

Эффективность реабилитации с виртуальной реальностью и биологической обратной связью в восстановлении функции кисти после инсульта

© Е.В. КОСТЕНКО^{1,2}, Л.В. ПЕТРОВА¹, М.Ю. МАРТЫНОВ^{2,3}, И.В. ПОГОНЧЕНКОВА¹

¹ГАУЗ «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины» Департамента здравоохранения Москвы, Москва, Россия;

²ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, Москва, Россия;

³ФГБУ «Федеральный центр мозга и нейротехнологий» Федерального медико-биологического агентства России, Москва, Россия

Резюме

Цель исследования. Оценить эффективность и безопасность применения реабилитационной технологии «перчатка-тренажер» (реабилитационная перчатка, РП) с виртуальной реальностью (VR) и биологической обратной связью (БОС) для восстановления предметно-манипуляционной деятельности руки у пациентов в позднем восстановительном периоде первого ишемического инсульта (ИИ) полушарной локализации

Материал и методы. В заключительный анализ рандомизированного контролируемого исследования включены 106 пациентов (возраст 58,8±4,3 года, срок после ИИ 8,7±2,1 мес). Основная группа (n=56) получала реабилитацию с VR и РП, группа сравнения (n=50) — индивидуальную лечебную гимнастику. Первичные критерии эффективности включали динамику по шкале Фугла-Мейера (FMA-UE), тесту оценки функции руки (ARAT), тесту с колышками и девятью отверстиями (NHPT). Вторичные критерии — динамику по шкалам MRCS, MAS, MoCA, HADS, модифицированному индексу Бартел (МИБ) и шкале качества жизни EQ-5D-5L.

Результаты. Улучшение двигательной функции руки в основной группе по шкале FMA-UE (увеличение на ≥7 баллов по разделам A—D) отмечено у 46,4% пациентов, по тесту ARAT (увеличение на ≥5 баллов) — у 53,6%. Нарастание быстроты выполнения теста NHPT увеличилось с 36,8±4,3 до 22,0±3,5 с. Выявлена отрицательная корреляция между суммой баллов по ARAT и уровнем тревоги ($r=-0,7$; $p<0,05$) и депрессии по HADS ($r=-0,67$; $p<0,05$). В обеих группах прирост по EQ-5D-5L (ВАШ) по завершении реабилитации был статистически значим, при этом в основной группе он был больше ($p=0,03$), чем в группе сравнения.

Заключение. Реабилитация на основе VR и БОС эффективна у пациентов с нарушением тонкой функции кисти после первого ИИ полушарной локализации.

Ключевые слова: инсульт, реабилитация, биологическая обратная связь, верхняя конечность, предметно-манипулятивная деятельность, цифровые и информационно-коммуникативные технологии, виртуальная реальность, реабилитационная перчатка.

Информация об авторах:

Костенко Е.В. — <https://orcid.org/0000-0003-0902-348X>

Мартынов М.Ю. — <https://orcid.org/0000-0003-2797-7877>

Петрова Л.В. — <https://orcid.org/0000-0003-0353-553X>

Погонченкова И.В. — <https://orcid.org/0000-0001-5123-5991>

Автор, ответственный за переписку: Мартынов М.Ю. — e-mail: m-martin@inbox.ru

Как цитировать:

Костенко Е.В., Петрова Л.В., Мартынов М.Ю., Погонченкова И.В. Эффективность реабилитации с виртуальной реальностью и биологической обратной связью в восстановлении функции кисти после инсульта. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова.* 2023;123(3 вып. 2):68–75. <https://doi.org/10.17116/jnevro202312303268>

Effectiveness of rehabilitation with virtual reality and biofeedback in recovery of hand function after stroke

© E.V. KOSTENKO^{1,2}, L.V. PETROVA¹, M.YU. MARTYNOV^{2,3}, I.V. POGONCHENKOVA¹

¹Moscow Centre for Research and Practice in Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine, Moscow, Russia;

²Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia;

³Federal Center for Brain and Neurotechnologies, Moscow, Russia

Abstract

Objective. To evaluate the effectiveness and safety of the rehabilitation glove (RG) with virtual reality (VR) and biofeedback (BFB) on recovery of the hand function in patients during the late recovery period after first hemispheric ischemic stroke (IS).

Material and methods. The study was randomized and controlled. One hundred and six patients (age 58.8 ± 4.3 years, time after stroke onset — 8.7 ± 2.1 months) were included in the final analysis. The intervention group ($n=56$) received rehabilitation with RG and VR. The control group ($n=50$) received individualized physical therapy. The primary end points were a change in the Fugl-Meyer scale score (FMA-UE), in the Action Research Arm Test (ARAT), and in the nine holes peg test (NHPT). Secondary end points included changes in MRCS, MAS, MoCA, HADS, modified Barthel index (MBI) and quality of life (EQ-5D-5L).

Results. Improvement of the motor function in the intervention group on FMA-UE scale (an increase of ≥ 7 points in sections A—D) was observed in 46.4% of patients, on ARAT (an increase of ≥ 5 points) in 53.6% of patients. There was a significant decrease in time from 36.8 ± 6.3 sec. to 22.0 ± 3.9 sec. on NHPT. A negative correlation was observed between the average ARAT score and anxiety ($r=-0.7$; $p<0.05$) and depression ($r=-0.67$; $p<0.05$). There was also a significant increase in EQ-5D-5L (VAS) by the end of rehabilitation in both groups with better scores in the intervention group ($p=0.03$).

Conclusion. Rehabilitation based on VR, RG, and BFB is effective in the rehabilitation of dexterous hand function in patients with first hemispheric IS.

