

## Двигательная реабилитация пациентов в остром периоде инсульта с использованием технологии виртуальной реальности

© А.В. ЗАХАРОВ, Е.В. ХИВИНЦЕВА, С.С. ЧАПЛЫГИН, М.Ю. СТАРИКОВСКИЙ, М.А. ЕЛИЗАРОВ, А.В. КОЛСАНОВ

ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава России, Самара, Россия

### Резюме

**Цель исследования.** Изучение влияния адьювантной реабилитации с использованием виртуальной реальности (ВР) на динамику двигательной функции нижних конечностей у пациентов в остром периоде ишемического инсульта (ИИ).

**Материал и методы.** Проведено исследование оценки эффективности и безопасности реабилитации с использованием ВР у 60 пациентов с нижним центральным парезом в остром периоде ИИ, длительностью от 3 до 5 суток. Пациенты исследуемой группы дополнительно получали реабилитацию с использованием аппаратно-программного комплекса ReviVR, позволяющего стимулировать подошвенную поверхность пациента посредством пневмоманжет синхронно с шагом его анимированного тела. Анимация движения демонстрировалась пациенту посредством очков ВР. Длительность занятий составляла 10 дней по 20—25 мин. Общая длительность реабилитационных мероприятий в группах исследования и сравнения составляла 3—4 ч.

**Результаты.** Обнаружен достоверно выраженный регресс по шкале инсульта Национального института здоровья (NIHSS)  $-3[-4; -1]$  и  $-1[-2; 0]$ ,  $p < 0,001$  и прогресс по индексу мобильности Ривермид (RMI) 3 [1; 3] и 2 [0; 2],  $p < 0,001$  соответственно между исследуемой группой и группой сравнения. Изменения по шкале Фугл-Мейер (FMA-LE) раздел (E-F) возникли на 10-й день, составив 9 [5; 16] и 4 [0; 7],  $p = 0,04$  между группой исследования и сравнения. Успешность выполнения теста FMA-LE вне синергии, в положении стоя, свидетельствовало о повышении готовности пациента к формированию независимой ходьбы.

**Заключение.** Исследование продемонстрировано, что применение реабилитации с использованием ВР повышает эффективность двигательной реабилитации у пациентов с нижним центральным парезом в остром периоде ИИ.

**Ключевые слова:** реабилитация, двигательные функции, инсульт, виртуальная реальность, шкалы оценки двигательной активности.

### Информация об авторах:

Захаров А.В. — <https://orcid.org/0000-0003-1709-6195>

Хивинцева Е.В. — <https://orcid.org/0000-0002-1878-7951>

Чаплыгин С.С. — <https://orcid.org/0000-0002-9027-6670>

Стариковский М.Ю. — <https://orcid.org/0000-0002-2592-6614>

Елизаров М.А. — <https://orcid.org/0000-0002-0520-7268>

Колсанов А.В. — <https://orcid.org/0000-0002-4144-7090>

**Автор, ответственный за переписку:** Захаров А.В. — e-mail: zakharov1977@mail.ru

### Как цитировать:

Захаров А.В., Хивинцева Е.В., Чаплыгин С.С., Стариковский М.Ю., Елизаров М.А., Колсанов А.В. Двигательная реабилитация пациентов в остром периоде инсульта с использованием технологии виртуальной реальности. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2021;121(8 вып. 2):65–69. <https://doi.org/10.17116/jnevro202112108265>

## Motor rehabilitation of patients in the acute period of stroke using virtual reality technology

© A.V. ZAKHAROV, E.V. KHIVINTSEVA, S.S. CHAPLYGIN, M.YU. STARIKOVSKY, M.A. ELIZAROV, A.V. KOLSANOV

Samara State Medical University, Samara, Russia

### Abstract

**Objective.** To study an effect of adjuvant rehabilitation using implicit virtual reality on the dynamics of the motor function of the lower extremities in patients in the acute period of ischemic stroke.

**Materials and methods.** The study was carried out to assess the effectiveness and safety of rehabilitation using virtual reality in 60 patients with lower central paresis in the acute period of ischemic stroke, lasting from 3 to 5 days. Patients of the study group additionally received rehabilitation using the hardware-software complex ReviVR, which allows to stimulate the patient's plantar surface by means of pneumatic cuffs synchronously with the step of his animated body. Animation of movement was demonstrated to the patient using virtual reality glasses. The duration of the classes was 10 days, 20—25 minutes each. The total duration of rehabilitation measures in the study and comparison groups was 3—4 hours.

