

ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЕ ОБУЧЕНИЕ ПОСТИНСУЛЬТНЫХ ПАЦИЕНТОВ
МЕТОДОМ НЕЙРОПРОБ С ПОМОЩЬЮ АЛГОРИТМОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

*Вера Борисовна Никишина¹, Екатерина Анатольевна Петраш¹, Татьяна Владимировна Шутеева¹,
Игорь Игоревич Никишин², Елизавета Игоревна Никишина³*

¹Курский государственный медицинский университет, 305041, г. Курск, ул. К. Маркса, д.3,
e-mail: petrash@mail.ru, ²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, ³Первый Московский государственный
медицинский университет им. И.М. Сеченова, 119991, г. Москва, ул. Трубецкая, д.8, стр. 2

Реферат. В статье представлены результаты оценки эффективности восстановительного обучения методом нейропроб с помощью алгоритмов компьютерного зрения в сравнении с традиционными нейропсихологическими методами восстановительного обучения. Эмпирически подтверждено повышение точности и дифференцированности прикосновений, повышением точности узнавания знакомых лиц и идентификации фотографий незнакомых лиц по заданному образцу, а также восстановление целостности восприятия сюжетных картин (что указывает на эффективность восстановления гностических функций); повышение точности и темпа двигательного акта, а также восстановление двигательных программ.

Ключевые слова: ишемический инсульт, полушарная локализация, профиль латеральной организации головного мозга в сегменте ведущей руки, восстановительное обучение методом нейропроб с помощью алгоритмов компьютерного зрения.

REHABILITATION TRAINING METHOD OF POST INSULT
PATIENTS WITH THE HELP OF COMPUTER VISION
ALGORITHMS

Vera B. Nikishina¹, Ekaterina A. Petrash¹, Tatyana V. Shuteeva¹, Igor I. Nikishin², Elizaveta I. Nikishina³

¹Kursk state medical university, 305041, Kursk, Karl Marks street, 3,
e-mail: petrash@mail.ru, ²M.V. Lomonosov Moscow state university,
119991, Moscow, GSP-1, Lenin hills, house 1, building 12, ³I.M.
Sechenov Moscow state medical university, 119991, Moscow,
Trubetskaya street, house 8, building 2

The article presents the results of the evaluation of the effectiveness of the rehabilitation training method of neural sampling with the help of computer vision algorithms in comparison with traditional neuropsychological methods of rehabilitative training. Empirically confirmed the increase in accuracy and differentiation of touch, increasing the accuracy of recognition of familiar faces and identification of photos of strangers on a given pattern, as well as the restoration of the integrity of the perception of scene pictures (which indicates the effectiveness of the restoration of Gnostic functions); increase the accuracy and pace of the motor act, as well as the restoration of motor programs.

Key words: ischemic stroke, hemispheric localization, profile of lateral organization of the brain in the segment of the leading hand, restorative training by neuroprobe using computer vision algorithms.

На концептуально-методологическом уровне проблема восстановительного обучения постинсультных пациентов позиционируется, во-первых, на принципе нейропластичности головного мозга как способности нервной системы восстанавливать свою функцию посредством качественных и количественных нейрональных перестроек, изменения нейрональных связей и глиальных элементов. Поврежденный мозг может осуществить собственную реор-

ганизацию (в случае нарушения функционирования одного из его участков другой способен его заменить). Ресурсом нейропластичности головного мозга является сложность организации нейронной сети [2]. Во-вторых, восстановление системы осуществляется через воздействие на конкретную функцию. Различия в стратегиях восстановления касаются лишь того, какая функция используется в качестве иницирующей: через реорганизацию моторной карты [8], через реализацию когнитивных задач [5] и др. Создана вероятностная карта функциональной пластичности головного мозга, которая содержит 340 уровней вероятности от 0 до 1. Согласно картам нейропластичности головного мозга (Herbet G.), самый высокий резерв функциональной компенсации (4,90) расположен в областях сенсомоторной коры, небольшой части верхней височной коры и базальных ганглиях [6].