Keywords: stroke, rehabilitation, biofeedback, upper limb, subject-manipulative activity of the hand, digital and information and communication technologies, virtual reality, rehabilitation glove.

Information about the authors:

Kostenko E.V. — <https://orcid.org/0000-0003-0902-348X>

Petrova L.V. — <https://orcid.org/0000-0003-0353-553X>

Corresponding author: Martynov M.Yu. — e-mail: m-martin@inbox.ru

Martynov M.Yu. — <https://orcid.org/0000-0003-2797-7877>

Pogonchenkova I.V. — <https://orcid.org/0000-0001-5123-5991>

To cite this article:

Kostenko EV, Petrova LV, Martynov MYu, Pogonchenkova IV. Effectiveness of rehabilitation with virtual reality and biofeedback in recovery of hand function after stroke. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry = Zhurnal nevrologii i psikiatrii imeni S.S. Korsakova*. 2023;123(3 vyp 2):68–75. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/jnevro202312303268>

Церебральный инсульт (ЦИ) — одна из главных причин нарушений функции руки, которые выявляются у 64–78% пациентов. Полное восстановление функций верхней конечности наблюдается в 18–79% случаев и в значительной степени зависит от исходной тяжести пареза [1, 2]. Даже минимальные двигательные нарушения в кисти сопровождаются значительными трудностями при выполнении точных мануальных действий. Кроме того, вследствие анатомических и функциональных связей, нарушение движений в кисти может сочетаться с речевыми и когнитивными нарушениями (КН) [3].

В связи с этим в последние годы для восстановления сложных навыков, имеющих отношение к реальной жизни, изучаются возможности мультимодальной реабилитации (МР) с активным участием пациента [4]. В этом контексте традиционные методики реабилитации дополняются технологиями с биологической обратной связью (БОС), информационно-коммуникативными технологиями с виртуальной реальностью (VR) и др. [5, 6]. Одним из таких направлений является технология реабилитационных (сенсорных) перчаток (РП). На данный момент разработаны различные РП, которые позволяют оценить положение кисти и пальцев, и на основании тактильной и кинестетической БОС тренировать основные движения руки [7, 8].

К настоящему времени установлено, что в остром и подостром периодах ЦИ применение VR и РП дополнительно к стандартной реабилитации позволяет добиться более полного восстановления движений, чем применение только стандартных реабилитационных программ [9–11]. Эффективность самостоятельного применения VR и РП изучена меньше. Так, J. Shin и соавт. [12], H. Lee и соавт. [13] отметили большую эффективность VR и РП в восстановлении силы и движений в кисти по сравнению со стандартной реабилитацией. В то же время С. Schuster-Amft и соавт. [14] не выявили преимущества VR и РП по сравнению со стандартной реабилитацией в восстановлении тонких движений кисти.

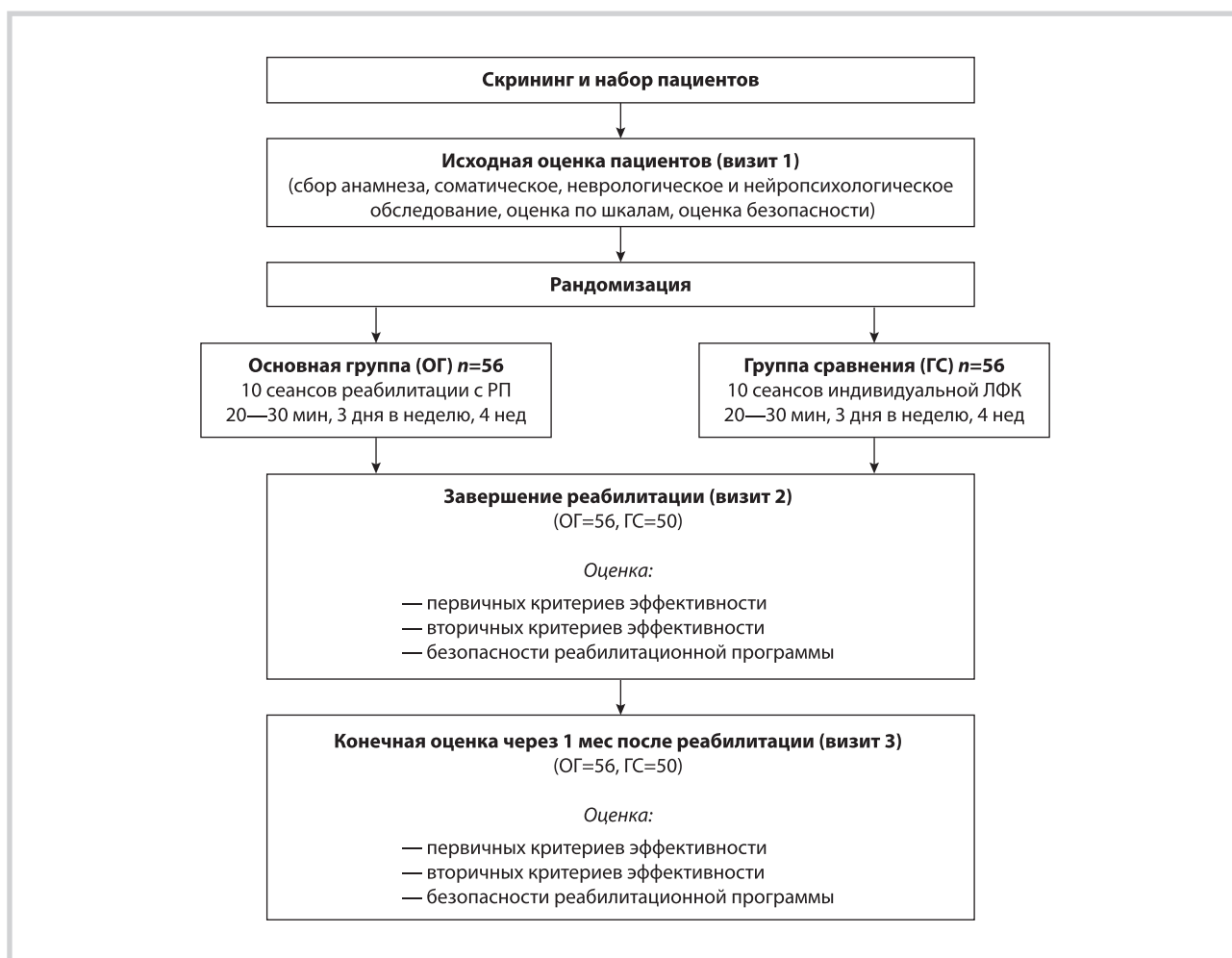
Цель исследования — изучение эффективности и безопасности реабилитационной технологии VR и РП для восстановления предметно-манипуляционной деятельности руки в сравнении с индивидуальным комплексом лечебной физкультуры (ЛФК) в позднем восстановительном периоде (6–12 мес) первого ишемического инсульта (ИИ) полушарной локализации.