**Results.** A significant regression on NIHSS (3  $[-4; -1]$  and  $-1[-2; 0]$ ,  $p < 0.001$ ) and a progress on RMI (3 [1; 3] and 2 [0; 2],  $p < 0.001$ , respectively), between the study group and the control group were found. Changes on FMA-LE section (E-F) occurred on day 10, between the study and comparison groups (9 [5; 16] and 4 [0; 7], respectively,  $p = 0.04$ ). The improvement in FMA-LE out of synergy, in the standing position, indicated an increased readiness of the patient to form an independent walk.

**Conclusion.** The study has shown that the use of virtual reality rehabilitation increases the effectiveness of motor rehabilitation in patients with lower central paresis in the acute period of stroke.

**Keywords:** movement rehabilitation, stroke, virtual reality, movement scales.

**Information about the authors:**

Zakharov A.V. — <https://orcid.org/0000-0003-1709-6195>  
Khivintseva E.V. — <https://orcid.org/0000-0002-1878-7951>  
Chaplygin S.S. — <https://orcid.org/0000-0002-9027-6670>  
Starikovskiy M.Yu. — <https://orcid.org/0000-0002-2592-6614>  
Elizarov M.A. — <https://orcid.org/0000-0002-0520-7268>  
Kolsanov A.V. — <https://orcid.org/0000-0002-4144-7090>  
**Corresponding author:** Zakharov A.V. — e-mail: zakharov1977@mail.ru

**To cite this article:**

Zakharov AV, Khivintseva EV, Chaplygin SS, Starikovskiy MYu, Elizarov MA, Kolsanov AV. Motor rehabilitation of patients in the acute period of stroke using virtual reality technology. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry = Zhurnal nevrologii i psikiatrii imeni S.S. Korsakova*. 2021;121(8 vyp 2):65–69. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/jnevro202112108265>

Острое нарушение мозгового кровообращения (ОНМК) является одной из основных причин инвалидизации и наиболее социально-экономически затратной патологией по причине стабильно высокой заболеваемости и стойкости возникающих нарушений функционирования [1]. У большинства пациентов, перенесших инсульт, развивается неврологический дефицит, проявляющийся в основном двигательными, речевыми и когнитивными нарушениями [2]. Восстановление функций на фоне возникшего ОНМК наблюдается за счет активации процессов нейропластичности, выраженность которых максимальна в раннем периоде и снижается по мере увеличения давности ОНМК.

При ОНМК возможно восстановление утраченных функций. Такой вариант развития событий возможен в течение первых 3–6 мес после инсульта, но максимально выражен в первые 30 дней [3] и является результатом реорганизации корковых и подкорковых структур головного мозга [4]. Несмотря на это, полного восстановления функций, как правило, не наблюдается. Раннее восстановление после ОНМК связано с разрешением отека [5] и реперфузией ишемической полутени [6], тогда как позднее восстановление ассоциировано с активацией процессов нейропластичности [7]. При этом возникающие изменения локализируются в интактных областях мозга, корковой и подкорковой локализации [8, 9]. Активация нейропластичности возможна посредством фармакологических методов, а также за счет комплексных реабилитационных мероприятий, на основе персонализированного подхода [10].

В качестве одного из методов активации нейропластичности используется виртуальная реальность (VR), обладая высоким потенциалом при реабилитации после ОНМК, в качестве средства модуляции различных видов биологически обратной связи и реабилитационных задач. [11, 12]. Согласно теории двигательного обучения, интенсивные и повторяющиеся тренировки имеют важное значение для активации нейропластичности при восстановлении нарушенных двигательных функций [13].

Активация или торможение межкортикальных связей моторных и премоторных областей возможна с использованием VR [14, 15]. При обработке визуальной, моторной и проприоцептивной информации [16, 17] активизируются кортико-кортикальные связи между затылочной, лобной и теменной долями, которые используются совместно

в реализации повседневной двигательной активности. Существуют доказательства того, что значительное количество нейронов в моторной, премоторной и теменной областях модулируется визуальной информацией [18], а при наблюдении за анимированным телом пользователя обнаруживаются общие теменно-фронтальные связи за счет формирующейся визуомоторной трансформации [19, 20].