В процессе нейрореабилитации особое значение придается стратегиям, направленным на улучшение процессов пластичности на уровне синаптической передачи и нейрональных связей, что клинически проявляется восстановлением утраченных функций [1, 7, 10]. Нейропластичность головного мозга обеспечивает нормальное развитие нервной системы, адаптацию в зависимости от существующих потребностей и компенсацию потери какой-либо функции, а также реорганизацию нервной системы в условиях нарушения ее выполнения [1].

Современные нейрореабилитационные стратегии дифференцируются на традиционные и автоматизированные. Традиционные реабилитационные стратегии имеют ряд ограничений: высокая стоимость аппаратных методов нейрореабилитации; отсутствие автоматизации конкретных методик реабилитации пациентов; невозможность проводить реабилитацию вне условий стационара. К автоматизированным стратегиям реабилитации относятся специализированные реабилитационные комплексы (например, ARME Obyhoma, Pablobutyromotion, MJS 614 PLUS by BTL, «Neuro Move» byuzynexneuro, Intento, Handtutor) и системы захвата движений (например, Leap Motion, Playstation Move (Virtual Rehab, Jintronix, Habilect, Reflexion Health, Rehabunculus, Xbox Kinect), которые характеризуются низкой распространенностью, относительно длительным (до 10 минут) периодом подготовки к работе и низким уровнем автоматизированного контроля.

Преимуществами восстановительного обучения постинсультных пациентов методом нейропроб с помощью алгоритмов компьютерного зрения в сравнении с другими автоматизированными стратегиями нейрореабилитации (например, аппарат SATEM Mygotron, метод WBV, использование робо-

тизированных аппаратов) [4, 9], являются: высокая точность измерения и фиксации результатов выполнения задания; высокая доступность при низкой трудозатратности процедуры восстановительного обучения; возможность воспроизведения результатов выполнения заданий и анализа лонгитюда во всей длительности восстановительного периода; возможность пациентов самостоятельно поддерживать реабилитацию в условиях удаленного доступа (вне стационара).

Целью исследования был анализ стратегий восстановительного обучения постинсультных пациентов методом нейропроб с помощью алгоритмов компьютерного зрения с учетом профиля латеральной организации головного мозга.

Организация исследования осуществлялась последовательно в четыре этапа. Методы исследования группировались и распределялись в соответствии с выделенными этапами (табл. 1).

По критерию локализации очага поражения (правое или левое полушарие) с учетом профиля латеральной организации головного мозга в сегменте ведущей руки было сформировано четыре экспериментальные группы: 1) праворукие пациенты с локализацией очага поражения в левом полушарии – 12 человек (Э₁); 2) леворукие пациенты с локализацией очага поражения в правом полушарии – 10 (Э₂); 3) праворукие пациенты с локализацией очага поражения в правом полушарии – 11 (Э₃); 4) леворукие пациенты с локали-

Таблица 1

Этапы и методы исследования

| Этап исследования | Методы |
|--|--|
| Оценка профиля латеральной организации головного мозга постинсультных пациентов с целью формирования исследовательских групп для реализации основной программы исследования. | «Методика автоматизированного исследования индивидуального латерального профиля» с предварительным и итоговым тестированием (критерием определения ПЛО выступило преобладание левосторонних или правосторонних показателей (более 51% по трем из четырех показателей при предварительном тестировании; по трем из пяти показателей при основном тестировании) в обоих профилях). |
| Оценка исходной степени нарушения гностических (тактильный гнозис, лицевой гнозис, симультанный гнозис) функций и функций праксиса (кинетический праксис, кинестетический праксис, динамический праксис, пространственный праксис, конструктивный праксис) функций до начала восстановительного обучения постинсультных пациентов методом нейропроб с помощью алгоритмов компьютерного зрения методом попарного сравнения. | Нейропсихологические пробы исследования гностических функций и функций праксиса. |
| Оценка динамики (изменения) гностических функций и функций праксиса у постинсультных пациентов до и после завершения курса восстановительного обучения методом нейропроб с помощью алгоритмов компьютерного зрения. | Метод нейропроб с помощью алгоритмов компьютерного зрения. |
| Оценка значимости различий показателей гностических функций и функций праксиса функций после завершения курса восстановительного обучения методом нейропроб с помощью алгоритмов компьютерного зрения у постинсультных пациентов между собой методом попарного сравнения (сравнивались результаты исследования гностических функций и функций праксиса постинсультных пациентов экспериментальных и контрольных групп после завершения курса восстановительного обучения). | Нейропсихологические пробы исследования гностических функций и функций праксиса. |