Материал и методы

На базе филиала 7 ГАУЗ «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины» ДЗ Москвы (ГАУЗ «МНПЦ МРВСМ» ДЗМ) совместно с кафедрой неврологии, нейрохирургии и медицинской генетики ФГАОУ ВО «РНМУ им. Н.И. Пирогова» Минздрава России проведено рандомизированное контролируемое исследование, одобренное ЛЭК ГАУЗ «МНПЦ МРВСМ» ДЗМ (протокол №3, 18.02.2021). Исследование было зарегистрировано на сайте <https://clinicaltrials.gov> (NCT05391919). Дизайн исследования представлен на рисунке.

Критерии включения: 6–12 мес после первого ИИ полушарной локализации; возраст 45–75 лет; отсутствие речевых нарушений; понимание заданий и инструкций; парез 3–4 балла по шкале MRCS [15]; спастичность ≤ 2 баллов по шкале MAS [16]; сохранность глубокой чувствительности; сохранность когнитивных функций (значения по шкале MoCA >22 баллов) [17]; отсутствие тревоги и депрессии (<11 баллов по шкале HADS) [18]; нарушение функционирования в соответствии с доменами МКФ: d440 (тонкое использование кисти), d445 (использование кисти и руки), d499 (перенос, перемещение и манипулирование объектами) — определитель не более 2 баллов.

Методом блочной рандомизации пациенты были распределены в две группы — основную (ОГ) и сравнения (ГС), которые не различались между собой по демографическим



Дизайн исследования.
Design of the study.

и клиническим показателям (табл. 1). Исходно в каждую группу были рандомизированы 56 пациентов. В ГС реабилитацию завершили 50 пациентов, которые и были включены в заключительный анализ. В ОГ было проведено 10 занятий РП, в ГС проводились индивидуальные занятия ЛФК для верхней конечности (см. рисунок), направленные на восстановление активных движений в мышцах сгибателях и разгибателях пальцев и запястья, пронаторах и супинаторах предплечья пораженной конечности в режиме нарастания темпа и интенсивности упражнений. РП в этой группе не применялась. Кроме того, в обеих группах проводилась базовая терапия в соответствии со стандартами оказания медицинской помощи.

Технология РП основана на компьютерных играх (КИ) с включением визуальной и кинестетической БОС. Сложность КИ классифицируется в соответствии с предполагаемыми движениями. В каждой КИ для достижения результата необходимо выполнить задачу, связанную с конкретным движением. Для проведения процедуры рука размещается и фиксируется в РП. Сенсоры отслеживают и распознают пронацию/супинацию предплечья, сгибание/разгибание запястья и радиально-локтевое отклонение запястья в вертикальной и горизонтальной плоскости, сгибание/разгибание пальцев, а также сложные

движения. Датчик в устройстве определяет трехмерную ориентацию дистального отдела руки, а 5 датчиков оценивают степень сгибания пальцев. Система модулирует и корректирует уровень сложности в соответствии с достижениями пациента так, чтобы результативность приближалась к эталонной. Уровень сложности может быть изменен положением цели, продолжительностью и скоростью ее перемещения или иным способом.

Оценка эффективности МР проводилась на основании набора шкал и методик (табл. 2). Побочные эффекты и нежелательные явления контролировали на каждом визите. Первичные критерии эффективности МР — прирост баллов по шкалам FMA UE (разделы A—D ≥ 7 баллов), ARAT (≥ 5 баллов) и тесту NHPT (ускорение выполнения задания на 4 с). Вторичные критерии эффективности МР — динамика пареза и спастичности, боли, когнитивных нарушений, тревоги и депрессии, качества жизни (шкала EQ-5D-5L), прирост значений модифицированного индекса Бартел (МИБ) ≥ 4 балла, а для ОГ — также процент правильно выполненных заданий. В обеих группах оценка состояния больных проводилась исходно (визит 1), после 10 сеансов МР (визит 2) и через 1 мес после МР (визит 3).