Ранее проведенные исследования продемонстрировали эффективность VR в качестве адьювантного метода двигательной реабилитации у пациентов с ОНМК в качестве метода восстановления двигательной функции нижних конечностей [21].

Адьювантные методы двигательной реабилитации с использованием VR, несмотря на большой интерес к ним, на данный момент остаются не до конца изученными. Недостаточно также информации относительно эффективности такого вида реабилитации на восстановление функции нижних конечностей в остром периоде инсульта, а также скорость проявления эффекта данной реабилитации по сравнению с традиционными методами двигательной реабилитации.

Цель работы — изучение влияния адьювантной реабилитации с использованием VR на динамику двигательной функции с нижних конечностей у пациентов в остром периоде ишемического инсульта (ИИ).

## Материал и методы

В исследование включены 60 пациентов в остром периоде ИИ, находившихся на лечении в неврологическом отделении для больных с ОНМК Регионального сосудистого центра Самарской областной клинической больницы им. В.Д. Середавина с октября 2019 г. по апрель 2020 г.

**Критерии включения:** возраст от 18 до 80 лет; подтвержденный диагноз ИИ в каротидной системе на основании КТ головного мозга, длительностью не более 5 суток; двигательные нарушения функции нижней конечности от 3 и менее баллов по шкале оценки мышечной силы (MRC) на момент включения пациента в исследование; согласие пациента на участие в исследовании и подписанное им информированное согласие.

**Критерии не включения:** наличие сенсорных речевых нарушений, оказывающих влияние на понимание инструкций реабилитолога; какие-либо соматические заболевания;

в стадии декомпенсации или оказывающие влияние на объем реабилитационных мероприятий; когнитивные нарушения (балл по Монреальской шкале оценки когнитивных функций (MoCA) от 19 баллов и ниже); наличие в анамнезе повторных ОНМК; проведение тромболитической терапии по поводу ИИ; наличие каких-либо заболеваний опорно-двигательного аппарата, влияющих на двигательную функцию и ее оценку.

Все пациенты получали терапию по поводу ИИ, а также сопутствующих заболеваний в соответствии со стандартами оказания медицинской помощи. Физическая реабилитация включала в себя занятия лечебной физкультурой, эрготерапию, низкочастотную нервно-мышечную стимуляцию. Общая продолжительность реабилитационных мероприятий составляла от 3 до 4 ч в течение дня. Исследование включало в себя два визита, на которых проводилась оценка по шкалам исследования, на 2—3-й день после инсульта, соответствующего включению в исследование, а также на 14—21-й день от момента возникновения инсульта, являющегося визитом завершения участия в исследовании. На протяжении всего исследования проводился непрерывный мониторинг нежелательных явлений. Отбор пациентов в группы исследования проводился на основе рандомизации.

Исследуемая группа дополнительно получала реабилитационные занятия с использованием, разработанного в ФГБОУ ВО СамГМУ, реабилитационного аппаратно-программного комплекса (АПК) ReviVR, в течение 10 дней по 20—25 мин ежедневно (рис. 1). Пациенту в положении лежа или сидя, посредством установленных очков VR (Oculus Rift), демонстрировалось движение его анимированного тела (виртуального аватара) в виде ходьбы (рис. 2). Каждый шаг виртуального аватара сочетался со стимуляцией подошвенной поверхности пациента посредством расположенных на стопах пневмоманжет.

В качестве оценки выраженность очагового неврологического дефицита использована шкала инсульта Национального института здоровья (NIHSS) [22]. Для оценки степени функционального дефицита использовались шкалы: индекс мобильности Ривермид (RMI) [23], модифицированная шкала Рэнкина (mRS) [24]. Оценка сенсомоторной функции нижней конечности проводилась с использованием шкалы Фулл-Мейер (FMA-LE) [25], для оценки спастичности применялась модифицированная шкала Эшворта (MAS) [26]. Выраженность когнитивных нарушений оценивалась по шкале MoCA [27]. Тестирование по шкале FMA-LE проводилось трижды, а именно: в начале, на пятый и десятые дни от начала реабилитации с целью оценки динамики изменений в группах исследования.

Исследование получило одобрение локального этического комитета (протокол №146 от 14.03.18).