Организация и методы исследования. Объем выборки составил 68 постинсультных пациентов в возрасте 53–61 года с ранним периодом госпитализации (в течение первых суток), находившихся на восстановительном лечении. Все пациенты перенесли первый ишемический инсульт полушарной локализации (по данным исследования с помощью методов нейровизуализации). Программа исследования включала в себя проведение клинического обследования с оценкой степени неврологического дефицита по шкалам: NIHSS (National Institute of Health Stroke Scale), когнитивные функции оценивались по краткой шкале оценки психического статуса (MMSE). Критериями исключения являлись наличие повторных инсультов в анамнезе, выраженные когнитивные нарушения.

В качестве терапии все пациенты получали рационально подобранную комбинированную антигипертензивную терапию, антиагреганты или антикоагулянты (по показаниям), статины, нейропротекторы и антиоксиданты.

защией очага поражения в левом полушарии – 9 (Э₄). Формирование контрольных групп осуществлялось по критерию локализации очага поражения в ведущем или неведущем полушарии: 1) пациенты с локализацией очага поражения в ведущем полушарии (7 праворуких и 5 леворуких – К₁); 2) пациенты с локализацией очага поражения в неведущем полушарии (8 праворуких и 6 леворуких – К₂). Пациенты контрольных групп проходили восстановительное обучение с использованием неавтоматизированных методов.

Метод нейропроб с помощью алгоритмов компьютерного зрения состоял из специализированного программного обеспечения, компьютера и обычных видеокамер. Программа по проведению когнитивных тренингов «Визуальная медицина», автоматизирующая процедуру метода, включала в себя голосовую поддержку и элементы геймификации; разработана на языке JAVA; предназначена для операционных систем Windows 7,8, NET Framework 4.0, 4.5 [3]. Общий объем программного обеспечения составлял 30

МБ. Фиксируемые параметры: точность выполнения упражнения, темп выполнения упражнения, скоординированность действий при выполнении упражнения, динамика процесса реабилитации.

Программа курса восстановительного обучения включала в себя три этапа: 1) первые 10 дней (20 ежедневных занятий продолжительностью по 7-8 мин каждое; два раза в день – в первой и второй половине дня); 2) 11–15 день (продолжительность каждого занятия была увеличена до 15 минут каждое с сохранением периодичности); 3) 16–21 день (при сохранении общей ежедневной длительности занятия 30 минут в день восстановительное обучение было разделено на 4 занятия – два занятия по 7-8 минут в первой половине дня и два занятия по 7-8 минут во второй половине дня). Общая продолжительность программы восстановительного обучения методом нейропроб с помощью алгоритмов компьютерного зрения была рассчитана на 21 день и составляла 8 часов.

Статистическая обработка осуществлялась с использованием пакета прикладных программ Excel для Windows 8.0.

Результаты и обсуждение. Характерными невровизуализационными изменениями у всех испытуемых были лейкоареоз, очаги демиелизации в подкорковых образованиях, лакунарные кисты. Во всех случаях также был выявлен гемипарез различной степени выраженности, гемигипестезия, легкая моторная афазия. Согласно полученным результатам, у 89,71% (61) пациентов были выявлены неврологические нарушения средней степени тяжести по шкале NIHSS, что в количественном выражении соответствовало $10,07 \pm 1,94$ балла; у 10,29% (7) – легкой степени тяжести ($6,58 \pm 1,24$ балла). В когнитивном статусе у 100% испытуемых выявлялись предметные когнитивные нарушения (количественный показатель по шкале MMSE – $25,86 \pm 1,63$ балла).