Статистический анализ проводился с использованием программ Statistica 7,0 и Microsoft Excel. Распределение

Таблица 1. Демографическая и клиническая характеристика пациентов, включенных в исследование
Table 1. Demographic and clinical features of patients included in the study

Показатель	ОГ (n=56)	ГС (n=50)
Женщины/мужчины, n (%)	27/29 (48,2/51,8)	23/27 (46,0/54,0)
Возраст, годы ($M \pm SD$)	61,1 \pm 3,7	56,5 \pm 4,9
Локализация ИИ правое/левое полушарие, n (%)	31/25 (55,3/44,7)	29/21 (58,0/42,0)
Давность инсульта, мес ($M \pm SD$)	7,7 \pm 5,4	7,9 \pm 4,8
Подтипы ИИ [19], n (%)		
атеротромботический	37 (66,0)	34 (68,0)
кардиоэмболический	11 (19,6)	9 (18,0)
лакунарный	3 (5,4)	3 (6,0)
неуточненный	5 (9,0)	4 (8,0)
Гемипарез: справа/слева	25/31 (44,7/55,3)	22/28 (44,0/56,0)
Мышечная сила, баллы ($M \pm SD$)		
верхняя конечность		
проксимально	4,3 \pm 0,4	4,2 \pm 0,5
дистально	4,2 \pm 0,3	4,2 \pm 0,45
нижняя конечность		
проксимально	3,9 \pm 0,2	4,0 \pm 0,45
дистально	3,8 \pm 0,4	3,9 \pm 0,4
МоСА, баллы ($M \pm SD$)	23,8 \pm 1,6	23,9 \pm 1,4
НАДС, баллы ($M \pm SD$)		
тревога	10,1 \pm 1,7	9,7 \pm 1,6
депрессия	9,7 \pm 1,8	9,3 \pm 1,3
МИБ, баллы ($M \pm SD$)	58,2 \pm 6,6	60,9 \pm 5,8
EQ-5D-5L, баллы ($M \pm SD$)	46,4 \pm 6,5	46,7 \pm 6,5

Таблица 2. Методики оценки эффективности МР
Table 2. Methods of the evaluation of effectiveness MR

Исследуемая функция	Методика обследования
Первичные критерии эффективности	
двигательная функция верхней конечности	Шкала FMA-UE [20]; Шкала ARAT [21]; Тест NHPT [22]
Вторичные критерии эффективности	
мышечная сила	Шкала MRCS [15]
спастичность	Шкала MAS [16]
Боль в паретичной конечности	ВАШ [23]
Когнитивные функции	Шкала оценки МоСА [17]
Тревога и депрессия	Шкала HADS [18]
Функциональная независимость	МИБ с анализом суммы баллов и отдельно разделов: прием пищи, купание, уход за собой, одевание [24]
Качество жизни	Опросник EQ-5D-5L (версия 1,0, 2011 в сочетании с ВАШ) [25]
Точность выполнения задач (для ОГ)	Процент правильно выполненных заданий

данных оценивалось по критерию Шапиро—Уилка. Параметрические количественные данные были представлены средними значениями и среднеквадратичным отклонением ($M \pm SD$). Непараметрические количественные и ранговые переменные — медианой и межквартильным интервалом (Me [P_{25} ; P_{75}]). В зависимости от распределения сравнение средних в двух независимых выборках проводилось при помощи t -теста или U -критерия Манна—Уитни, в двух парных выборках — при помощи t -теста для зависимых выборок или критерия Уилкоксона. Корреляционная

связь между показателями определялась с помощью коэффициента Пирсона или Спирмена. Различия между бинарными признаками оценивали с использованием таблиц сопряженности с расчетом χ^2 , скорректированного по Йейтсу. Дельту (Δ) между ОГ и ГС рассчитывали по формуле:

$$\Delta = m_1 - m_2 / sd_1,$$

где m_1 — средний показатель ГС, m_2 — средний показатель ОГ; sd_1 — стандартное отклонение ГС. Уровень статистической значимости был $p < 0,05$.

Таблица 3. Первичные и вторичные критерии эффективности МР
Table 3. Primary and secondary outcomes MR