В качестве статистических методов оценки полученных результатов, не имеющих нормальное распределение, использован критерий знаковых рангов Wilcoxon между зависимыми переменными внутри групп исследований, а также *U*-критерий Mann—Whitney при изучении различий между независимыми переменными. Данные представлены в формате: медиана [Q1; Q3].

## Результаты

Возраст пациентов исследуемой группы составил 64 [61; 74] года, в группе сравнения 66 [59; 73] лет. Соотношение мужчин и женщин в группе исследования и группе



Рис. 1. АПК ReviVR.

Fig. 1. Hardware and software complex ReviVR.



Рис. 2. Виртуальная среда, демонстрируемая пациенту в процессе реабилитации на АПК ReviVR.

Fig. 2. The virtual environment demonstrated to the patient during the rehabilitation process on the ReviVR.

сравнения было 16/19 и 15/12 соответственно. ИИ в бассейне левой средней мозговой артерии был диагностирован у 40 пациентов исследуемой группы и 20 пациентов группы сравнения. Локализация ИИ в бассейне правой средней мозговой артерии в группе сравнения наблюдалась у 7 пациентов, в исследуемой группе у 13 пациентов. У пациентов, включенных в исследование, ИИ соответствовал атеротромботическому или неизвестной этиологии соответственно 40/60 в исследуемой группе и 35/65 — в группе сравнения.

Медиана возраста пациентов в исследуемой группе составила 64 [61; 74] года, в группе сравнения — 66 [59; 73] лет.

Пол (м/ж) — 16/19 исследуемая группа; 15/12 — группа сравнения.

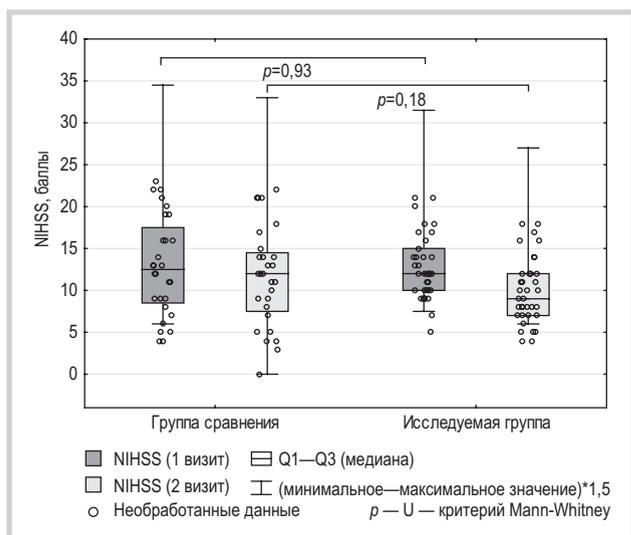
Бассейн локализации инсульта — левая средняя мозговая артерия/правая средняя мозговая артерия — 22/13 исследуемая группа; 20/7 — группа сравнения. Патогенез ишемического инсульта — атеротромботический/неуточненной этиологии 40/60 исследуемая группа; 35/65 — группа сравнения.

На этапе включения в исследование сравниваемые группы не имели различий по выраженности неврологической симптоматики. На заключительном визите выраженности симптомов заболевания на основании шкал ис-

**Таблица 1.** Клинические данные пациентов и их динамика в исследуемых группах (баллы)

Шкала	Группа сравнения		Исследуемая группа	
	1-й визит	2-й визит	1-й визит	2-й визит
NIHSS	13 [10; 15]	10 [7; 12]***	12 [8; 17]	11 [7; 14]***
mRS	4 [4; 4]	3 [3; 4]***	4 [4; 4]	3 [3; 4]***
RMI	1 [1; 2]	4 [3; 5]***	2 [1; 5]	4 [3; 6]***
MoCA	20 [19; 21]	—	23 [22; 24]	—
MAS	1 [0; 2]	1 [0; 1]	0 [0; 2]	0 [0; 1]

*Примечание.* \* —  $p < 0,05$ , \*\* —  $p < 0,01$ , \*\*\* —  $p < 0,001$  различия между данными визитов сравниваемых групп ( $p$  — критерий Wilcoxon).  
*Note.* \* —  $p < 0,05$ , \*\* —  $p < 0,01$ , \*\*\* —  $p < 0,001$  differences between the visit data of the compared groups ( $p$  — Wilcoxon test).