Осуществляя оценку исходной степени нарушения гностических функций до начала восстановительного обучения постинсультных пациентов с учетом локализации очага поражения (правое или левое полушарие) и профиля латеральной организации головного мозга в сегменте ведущей руки были выявлены нарушения тактильного, лицевого и симультанного гнозиса во всех четырех группах пациентов.

Нарушения тактильного гнозиса проявлялись в снижении точности локализации прикосновения, а также в дифференциации двух одновременных прикосновений (проба Тойбера). Указанные нарушения в наиболее грубой форме проявлялись при поражении ведущего полушария (у праворуких пациентов с левополушарной локализацией очага поражения и леворуких пациентов с правополушарной локализацией очага поражения) в сравнении с пациентами с локализацией очага ишемического инсульта в неведущем полушарии. При сравнении показателей тактильной чувствительности у леворуких и праворуких пациентов с ишемическим инсультом, установлено, что у леворуких пациентов снижение точности локализации прикосновений и дифференциации двух одновременных прикосновений значимо менее выражено, чем у праворуких пациентов.

Проявлениями нарушений лицевого гнозиса у пациентов с ишемическим инсультом являлись: нарушение узнавания знакомых лиц и нарушение идентификации фотографий незнакомых лиц по заданному образцу. Осуществляя сравнение результатов выполнения функциональных проб на исследование лицевого гнозиса пациентами с ишемическим инсультом установлено, что выявленные нарушения проявлялись в более грубой форме у пациентов с локализацией очага

ишемического инсульта в ведущем полушарии в сравнении с пациентами с локализацией очага поражения в неведущем полушарии, а также у праворуких пациентов в сравнении с леворукими.

При исследовании симультанного гнозиса пациенты с ишемическим инсультом вне зависимости от полушарной локализации очага поражения и профиля латеральной организации головного мозга без сложностей воспринимали отдельные предметы при невозможности одновременной дифференциации нескольких объектов, а также невозможности целостного восприятия сюжетной картинки. Статистически значимых различий между группами испытуемых с локализацией очага ишемического инсульта в ведущем неведущем полушарии выявлено не было.

При исследовании функций праксиса у пациентов с ишемическим инсультом были выявлены более выраженные нарушения в выполнении нейропсихологических проб по показателям точности и темпа выполнения при локализации очага поражения в ведущем полушарии. Сравняя показатели темпа и точности выполнения нейропсихологических проб у пациентом с учетом профиля латеральной организации головного мозга, также были выявлены более грубые нарушения у праворуких пациентов с левополушарным профилем латеральной организации в сравнении с леворукими пациентами с правополушарным профилем латеральной организации головного мозга.

Действия пациентов с ишемическим инсультом вне зависимости от полушарной локализации очага поражения и профиля латеральной организации головного мозга в сегменте ведущей руки являлись недифференцированными и характеризовались низким уровнем произвольного контроля. У всех пациентов с ишемическим инсультом было выявлено нарушение проприоцептивной кинестетической организации двигательного акта при сохранности внешней пространственной организации движений.

Нарушения сложных форм праксиса проявлялись в нарушении программирования движений (пациенты самостоятельно затруднялись выстраивать двигательную программу, а также не фиксировали заданную извне программу), снижении произвольного контроля над их выполнением, подмене нужных движений моторными шаблонами и стереотипами, а также наличием эхопраксий. Нарушение выполнения нейропсихологических проб на диагностику реципрокной координации движений по параметрам темпа и точности указывало на снижение динамического праксиса у пациентов с ишемическим инсультом вне зависимости от полушарной локализации очага поражения и профиля латеральной организации головного мозга. Наиболее грубые нарушения по всем видам праксиса были выявлены у пациентов с локализацией очага ишемического инсульта в ведущем полушарии в сравнении с пациентами с локализацией поражения в неведущем полушарии, а также у праворуких пациентов в сравнении с леворукими.

После оценки исходной степени нарушения гностических функций и функций праксиса пациенты, включенные в четыре экспериментальные группы, проходили курс восстановительного обучения методом нейропроб с помощью алгоритмов компьютерного зрения.