Шкала	Визиты		
	1-й	2-й	3-й
Первичные критерии эффективности МР ОГ ($n=56$)			
FMA UE-total, баллы ($M \pm SD$)	53,2 \pm 1,4	58,4 \pm 1,3*	59,8 \pm 1,2*
FMA UE-prox, баллы ($M \pm SD$)	31,6 \pm 1,0	32,5 \pm 0,9	34,7 \pm 0,9*
FMA UE-dist, баллы ($M \pm SD$)	19,4 \pm 0,7	20,6 \pm 0,7	22,7 \pm 0,6*
ARAT, баллы ($M \pm SD$)	42,6 \pm 3,2	46,2 \pm 3,3*	51,7 \pm 2,9*
ННРТ, с ($M \pm SD$)	36,8 \pm 4,3	22,0 \pm 3,9*	22,0 \pm 3,5*
продолжительность тренировок, мин (Me [P_{25} ; P_{75}])	10,0 [1,5—22,0]	25,0 [4,5—35,0]	—
эффективное время тренировок, мин (Me [P_{25} ; P_{75}])	16,5 [12,5—20,1]	32,1* [23,9—37,9]	—
ГС ($n=50$)			
FMA UE-total, баллы ($M \pm SD$)	54,0 \pm 1,4	55,8 \pm 1,3	56,5 \pm 1,2
FMA UE-prox, баллы ($M \pm SD$)	32,1 \pm 1,4	32,8 \pm 1,3	33,5 \pm 1,2
FMA UE-dist баллы	19,9 \pm 1,0	20,7 \pm 0,9	22,1 \pm 0,8
ARAT, баллы ($M \pm SD$)	42,1 \pm 3,0	45,7 \pm 2,9	46,2 \pm 2,6
ННРТ, с ($M \pm SD$)	35,9 \pm 4,8	30,5 \pm 4,2	27,3 \pm 3,5*
Вторичные критерии эффективности МР ОГ ($n=56$)			
MRCS, баллы ($M \pm SD$)	3,8 \pm 0,6	4,0 \pm 0,5	4,2 \pm 0,7
MAS, баллы ($M \pm SD$)	1,2 \pm 0,8	1,0 \pm 0,7	1,0 \pm 0,7
ВАШ боли, баллы ($M \pm SD$)	1,8 \pm 0,7	1,6 \pm 0,8	1,6 \pm 0,8
КН ($M \pm SD$)	23,8 \pm 1,6	25,7 \pm 1,8	27,1 \pm 1,5
НADS, тревога, баллы ($M \pm SD$)	10,1 \pm 1,7	7,9 \pm 2,5*	4,5 \pm 2,2*
НADS, депрессия, баллы ($M \pm SD$)	9,7 \pm 1,8	8,3 \pm 2,3	6,8 \pm 2,4
МИБ, баллы ($M \pm SD$)	58,2 \pm 6,6	75,6 \pm 5,6*	87,8 \pm 5,6*
EQ-5D-5L, баллы ($M \pm SD$)	46,4 \pm 6,5	67,8 \pm 5,8*	76,3 \pm 5,6*
ГС ($n=50$)			
MRCS, баллы ($M \pm SD$)	3,9 \pm 0,9	4,0 \pm 0,9	4,0 \pm 0,9
MAS, баллы ($M \pm SD$)	1,3 \pm 0,7	1,0 \pm 0,6	1,0 \pm 0,6
ВАШ боли, баллы ($M \pm SD$)	1,7 \pm 0,8	1,7 \pm 0,8	1,6 \pm 0,8
MoCA, баллы ($M \pm SD$)	23,9 \pm 1,4	24,6 \pm 2,0	26,2 \pm 1,7
НADS, тревога, баллы ($M \pm SD$)	9,7 \pm 1,6	8,6 \pm 1,4	7,7 \pm 1,3
НADS, депрессия, баллы ($M \pm SD$)	9,3 \pm 1,3	8,9 \pm 1,0	8,2 \pm 1,0
МИБ, баллы ($M \pm SD$)	60,9 \pm 5,8	73,1 \pm 5,7	75,5 \pm 5,3
EQ-5D-5L, баллы ($M \pm SD$)	46,7 \pm 6,5	54,3 \pm 4,6	62,2 \pm 4,6*

Примечание. * — различия достоверны до и после МР, $p < 0,05$.
Note. * — difference is significant before and after MR, $p < 0,05$.

Результаты

Первичные критерии эффективности. В ОГ сразу и через 1 мес после окончания МР отмечалось улучшение тонких функций кисти, о чем свидетельствовало увеличение суммы баллов по шкале FMA UE-total и FMA UE-dist (табл. 3). Прирост по FMA UE-total составил 6,6 балла и не достиг 0,4 балла до минимальных клинически значимых различий — МКЗР (≥ 7 баллов). В ГС наблюдалась тенденция к улучшению по этому разделу FMA; Δ между ОГ и ГС составила 2,75 балла ($p=0,045$). В ОГ прирост по шкале ARAT превысил МКЗР (≥ 5 баллов) и составил 9 баллов; Δ между ОГ и ГС достигла 3,16 балла ($p=0,031$). Кроме того, в ОГ прирост (%) пациентов с улучшением показателей на ≥ 5 баллов был достоверно больше, чем в ГС.

В ОГ значимое улучшение двигательной функции по FMA UE-total отмечено у 46,4% пациентов, по ARAT — у 53,6%. В ГС эти показатели составили 28 и 23% соответственно (ОШ=3,28, 95% ДИ 1,34—8,15, $p=0,007$ для различий по ARAT). Восстановление тонкой моторики кисти не зависело от давности ИИ и возраста пациента. В обеих группах имелась связь между улучшением по ARAT и выраженностью пареза ($r>0,4$, $p<0,05$). Прирост скорости выполнения теста NHPT в ОГ составил 15,5 с, в ГС — 8,3 с ($p=0,017$) (см. табл. 3).

Вторичные критерии эффективности. Динамика прироста силы в каждой группе мышц (сгибатели плеча, разгибатели локтя, разгибатели запястья, супинаторы и пронаторы предплечья) не различалась между ОГ и ГС и составила 0,3 балла по сравнению с исходным уровнем (см. табл. 3). Уровень боли исходно, сразу и через 1 мес после МР в обеих группах был низким. Случаев нарастания боли ни в одном суставе отмечено не было, что свидетельствовало о хорошей переносимости применения РП.

Исходно умеренные КН выявлены у 64% пациентов ОГ и у 62% — ГС. В обеих группах выявлялись нейродинамические расстройства, быстрая истощаемость при умственной работе, нарушения концентрации внимания при выполнении заданий. Через 1 мес после окончания МР в ОГ наблюдалась положительная динамика нейродинамических и регуляторных функций, которые у 82% пациентов достигли нормальных значений. Хотя в целом в ОГ прирост баллов по МоСА не достигал статистической значимости, важным было то, что число пациентов, перешедших в группу с нормальными показателями когнитивного статуса, было достоверно больше, чем в ГС ($\chi^2=6,4$, $p=0,016$).