**Рис. 3.** Динамика значений шкалы NIHSS сравниваемых групп в течение исследования.

*Fig. 3.* Dynamics of the NIHSS scale values of the compared groups during the study.

следования достоверно изменялась, в виде значительного улучшения их показателей (табл. 1).

Сравнение данных не выявило достоверных различий значений основных шкал между сравниваемыми группами на завершающем визите (рис. 3).

При этом динамика по данным шкалам значимо отличалась в исследуемой группе (табл. 2).

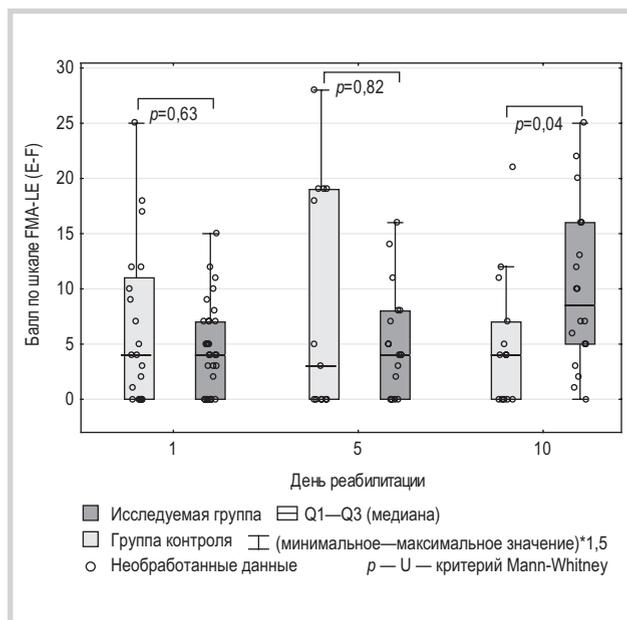
На рис. 4 представлены изменения значений шкалы FMA-LE для нижней конечности с акцентом на оценки двигательной функции. Проведено сравнение раздела «E-F» теста FMA-LE, включающего оценку рефлекторной активности, произвольных синергий, произвольных движений сочетанных с синергией и без нее, а также скорость и координацию движений. Разделы шкалы FMA посвященные оценки чувствительности не анализировались, так как включенные в исследование пациенты имели минимальные сенсорные нарушения или не имели их вовсе.

На момент окончания исследования, после 10 дней реабилитации, различия в исследуемой группе и группе контроля составили 9 [5; 16] и 4 [0; 7],  $p = 0,04$  соответственно. Таким образом, пациенты исследуемой группы демонстри-

**Таблица 2.** Динамика балла по клиническим шкалам в исследуемых группах

Группа	Клиническая шкала		
	NIHSS	RMI	mRS
Исследуемая группа	-3 [-4; -1]***	3 [1; 3]**	0 [-1; 0]
Группа сравнения	-1 [-2; 0]***	2 [0; 2]**	0 [0; 0]

*Примечание.* \* —  $p < 0,05$ , \*\* —  $p < 0,01$ , \*\*\* —  $p < 0,001$  различия между данными визитов сравниваемых групп ( $p$ -U-критерий Mann—Whitney).  
*Note.* \* —  $p < 0,05$ , \*\* —  $p < 0,01$ , \*\*\* —  $p < 0,001$  differences between the visit data of the compared groups ( $p$ -U — Mann—Whitney test).



**Рис. 4.** Динамика значений шкалы оценки двигательной функции нижних конечностей.

*Fig. 4.* Dynamics of the values of the scale for assessing the motor function of the lower limbs.

ровали большую двигательную активность, а именно, были способны выполнять движения, сочетанные с синергиями в положении сидя, а некоторые из пациентов могли выполнять движения вне синергии в положении стоя. Успешность выполнения движений теста FMA-LE вне синергии в положении стоя максимально приближало пациентов к формированию независимой ходьбы.

Мониторинг нежелательных явлений на протяжении всего исследования не выявил каких-либо значимых клинических состояний, которые влияли на интенсивность или объем проводимых реабилитационных мероприятий.