Полученные результаты указывают на повышение показателей точности и темпа реализации функций праксиса в процессе восстановительного обучения постинсультных пациентов методом нейропроб с помощью алгоритмов компьютерного зрения. Учитывая обратный

характер шкалы оценки (чем ниже эффективность выполнения, тем выше балл), снижение показателей количественной оценки результатов выполнения нейропсихологических проб подтверждает результативность реализуемой программы восстановительного обучения. Динамика изменения показателей эффективности выполнения восстановительных упражнений была неравномерной: с 1 по 11 день реабилитации изменения были незначительными – от 0,05 до 0,15 балла; с 12 по 21 – от 0,15 до 0,30 балла (рис. 1).

нарушений и психического (когнитивного) статуса не являлись статистически значимыми и носили характер статистической тенденции.

Осуществляя сравнительный анализ степени выраженности неврологических нарушений и когнитивного статуса у постинсультных пациентов экспериментальных и контрольных групп между собой, вне зависимости от полушарной локализации очага поражения и профиля латеральной организации головного мозга в сегменте ведущей

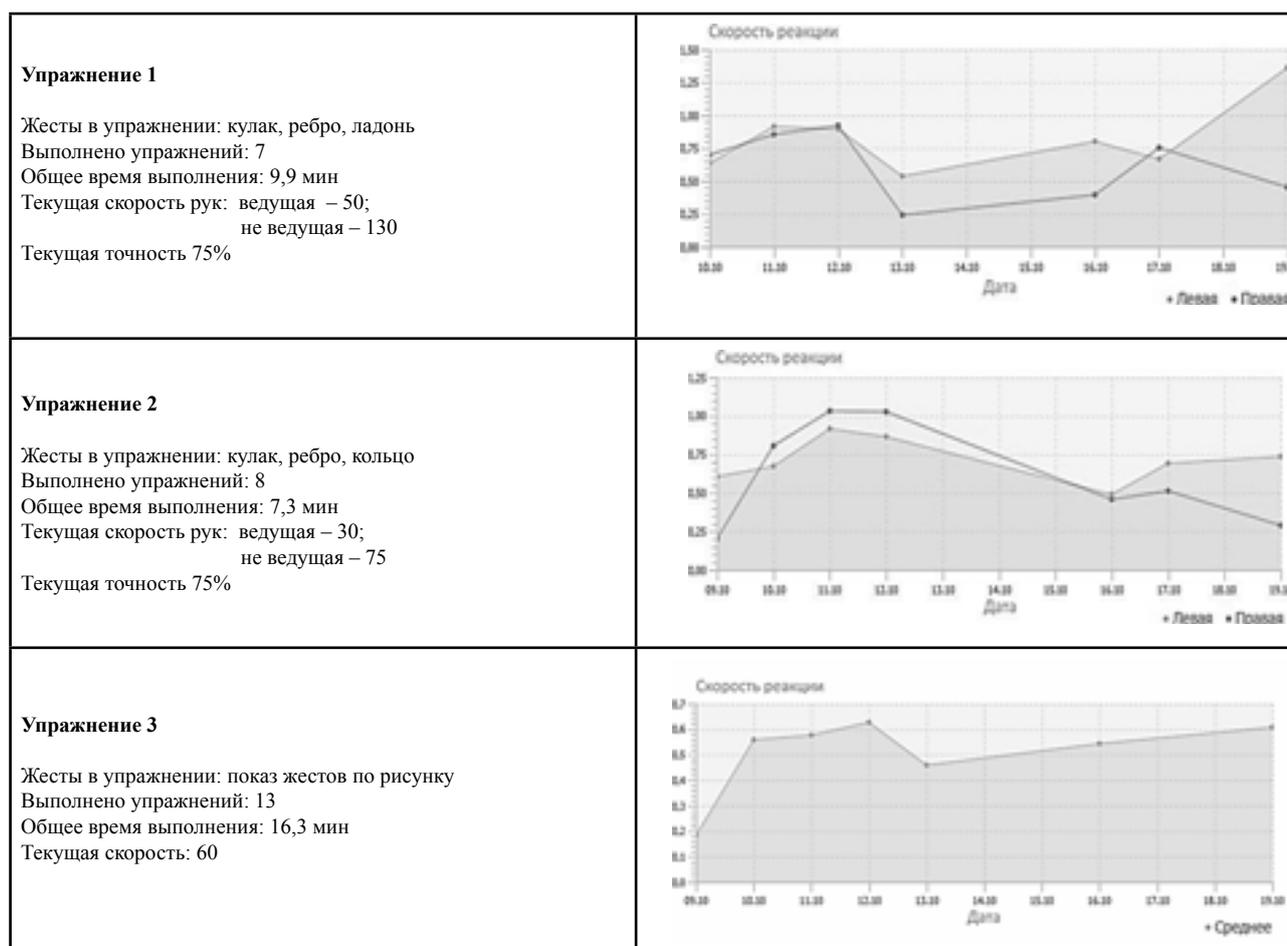


Рис. 1. Пример отчетов о выполнении заданий восстановительного обучения пациентом РП при правополушарной локализацией очага ишемического инсульта с левополушарным профилем латеральной организации головного мозга.

С целью оценки эффективности реализованной программы восстановительного обучения через 21 день осуществлялась повторная оценка неврологического статуса пациентов экспериментальных и контрольных групп с использованием шкалы оценки неврологического дефицита NIHSS и шкалы оценки психического статуса MMSE. В результате оценки значимости различий показателей степени выраженности неврологических нарушений с использованием статистического критерия χ^2 Фридмана ($p < 0,05$), было установлено, что у пациентов экспериментальных групп, прошедших курс восстановительного обучения методом нейропроб с помощью алгоритмов компьютерного зрения, а также пациентов контрольных групп, прошедших курс восстановительного обучения с использованием неавтоматизированных методов, выраженность как неврологических нарушений, так и нарушений когнитивного статуса снизилась. При этом изменения выраженности неврологических

руки были выявлены статистически значимые различия по обоим показателям, указывающие на значимое снижение выраженности неврологических нарушений и нарушения когнитивного статуса у постинсультных пациентов, прошедших курс восстановительного обучения методом нейропроб с помощью алгоритмов компьютерного зрения в сравнении с пациентами, прошедшими курс восстановительного обучения с использованием неавтоматизированных методов.