В обеих группах к завершению исследования отмечалось улучшение общего самочувствия, уменьшение лабильности настроения, внутреннего напряжения, тревожности и психомоторного беспокойства. В ОГ динамика показателей по разделу «тревога» стала статически достоверной: до МР — 57,0%, после — 87,5% (ОШ=5,25, 95% ДИ 1,87—15,29 балла, $p=0,0008$); в ГС наблюдалась тенденция: 58,0 и 65% соответственно. Уменьшение тревоги и депрессии было ассоциировано с улучшением по шкале ARAT ($r>-0,67$; $p<0,043$).

В ОГ к концу реабилитации отмечалось достоверное улучшение по шкале МИБ, сохранявшееся и через 1 мес. Динамика была обусловлена улучшением по разделам «одевание» (на 56%), «прием пищи» (на 54%), «прием ванны» (на 60%) и «пользование туалетом» (на 46%). В ГС отмечалась тенденция к достоверности различий ($p=0,066$), Δ между группами составила 3,61 балла ($p=0,012$).

Исходно у всех пациентов были выявлены проблемы со здоровьем по опроснику EQ-5D-5L. До начала МР показатели, отражающие качество жизни, не различались между ОГ и ГС ($46,4\pm 6,5$ и $46,7\pm 6,1$ балла). В обеих группах отмечались трудности ухода за собой (55,6%), беспокорство и сниженный эмоциональный фон (47,7%), проблемы в повседневной деятельности (42,0%), умеренная боль и дискомфорт (33,1%). После МР оценка качества жизни в ОГ стала достоверно выше ($p=0,046$). Дальнейшее наблюдение показало устойчивый положительный эффект МР в обеих группах, более выраженный в ОГ ($p=0,001$) по сравнению с ГС ($p=0,047$).

В ОГ продолжительность тренировки увеличилась с 10 мин на первом сеансе до 25 мин на последнем сеансе. Эффективное время возросло с 7,5 до 18,1 мин. Общее время и общее эффективное время тренировки составило 203 и 190 мин.

При проведении МР с ВР и РП ухудшения общего состояния, изменений показателей системной гемодинамики не выявлено. Наиболее частым (77,7%) нежелательным явлением было утомление к концу занятия. Серьезных нежелательных явлений не зарегистрировано.

Обсуждение

Целью настоящего исследования было изучение влияния ВР с РП на восстановление функции кисти у пациентов с неглубоким парезом в позднем восстановительном периоде первого ИИ полушарной локализации. Категория пациентов с неглубоким парезом была выбрана не случайно: именно в ней при правильной МР наиболее часто происходит переход от самообслуживания и ухода за собой к участию в мероприятиях, связанных с досугом или работой [1]. Такой переход является следствием восстановления тонких движений кисти и пальцев, что позволяет выполнять сложные действия: набор текста, использование сенсорного экрана телефона, мелких инструментов и др.

Главным отличием МР с ВР и РП от МР с ЛФК является ориентация на восстановление навыка бытовой активности, а не единичных движений. В основе методики лежат нейросенсорное обучение и переобучение, позволяющее улучшить тонкие движения, а также когнитивное и эмоциональное состояние пациента [26]. Это способствует вовлечению других отделов головного мозга и приводит к более выраженному улучшению по сравнению только с ЛФК [27]. В настоящем исследовании показано, что применение РП сопровождалось улучшением тонких движений кисти, которое сохранялось в течение 1 мес после завершения МР. Прирост по FMA-UE total в ОГ не достиг 0,4 балла до МКЗР, однако, учитывая результаты предыдущих исследований, в которых прирост FMA-UE total был 3,5—4,5 балла [28], выраженность улучшения можно расценить как хорошую. Прирост баллов по ARAT превысил МКЗР, и в ОГ значимо увеличилось число пациентов с улучшением показателей на ≥ 5 баллов по сравнению с ГС. Таким образом, достоверные различия по этим шкалам между ОГ и ГС свидетельствуют о преимуществах ВР и РП в восстановлении тонкой функции руки.

Нужно отметить, что в настоящем исследовании у пациентов исходно отмечалась большая сумма баллов по FMA-UE и ARAT, что в ряде случаев приводило к «эффекту потолка». Как достижение МКЗР можно рассматри-

вать и сочетание прироста по шкалам FMA-UE total и ARAT с количеством успешно выполненных заданий и сокращением времени на выполнение ННРТ на 30% от исходного в ОГ. В результате тренировок с ВР и РП более эффективными становились движения руки при достижении цели и взаимодействии с ней, о чем свидетельствовали улучшенная проксимальная стабильность, плавность и эффективность пути движения руки к цели, что могло быть связано с полимодальным влиянием БОС [27].

Также в исследовании показана тенденция положительного эффекта РП в отношении проксимальных отделов паретичной руки. Поскольку кисть играет важную роль в качестве конечного эффектора, ее высокая активность во время занятий РП может способствовать включению и проксимальных отделов паретичной конечности, и полученные результаты могут объясняться увеличением площади возбуждения с захватом соседних зон [29].

Еще одной особенностью исследования было изучение связи между восстановлением тонких движений кисти и когнитивным статусом. По данным метаанализа [30], применение ВР способствует более активному использованию паретичной конечности, что клинически совпадает с улучшением когнитивных функций. Н. Lee и соавт. [13] наблюдали сочетанное улучшение мелкой моторики кисти и когнитивных функций при использовании ВР и РП. Полученные нами результаты также указывают, что применение ВР и РП, наряду с улучшением движений в кисти, сопровождалось улучшением по шкалам MoCA и HADS. Это подчеркивает важность дальнейшей разработки методов и методик сочетанного восстановления тонкой функции кисти и когнитивных функций.