## Заключение

Исследованием продемонстрирована эффективность использования адьювантного метода двигательной реабилитации с использованием ВР у пациентов в остром периоде ИИ с умеренными и выраженными нарушениями двигательной функции нижних конечностей. Все группы исследования продемонстрировали выраженный регресс двигательных нарушений за период наблюдения. При этом,

согласно традиционным клиническим шкалам, не было обнаружено достоверных различий к моменту завершения исследования выраженности неврологического дефицита между исследуемыми группами. Одной из причин этого является комплексность используемых традиционных шкал в оценке всех функциональных систем.

Тщательная оценка двигательной функции с использованием более чувствительных шкал продемонстрировала достоверную эффективность адьювантной двигательной реабилитации с использованием ВР к окончанию исследования.

На протяжении всего времени исследования не было зарегистрировано каких-либо нежелательных явлений, что соответствует высокому профилю безопасности данного

метода двигательной реабилитации у пациентов в остром периоде инсульта.

**Конфликт интересов.** Результаты получены в рамках реализации программы деятельности Лидирующего исследовательского центра, реализующего дорожную карту по «сквозной» цифровой технологии «Технологии виртуальной и дополненной реальности» при финансовой поддержке Минкомсвязи России и АО «РВК» (Договор о предоставлении гранта №003/20 от 17.03.20, идентификатор соглашения о предоставлении субсидии — 0000000007119P190002).