Также осуществлялась повторная нейропсихологическая диагностика гностических функций и функций праксиса и оценка значимости различий результатов первичной и последующей диагностики с использованием критерия χ^2 Фридмана ($p < 0,05$). Полученные результаты указывают на значимое снижение степени выраженности нарушений как гностических, так и функций праксиса после завершения курса восстановительного обучения у постинсультных паци-

Показатели значимости различий гностических функций и функций праксиса по группам испытуемых до и после восстановительного обучения методом нейропроб с помощью алгоритмов компьютерного зрения (критерий χ^2 Фридмана, $p < 0,05$)

| Нейропсихологические пробы | Праворукие пациенты с локализацией очага поражения в левом полушарии | Леворукие пациенты с локализацией очага поражения в правом полушарии | Праворукие пациенты с локализацией очага поражения в правом полушарии | Леворукие пациенты с локализацией очага поражения в левом полушарии |
|---|--|--|---|---|
| | Гностические функции | | | |
| Проба на определение локализации прикосновения | 0,025* | 0,018* | 0,021* | 0,016* |
| Проба Тойбера | 0,014* | 0,025* | 0,018* | 0,009 |
| Проба на дермолексию | 0,026* | 0,014* | 0,017* | 0,023* |
| Называние пальцев без зрительного контроля | 0,041* | 0,012* | 0,032* | 0,018* |
| Проба на стереогноз | 0,035* | 0,037* | 0,024* | 0,026* |
| Проба на узнавание знакомых лиц | 0,012* | 0,009* | 0,012* | 0,019* |
| Проба на идентификацию фотографий незнакомых лиц по заданному образцу | 0,019* | 0,019* | 0,027* | 0,026* |
| Проба на идентификацию портретов писателей | 0,026* | 0,023* | 0,019* | 0,024* |
| Проба на узнавание и понимание содержания сюжетных картинок | 0,023* | 0,015* | 0,018* | 0,023* |
| Функции праксиса | | | | |
| Проба на пересчет пальцев | 0,016* | 0,022* | 0,018* | 0,009* |
| Проба «кулак-ребро-ладонь» | 0,016* | 0,019* | 0,021* | 0,021* |
| Проба на перенос позы пальцев по зрительному образцу | 0,024* | 0,037* | 0,039* | 0,031* |
| Проба на перенос позы пальцев по тактильному образцу | 0,034* | 0,032* | 0,034* | 0,040* |
| Проба на реципрокное постукивание | 0,028* | 0,021* | 0,027* | 0,022* |
| Проба на пространственную организацию движений (проба Хэда) | 0,019* | 0,025* | 0,019* | 0,031* |
| Графическая проба | 0,028* | 0,024* | 0,019* | 0,020* |
| Проба на слухо-моторные координации | 0,018* | 0,011* | 0,024* | 0,019* |
| Проба на реципрокную координацию (проба Озерецкого) | 0,012* | 0,005* | 0,018* | 0,022* |