После курса МР отмечено значимое улучшение функциональной независимости по МИБ. Эти результаты согласуются с предыдущими исследованиями, в которых установлено улучшение по ряду разделов МИБ при использовании терапии, ограничивающей движение здоровой конечности, по сравнению с обычной реабилитацией [31].

В последние годы уделяется внимание оценке качества жизни после ЦИ, изучается возможность включения EuroQol-5D (EQ-5D) в оценку эффективности реабилитации [32, 33]. В настоящем исследовании установлено, что МР с ВР и РП в большей степени, чем стандартная МР, улучшала качество жизни по EQ-5D-5L, которое сохранялось в течение 1 мес наблюдения.

Заключение

Таким образом, результаты исследования показывают, что применение ВР и РП улучшает восстановление тонких движений кисти при легких и средних парезах после ИИ. Технология ВР и РП дает возможность регулировать сложность задания в соответствии с результатами пациента, позволяя выполнить задание до конца. Это создает ощущение достижения, которое поддерживается звуковой и зрительной БОС, что приводит к положительному подкреплению и мотивации к продолжению реабилитации. Кроме этого, важным аспектом применения РП является сокращение операционного времени на пациента, что позволяет контролировать тренировки у 7–8 пациентов одновременно и способствует внедрению технологии в амбулаторных условиях. Применение инновационных технологий ВР с РП и с БОС может способствовать оптимизации реабилитации, улучшению двигательных, нейropsychологических и когнитивных функций, повышению качества жизни пациентов после ЦИ.

Исследование выполнено при поддержке Гранта Правительства г. Москвы №0912-1/22. The study was supported by the Grant of the Government of Moscow No. 0912-1/22.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. The authors declare no conflicts of interest.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Nakayama H, Jørgensen HS, Raaschou HO, et al. Recovery of upper extremity function in stroke patients: the Copenhagen Stroke Study. *Arch Phys Med Rehabil.* 1994;75(4):394-398. [https://doi.org/10.1016/0003-9993\(94\)90161-9](https://doi.org/10.1016/0003-9993(94)90161-9)
2. Meyer S, Karttunen AH, Thijs V, et al. How do somatosensory deficits in the arm and hand relate to upper limb impairment, activity, and participation problems after stroke? *Phys Ther.* 2014;94(9):1220-1231. <https://doi.org/10.2522/ptj.20130271>
3. Roby-Brami A, Jarrassé N, Parry R. Impairment and compensation in dexterous upper-limb function after stroke. From the direct consequences of pyramidal tract lesions to behavioral involvement of both upper-limbs in daily activities. *Front Hum Neurosci.* 2021;15:662006. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.662006>
4. Котов С.В., Турбина Л.Г., Бобров П.Д. и др. Реабилитация больных, перенесших инсульт, с помощью биоинженерного комплекса «интерфейс мозг-компьютер + экзоскелет». *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова.* 2014;114(12-2):66-72. Kotov SV, Turbina LG, Bobrov PD, et al. Rehabilitation of post stroke patients using a bioengineering system «brain-computer interface + exoskeleton». *Zhurnal Nevrologii i Psikhiiatrii im. S.S. Korsakova.* 2014;114(12-2):66-72. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/jnevro201411412266-71>
5. Saposnik G, Cohen LG, Mamdani M, et al. Stroke Outcomes Research Canada. Efficacy and safety of non-immersive virtual reality exercising in stroke rehabilitation (EVREST): a randomised, multicentre, single-blind, controlled trial. *Lancet Neurol.* 2016;15(10):1019-1027. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(16\)30121-1](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(16)30121-1)
6. Ambrosini E, Peri E, Nava C, et al. A multimodal training with visual bio-feedback in subacute stroke survivors: a randomized controlled trial. *Eur J Phys Rehabil Med.* 2020;56(1):24-33.
7. Caeiro-Rodríguez M, Otero-González I, Mikic-Fonte FA, et al. A systematic review of commercial smart gloves: current status and applications. *Sensors (Basel).* 2021;21(8):2667. <https://doi.org/10.3390/s21082667>
8. Henderson J, Condell J, Connolly J, et al. Reliability and validity of clinically accessible smart glove technologies to measure joint range of motion. *Sensors (Basel).* 2021;21(5):1555. <https://doi.org/10.3390/s21051555>
9. Kwon JS, Park MJ, Yoon IJ, et al. Effects of virtual reality on upper extremity function and activities of daily living performance in acute stroke: a double-blind randomized clinical trial. *NeuroRehabilitation.* 2012;31(4):379-385. <https://doi.org/10.3233/NRE-2012-00807>
10. Long Y, Ouyang RG, Zhang JQ. Effects of virtual reality training on occupational performance and self-efficacy of patients with stroke: a randomized controlled trial. *J Neuroeng Rehabil.* 2020;17(1):150. <https://doi.org/10.1186/s12984-020-00783-2>

