; 90: 10413–10420.
29. *Ramachandran V.S.* Plasticity and functional recovery in neurology. *Clin. Med.* 2005; 5: 368–373.
30. *Rock I., Victor J.* Vision and touch: an experimentally created conflict between the two senses. *Science* 1964; 143: 594–596.
31. *Rossini P.M., Altamura C., Ferreri F. et al.* Neuroimaging experimental studies on brain plasticity in recovery from stroke. *Eura Medicophys.* 2007; 43: 241–254.
32. *Sacco R.L., Adams R., Albers G. et al.* Guidelines for prevention of stroke in patients with ischemic stroke or transient ischemic attack: a statement for healthcare professionals from the American Heart Association/American Stroke Association Council on Stroke: co-sponsored by the Council on Cardiovascular Radiology and Intervention: the American Academy of Neurology affirms the value of this guideline. *Stroke* 2006; 37: 577–617.
33. *Sathian K., Greenspan A.I., Wolf S.L.* Doing it with mirrors: a case study of a novel approach to neurorehabilitation. *Neurorehabil. Neural. Repair* 2000; 14: 73–76.
34. *Sharma N., Pomeroy V.M., Baron J.C.* Motor imagery: a backdoor to the motor system after stroke? *Stroke* 2006; 37: 1941–1952.
35. *Sharma N., Simmons L.H., Jones P.S. et al.* Motor imagery after subcortical stroke: a functional magnetic resonance imaging study. *Stroke* 2009; 40: 1315–1324.
36. *Simmons L., Sharma N., Baron J.C. et al.* Motor imagery to enhance recovery after subcortical stroke: who might benefit, daily dose, and potential effects. *Neurorehabil. Neural Repair* 2008; 22: 458–467.
37. *Spinks R.L., Kraskov A., Brochier T. et al.* Selectivity for grasp in local field potential and single neuron activity recorded simultaneously from M1 and F5 in the awake macaque monkey. *J. Neurosci.* 2008; 28: 10961–10971.
38. *Stevens J.A., Stoykov M.E.* Using motor imagery in the rehabilitation of hemiparesis. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 2003; 84: 1090–1092.
39. *Stevens J.A., Stoykov M.E.* Simulation of bilateral movement training through mirror reflection: a case report demonstrating an occupational therapy technique for hemiparesis. *Top Stroke Rehabil.* 2004; 11: 59–66.
40. *Subbeyaz S., Yavuzer G., Sezer N. et al.* Mirror therapy enhances lower-extremity motor recovery and motor functioning after stroke: a randomized controlled trial. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 2007; 88: 555–559.
41. *Tominaga W., Matsubayashi J., Deguchi Y. et al.* A mirror reflection of a hand modulates stimulus-induced 20-Hz activity. *Neuroimage* 2009; 46: 500–504.
42. *Touzelin-Chretien P., Dufour A.* Motor cortex activation induced by a mirror: evidence from lateralized readiness potentials. *J. Neurophysiol.* 2008; 100: 19–23.
43. *Yang T.T., Gallen C., Schwartz B. et al.* Sensory maps in the human brain. *Nature* 1994; 368: 592–593.
44. *Yavuzer G., Selles R., Sezer N. et al.* Mirror therapy improves hand function in subacute stroke: a randomized controlled trial. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 2008; 89: 393–398.

Mirror visual feedback – mirror therapy in neurorehabilitation

M.A. Nazarova, M.A. Piradov, L.A. Chernikova

Research Center of Neurology Russian Academy of Medical Science (Moscow)

Key words: mirror therapy, neurorehabilitation, stroke hemiparesis, visual feedback

Mirror is a well-established tool in the movement rehabilitation, providing real-time visual feedback to assist in the retraining. However, mirror visual feedback may be used also in therapy in its own right. The “mirror therapy” (MT) is a method based on creating artificial visual feedback. MT was proposed for treating pain syndrome, such as phantom pain and complex regional pain syndrome of type 1 and 2, as well as for motor rehabilitation

in stroke patients with hemiparesis and in patients after arm surgery. The main principle of MT is thought to be restoration of damaged feedback from ill/amputated limb. One of possible mechanisms of MT is activation of “mirror neurons”, acting both during execution and observation of action. Clear advantages of MT are its simplicity, availability and, most importantly, its patient-directed character.

Контактный адрес: Назарова Мария Александровна – асп. отд. нейрореабилитации и физиотерапии ФГБУ «НЦН» РАМН. 125367 Москва, Волоколамское ш., д. 80. Тел.: +7 (495) 490-20-10; e-mail: chantante@gmail.com;

Пирадов М.А. – зам. директора по научной работе, зав. отд. реанимации и интенсивной терапии ФГБУ «НЦН» РАМН;

Черникова Л.А. – гл. науч. сотр. отд. нейрореабилитации и физиотерапии ФГБУ «НЦН» РАМН.