*статистически значимые различия.

ентов вне зависимости от полушарной локализации очага поражения и профиля латеральной организации головного мозга в сегменте ведущей руки (табл. 2).

При сравнении показателей гностических функций и функций праксиса у пациентов, прошедших курс восстановительного обучения методом нейропроб с помощью алгоритмов компьютерного зрения, и пациентов, прошедших курс восстановительного обучения с использованием неавтоматизированных методов восстановительного обучения, было выявлено статистически достоверное повышение качества реализации гностических функций, а также темпа и точности функций праксиса при использовании алгоритмов компьютерного зрения как у пациентов с поражением ведущего полушария, так и при локализации очага ишемического инсульта в неведущем полушарии. При этом наиболее продуктивно восстанавливались гностические функции

(тактильный и лицевой гнозис), а также темповые показатели функций праксиса (пространственная организация двигательного акта и динамический праксис).

У пациентов с локализацией очага ишемического инсульта в неведущем полушарии также была выявлена положительная динамика восстановления гностических функций и функций праксиса методом нейропроб с помощью алгоритмов компьютерного зрения. Учитывая обратный характер шкалы количественной оценки результатов выполнения нейропсихологических проб, снижение количественных показателей результатов выполнения функциональных нейропсихологических проб свидетельствовало об эффективности восстановления.

Эффективность восстановительного обучения методом нейропроб с помощью алгоритмов компьютерного зрения по всем диагностируемым показателям значимо выше у

леворуких пациентов с левополушарной локализацией очага поражения как в сравнении в праворукими пациентами с правополушарной локализацией очага поражения, так и в сравнении с постинсультными пациентами с локализацией очага поражения в неведущем полушарии, прошедших курс восстановительного обучения с использованием неавтоматизированных нейропсихологических методов восстановительного обучения.

Обсуждение. Установлено, что в неврологической практике как в РФ, так и за рубежом, преобладают методы восстановительного обучения, предполагающие использование специального оборудования и программного обеспечения.

Осуществляя предварительную оценку гностических функций и функций праксиса у пациентов, перенесших мелкоочаговый ишемический инсульт височно-затылочной локализации, вне зависимости от полушарной локализации очага поражения (ведущее или неведущее полушарие) и профиля латеральной организации головного мозга в сегменте ведущей руки было выявлено нарушение тактильного, лицевого и симультанного гнозиса. Нарушение функций праксиса проявлялось в снижении темпово-динамических показателей двигательного акта, нарушении кинестетической основы движений, а также нарушении построения и удержания двигательной программы. По степени выраженности описанные нарушения в наиболее грубой форме проявлялись у праворуких пациентов с левополушарной локализацией очага ишемического инсульта; минимальная степень выраженности нарушений выявлялась у леворуких пациентов с левополушарной локализацией очага поражения.

Доказана эффективность восстановительного обучения методом нейропроб с помощью алгоритмов компьютерного зрения в сравнении с неавтоматизированными нейропсихологическими методами восстановительного обучения. Эмпирически подтверждено повышение точности и дифференцированности тактильной чувствительности, повышение точности лицевого гнозиса, а также восстановление симультанного гнозиса (целостности восприятия сюжетных картин), что указывало на включенность в восстановление гностических функций; повышение точности и темпа моторной функции, а также восстановление двигательных программ.