11. Park YS, An CS, Lim CG. Effects of a rehabilitation program using a wearable device on the upper limb function, performance of activities of daily living, and rehabilitation participation in patients with acute stroke. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(11):5524. <https://doi.org/10.3390/ijerph18115524>
12. Shin JH, Kim MY, Lee JY, et al. Effects of virtual reality-based rehabilitation on distal upper extremity function and health-related quality of life: a single-blinded, randomized controlled trial. *J Neuroeng Rehabil*. 2016;13:17. <https://doi.org/10.1186/s12984-016-0125-x>
13. Lee HS, Lim JH, Jeon BH, Song CS. Non-immersive virtual reality rehabilitation applied to a task-oriented approach for stroke patients: a randomized controlled trial. *Restor Neurol Neurosci*. 2020;38(2):165-172. <https://doi.org/10.3233/RNN-190975>
14. Schuster-Amft C, Eng K, Suica Z, et al. Effect of a four-week virtual reality-based training versus conventional therapy on upper limb motor function after stroke: A multicenter parallel group randomized trial. *PLoS One*. 2018;13(10):e0204455. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204455>
15. MRCs: Medical Research Council Scale. Available at: 12.07.22. <https://mrc.ukri.org/research/facilities-and-resources-for-researchers/mrc-scales>
16. Bohannon RW, Smith MB. Interrater reliability of a modified Ashworth scale of muscle spasticity. *Phys Ther*. 1987;67(2):206-207. <https://doi.org/10.1093/ptj/67.2.206>
17. Nasreddine ZS, Phillips NA, Bédirian V, et al. The Montreal Cognitive Assessment, MoCA: a brief screening tool for mild cognitive impairment. *J Am Geriatr Soc*. 2005;53(4):695-699. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2005.53221.x>
18. Zigmund AS, Snaith RP. The hospital anxiety and depression scale. *Acta Psychiatr Scand*. 1983;67(6):361-370. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0447.1983.tb09716.x>
19. Adams HP Jr, Bendixen BH, Kappelle LJ, et al. Classification of subtype of acute ischemic stroke. Definitions for use in a multicenter clinical trial. TOAST. Trial of Org 10172 in Acute Stroke Treatment. *Stroke*. 1993;24(1):35-41. <https://doi.org/10.1161/01.str.24.1.35>
20. Fugl-Meyer AR, Jääskö L, Leyman I, et al. The post-stroke hemiplegic patient. 1. A method for evaluation of physical performance. *Scand J Rehabil Med*. 1975;7(1):13-31.
21. McDonnell M. Action research arm test. *Aust J Physiother*. 2008;54(3):220. [https://doi.org/10.1016/s0004-9514\(08\)70034-5](https://doi.org/10.1016/s0004-9514(08)70034-5)
22. Mathiowetz V, Weber K, Kashman N, Volland G. Adult norms for the Nine Hole Peg Test of finger dexterity. *Am J Occup Ther*. 1985;5(1):24-38. <https://doi.org/10.1177/153944928500500102>
23. Hawker GA, Mian S, Kendzerska T, et al. Measures of adult pain: Visual Analog Scale for Pain (VAS Pain), Numeric Rating Scale for Pain (NRS Pain), McGill Pain Questionnaire (MPQ), Short-Form McGill Pain Questionnaire (SF-MPQ), Chronic Pain Grade Scale (CPGS), and Measure of Intermitent and Constant Osteoarthritis Pain (ICOAP). *Arthritis Care Res (Hoboken)*. 2011;63(suppl 11):240-252. <https://doi.org/10.1002/acr.20543>
24. Shah S, Vanclay F, Cooper B. Improving the sensitivity of the Barthel Index for stroke rehabilitation. *J Clin Epidemiol*. 1989;42(8):703-709. [https://doi.org/10.1016/0895-4356\(89\)90065-6](https://doi.org/10.1016/0895-4356(89)90065-6)
25. Balestroni G, Bertolotti G. EuroQol-5D (EQ-5D): an instrument for measuring quality of life. *Monaldi Arch Chest Dis*. 2012;78(3):155-159. <https://doi.org/10.4081/monaldi.2012.121>
26. Saes M, Mohamed Refai MI, van Beijnum B, et al. Quantifying quality of reaching movements longitudinally post-stroke: a systematic review. *Neurorehabil Neural Repair*. 2022;36(3):183-207. <https://doi.org/10.1177/15459683211062890>
27. Askim T, Indredavik B, Vangberg T, Häberg A. Motor network changes associated with successful motor skill relearning after acute ischemic stroke: a longitudinal functional magnetic resonance imaging study. *Neurorehabil Neural Repair*. 2009;23(3):295-304. <https://doi.org/10.1177/1545968308322840>
28. Schwarz A, Kanzler CM, Lamberg O, et al. Systematic review on kinematic assessments of upper limb movements after stroke. *Stroke*. 2019;50(3):718-727. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.118.023531>
29. Johansen-Berg H, Dawes H, Guy C, et al. Correlation between motor improvements and altered fMRI activity after rehabilitative therapy. *Brain*. 2002;125(Pt 12):2731-2742. <https://doi.org/10.1093/brain/awf282>
30. Chen X, Liu F, Lin S, et al. Effects of virtual reality rehabilitation training on cognitive function and activities of daily living of patients with poststroke cognitive impairment: a systematic review and meta-analysis. *Arch Phys Med Rehabil*. 2022;103(7):1422-1435. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2022.03.012>
31. Tedla JS, Gular K, Reddy RS, et al. Effectiveness of constraint-induced movement therapy (CIMT) on balance and functional mobility in the stroke population: a systematic review and meta-analysis. *Healthcare (Basel)*. 2022;10(3):495. <https://doi.org/10.3390/healthcare10030495>
32. De Wit L, Theuns P, Dejaeger E, et al. Long-term impact of stroke on patients' health-related quality of life. *Disabil Rehabil*. 2017;39(14):1435-1440. <https://doi.org/10.1080/09638288.2016.1200676>
33. White J, Magin P, Attia J, et al. Predictors of health-related quality of life in community-dwelling stroke survivors: a cohort study. *Fam Pract*. 2016;33(4):382-387. <https://doi.org/10.1093/fampra/cmw011>

Поступила 07.11.2022
 Received 07.11.2022
 Принята к печати 17.01.2023
 Accepted 17.01.2023