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

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Collaborators GS. Global, regional, and national burden of stroke, 1990–2016: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. *Lancet Neurol.* 2019;18(5):439–458. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(19\)30034-1](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(19)30034-1)
2. Carey LM. *Stroke Rehabilitation*. Oxford: Oxford University Press; 2012. <https://doi.org/10.1093/med/9780199797882.003.0001>
3. Duncan PW, Lai SM, Keighley J. Defining post-stroke recovery: implications for design and interpretation of drug trials. *Neuropharmacology.* 2000;39(5):835–841. [https://doi.org/10.1016/S0028-3908\(00\)00003-4](https://doi.org/10.1016/S0028-3908(00)00003-4)
4. Robert Teasell RV, Madady M, Donaldson S, McClure A, Richardson M. *Stroke Rehabilitation Clinician Handbook*. Canadian Stroke Network; 2014.
5. Hallett M. Plasticity of the human motor cortex and recovery from stroke. *Brain Res. Brain Res. Rev.* 2001;36(2–3):169–174. [https://doi.org/10.1016/S0165-0173\(01\)00092-3](https://doi.org/10.1016/S0165-0173(01)00092-3)
6. Barber PA, Davis SM, Infeld B, Baird AE, Donnan GA, Jolley D, Lichtenstein M. Spontaneous reperfusion after ischemic stroke is associated with improved outcome. *Stroke.* 1998;29:2522–2528. <https://doi.org/10.1161/01.STR.29.12.2522>
7. Nudo R. Adaptive plasticity in motor cortex: implications for rehabilitation after brain injury. *J Rehab Med.* 2003;35(0):7–10. <https://doi.org/10.1080/16501960310010070>
8. Tombari D, Loubinoux I, Pariante J, Gerdelat A, Albuher JF, Tardy J, Casol E, Chollet F. A longitudinal fMRI study: in recovering and then in clinically stable sub-cortical stroke patients. *Neuroimage.* 2004;23(3):827–839. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.07.058>
9. Wang L, Yu C, Chen H, Qin W, He Y, Fan F, Zhang Y, Wang M, Li K, Zang Y, Woodward TS, Zhu C. Dynamic functional reorganization of the motor execution network after stroke. *Brain.* 2010;133(4):1224–1238. <https://doi.org/10.1093/brain/awq043>
10. Kolb B, Teskey GC, Gibb R. Factors influencing cerebral plasticity in the normal and injured brain. *Front Hum Neurosci.* 2010;4:204. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2010.00204>
11. Howells H, Simone L, Borra E, Fonia L, Cerri G, Luppino G. Reproducing macaque lateral grasping and oculomotor networks using resting state functional connectivity and diffusion tractography. *Brain Struct Funct.* 2020;225(8):2533–2551. <https://doi.org/10.1007/s00429-020-02142-2>
12. Aramaki AL, Sampaio RF, Reis ACS, Cavalcanti A, Dutra FCMSE. Virtual reality in the rehabilitation of patients with stroke: an integrative review. *Arq Neuropsiquiatr.* 2019;77(4):268–278. <https://doi.org/10.1590/0004-282x201900025>
13. Kleim JA, Jones TA. Principles of experience-dependent neural plasticity: Implications for rehabilitation after brain damage. *J Speech Lang Hear Res.* 2008;51:225–239. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2008\)018](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2008)018)
14. Leonard G, Tremblay F. Corticomotor facilitation associated with observation, imagery and imitation of hand actions: A comparative study in young and old adults. *Experimental Brain Research.* 2007;177(2):167–175. <https://doi.org/10.1007/s00221-006-0657-6>
15. Laver KE, Lange B, George S, Deutsch JE, Saposnik G, Crotty M. Virtual reality for stroke rehabilitation. *Cochrane Database of Systematic Reviews.* 2017;11(1):CD008349.
16. Dum RP, Strick PL. Frontal lobe inputs to the digit representations of the motor areas on the lateral surface of the hemisphere. *Journal of Neuroscience.* 2005;25(6):1375–1386. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.3902-04.2005>
17. Borra E, Luppino G. Functional anatomy of the macaque temporo-parieto-frontal connectivity. *Cortex.* 2017;97:306–326. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2016.12.007>
18. Ertelt D, Small S, Solodkin A, Dettmer, C, McNamara A, Binkofski F, Buccino G. Action observation has a positive impact on rehabilitation of motor deficits after stroke. *NeuroImage.* 2007;36:164–173. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.03.043>
19. Adamovich SV, Fluet GG, Tunik E, Merians AS. Sensorimotor training in virtual reality: A review. *NeuroRehabilitation.* 2009;25(1):29–44. <https://doi.org/10.3233/nre-2009-0497>
20. Mellet E, Laou L, Petit L, Zago L, Mazoyer B, Tzourio-Mazoyer N. Impact of the virtual reality on the neural representation of an environment. *Human Brain Mapping.* 2009;31(7):1065–1075. <https://doi.org/10.1002/hbm.20917>
21. Zakharov AV, Khivintseva EV, Bulanov VA, Kolsanov AV, Bushkova YV, Ivanova GE. Stroke affected lower limbs rehabilitation combining virtual reality with tactile feedback. *Frontiers in Robotics and AI.* 2020;7:81. <https://doi.org/10.3389/frobt.2020.00081>
22. Brott T, Adams HP Jr, Olinger CP, Marler JR, Barsan WG, Biller J, Spilker J, Holleran R, Eberle R, Hertzberg V. Measurements of acute cerebral infarction: a clinical examination scale. *Stroke.* 1989;20(7):864–870. <https://doi.org/10.1161/01.str.20.7.864>
23. Antonucci G, Aprile T, Paolucci S. Rasch analysis of the Rivermead Mobility Index: a study using mobility measures of first-stroke inpatients. *Arch Phys Med Rehabil.* 2002;83(10):1442–1449. <https://doi.org/10.1053/apmr.2002.34618>
24. Wilson JL, Hareendran A, Grant M, Braid T, Schulz UGR, Muir KW, Bone I. Improving the Assessment of Outcomes in Stroke: Use of a Structured Interview to Assign Grades on the Modified Rankin Scale. *Stroke.* 2002;33(9):2243–2246. <https://doi.org/10.1161/01.STR.0000027437.22450.BD>
25. Gladstone DJ, Danells CJ, Black SE. The Fugl-Meyer assessment of motor recovery after stroke: a critical review of its measurement properties. *Neurorehabil Neural Repair.* 2002;16(3):232–240. <https://doi.org/10.1177/154596802401105171>
26. Blackburn M, van Vliet P, Mockett SP. Reliability of measurements obtained with the modified Ashworth scale in the lower extremities of people with stroke. *Phys Ther.* 2002;82(1):25–34. <https://doi.org/10.1093/ptj/82.1.25>
27. Goldstein FC, Ashley AV, Miller E, Alexeeva O, Zanders L, King V. Validity of the Montreal Cognitive Assessment as a Screen for Mild Cognitive Impairment and Dementia in African Americans. *Journal of Geriatric Psychiatry and Neurology.* 2014;27(3):199–203. <https://doi.org/10.1177/0891988714524630>

Поступила 25.06.2021  
Received 25.06.2021  
Принята к печати 30.06.2021  
Accepted 30.06.2021