Прогностическая эффективность восстановительного обучения методом компьютерного зрения заключается в том, что у постинсультных пациентов с локализацией очага поражения в не ведущем полушарии восстановительное обучение реализуется в направлении от активизации и автоматизации движений и программы действий к восстановлению гностических функций (тактильного, симультанного, лицевого гнозиса). У постинсультных пациентов при локализации очага поражения в ведущем полушарии процесс восстановительного обучения реализуется в направлении от активации пространственной организации двигательного акта и конструктивной деятельности к восстановлению лицевого и симультанного гнозиса.

Полученные результаты указывают на два значимых аспекта процесса восстановительного обучения: во-первых,

активность восстановления функции обусловлена включенностью неведущего полушария и взаимосвязана с повышением точности и темпа моторных функций; во-вторых, принцип пластичности и контрлатеральной организации (перераспределение функций при поражении ведущего полушария на неведущее) также позволяют повысить интенсивность процессов восстановления высших психических функций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дамулин И.В., Екушева Е.В. Клиническое значение феномена нейропластичности при ишемическом инсульте // *Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. 2016. Т. 10, №1. С. 57–64.
2. Норман Д. Пластичность мозга. М.: Эксмо, 2011. 544 с.
3. Свид. 2017619968 Российская Федерация. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программа по проведению когнитивных тренингов «Визуальная медицина» / В.Б. Никишина, Е.И. Никишина, И.И. Никишин; заявитель и правообладатель ООО «Визми» (RU). – заявл. 18.07.17; опубл. 12.09.17, Реестр программ для ЭВМ.
4. Del Din S., Bertoldo A., Sawacha Z. et al. Assessment of biofeedback rehabilitation in post-stroke patients combining fMRI and gait analysis: a case study // *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2014. №11. P. 53. <http://www.jneuroengrehab.com/content/11/1/53>
5. Gye Yeop Kim, Mi Ran Han, Hong Gyun Lee. Effect of Dual-task Rehabilitative Training on Cognitive and Motor Function of Stroke Patients // *J. Phys. Ther. Sci*. 2014. № 26. P. 1–6.
6. Herbet G. et. al. Mapping neuroplastic potential in brain-damaged patients // *Brain*. 2016. Vol. 139, Issue 3. P. 829–844.
7. Johansen-Berg H., Dawes H., Guy C. et al. Correlation between motor improvements and altered fMRI activity after rehabilitative therapy // *Brain*. 2002. Vol 125. P. 2731–2742.
8. Okabe N., Shiromoto T., Himi N. et al. Neural network remodeling underlying motor map reorganization induced by rehabilitative training after ischemic stroke // *Neuroscience*. 2016. October P. 1–94. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroscience.2016.10.008>
9. Steinisch M., Tana M.G., Comani S.A Post-Stroke Rehabilitation System Integrating Robotics, VR and High-Resolution EEG Imaging // *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*. 2013. №21(5). P. 849–859. DOI: 10.1109/TNSRE.2013.22678512013.
10. Traversa R., Cicinelli P., Bassi A. et al. Mapping of motor cortical reorganization after stroke. A brain stimulation study with focal magnetic pulses // *Stroke*. 1997. №28. P. 107–111.

REFERENCES

1. Damulin I.V., Ekusheva E.V. *Annaly klinicheskoi i eksperimental'noi nevrologii*. 2016. Vol. 10, №1. pp. 57–64. (in Russian)
2. Norman D. *Plastichnost' mozga*. Moscow: Eksmo, 2011. 544 p. (in Russian)
3. Svid. 2017619968 Rossiiskaya Federatsiya. *Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii programmy dlya EVM. Programma po provedeniyu kognitivnykh treningov «Vizual'naya meditsina»* / V.B. Nikishina, E.I. Nikishina, I.I. Nikishin; zayavitel' i pravoobladatel' ООО «Vizmi» (RU). – zayavl. 18.07.17; opubl. 12.09.17, Reestr programm dlya EVM. (in Russian)

Поступила 13.03.18.