



## Оценка эффективности применения комплексной программы реабилитации с использованием технологий виртуальной реальности: проспективное когортное исследование 59 пациентов с повреждением ротаторной манжеты плеча

Колышенков В.А.\*, Просвирин А.Н.

Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России, Москва, Россия

### РЕЗЮМЕ

**ЦЕЛЬ.** Оценить эффективность комплексной программы реабилитации пациентов с повреждением ротаторной манжеты плеча с использованием технологии виртуальной реальности.

**МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ.** В рамках исследования было обследовано 59 пациентов, 29 (49,2%) мужского и 30 (50,8%) женского пола, средний вес составил 79 [70,00;87,50] кг, средний рост – 1,72 [1,63;1,78] м, средний возраст – 48 [32,00;54,00] лет, рандомизировано разделенных на две группы. В контрольную группу было включено 30 пациентов, среди которых было 16 мужчин и 14 женщин, средний возраст составил 47,00 [27,00;54,00] лет, средний рост и вес составили 1,71 [1,63;1,78] м и 77,50 [70,50;88,25] кг соответственно. Пациенты контрольной группы получали стандартную методику реабилитации. Основную группу составили 29 человек, 13 мужчин и 16 женщин, средний возраст которых составил 48 [39,50;56,50] лет, средний рост 1,72 [1,62;1,78] м, средний вес 81,00 [70,00;86,00] кг, которые на фоне стандартного метода получали занятия с включением технологий виртуальной реальности.

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.** В ходе проведенного исследования отмечалась положительная динамика болевого синдрома, улучшения функционального состояния плечевого сустава по результатам опросника DASH, увеличение объема движений в плечевом суставе. Средние показатели динамической силы и мышечной выносливости и производительности в тесте «вращение внутрь/наружу» возросли на 58% и 68,5%. В тестах «приведение/отведение» силовые показатели пациентов с повреждениями ротаторной манжеты плеча увеличились на 67,5%, а мышечная выносливость и производительность в среднем на 82,3%. По результатам изокинетического тестирования рост силовых значений в тесте «разгибание/сгибание» составил 64,5%, а мышечной выносливости и производительности – 79%.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** Включение технологий виртуальной реальности на этапе медицинской реабилитации пациентов с повреждениями ротаторной манжеты плеча позволяет существенно снизить болевой синдром в плечевом суставе, улучшить функционирование верхней конечности, увеличить объем движений в суставе, а также существенно повысить силовые показатели и показатели мышечной выносливости и производительности.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** реабилитация, ротаторная манжета плеча, повреждения ротаторной манжеты плеча, изокинетическое тестирование, биомеханика

**Для цитирования:** Kolyshenkov V.A., Prosvirnin A.N. Evaluation of the Effectiveness of the Virtual Reality Technologies Comprehensive Rehabilitation Program Application: a Prospective Cohort Study of 59 Patients with Rotator Cuff Injury. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2022; 21 (4): 159-172. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2022-21-4-159-172>

\*Для корреспонденции: Колышенков Василий Андреевич e-mail: [vasiliy4kol@gmail.com](mailto:vasiliy4kol@gmail.com)

Статья получена: 15.06.2022

Поступила после рецензирования: 19.07.2022

Статья принята к печати: 27.07.2022

# Evaluation of the Effectiveness of the Virtual Reality Technologies Comprehensive Rehabilitation Program Application: a Prospective Cohort Study of 59 Patients with Rotator Cuff Injury

Vasiliy A. Kolyshekov\*, Andrey N. Prosvirnin

National Medical Research Center of Rehabilitation and Balneology, Moscow, Russian Federation

## ABSTRACT

**AIM.** To evaluate the effectiveness of the comprehensive rehabilitation program for patients with rotator cuff injury using virtual reality technology.

**MATERIAL AND METHODS.** The study examined 59 patients, 29 (49.2%) male and 30 (50.8%) female, the average weight was 79 [70.00;87.50] kg, the average height was 1.72 [1.63;1.78] m, the average age was 48 [32.00;54.00] years, randomly divided into two groups. The control group consisted of 30 patients, including 16 men and 14 women, the average age was 47.00 [27.00;54.00] years, the average height and weight were 1.71 [1.63;1.78] m and 77.50 [70.50;88.25] kg, respectively. Patients of the control group received a standard rehabilitation methodology. The study group consisted of 29 people, 13 men and 16 women, mean age 48 [39.50;56.50] years, mean height 1.72 [1.62;1.78] m, mean weight 81.00 [70.00;86.00] kg, who received classes with the inclusion of virtual reality technologies against the background of the standard method.

**RESULTS AND DISCUSSION.** The study showed a positive dynamics of pain syndrome, an improvement of the functional state of the shoulder joint according to the results of the DASH questionnaire, an increase in the volume of the shoulder joint motions. The average indicators of dynamic strength and muscular endurance and performance in the "inward/outward rotation" test increased by 58% and 68.5%. In the "adduction/abduction" tests, the strength indicators of patients with rotator cuff tears increased by 67.5%, and muscle endurance and performance by an average of 82.3%. According to the results of isokinetic testing, the growth of strength values in the "extension / flexion" test was 64.5%, and muscle endurance and performance were 79%.

**CONCLUSION.** The inclusion of virtual reality technologies at the stage of medical rehabilitation of patients with rotator cuff injuries can significantly reduce shoulder pain, improve upper extremity functioning, increase joint range of motion, and significantly improve strength, muscular endurance and performance.

**KEYWORDS:** rehabilitation, rotator cuff, rotator cuff injury, isokinetic testing, biomechanic

**For citation:** Kolyshekov V.A., Prosvirnin A.N. Evaluation of the Effectiveness of the Virtual Reality Technologies Comprehensive Rehabilitation Program Application: a Prospective Cohort Study of 59 Patients with Rotator Cuff Injury. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2022; 21 (4): 159-172. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2022-21-4-159-172>

\***For correspondence:** Vasiliy A. Kolyshekov, e-mail: vasily4kol@gmail.com

**Received:** Jun 15, 2022

**Revised:** Jul 19, 2022

**Accepted:** Jul 27, 2022

## ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия актуальность проблемы реабилитации пациентов с заболеваниями плечевого сустава значительно возросла. По данным большинства исследователей патология плечевого сустава составляет до 55% от всех патологических заболеваний крупных суставов [1-3]. По своим количественным характеристикам заболевания плечевого сустава приближаются к эпидемии в Швеции, Великобритании, Японии и США [4-6].

Повреждения плечевого сустава, имеющего самое большое число степеней свободы и являющегося наиболее сложно организованным суставом опорно-двигательного аппарата, существенно снижают качество жизни пациентов. В связи с чем, восстановление функции плечевого сустава – один из самых сложных разделов в физической и реабилитационной медицине, имеющий серьезное социальное значение. Сегодня повреждения вращательной манжеты, протекающие с длительным болевым синдромом и нарушением функции, становятся ведущей причиной временной или стойкой утраты трудоспособности пациентов различных возрастных групп [7].

Сравнительно недавно в практику физической и реабилитационной медицины начали внедряться технологии виртуальной реальности, которые не только позволяют моделировать различные двигательные стереотипы в иммерсивной среде и оценивать характер движения, с последующим программным анализом данных, но и способствуют вовлечению пациента в процесс реабилитации в качестве мотивирующего инструмента [8-10].

## ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Оценить эффективность комплексной программы реабилитации пациентов с повреждением ротаторной манжеты плеча с использованием технологии виртуальной реальности.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В рамках исследования было обследовано 59 пациентов, 29 (49,2%) мужского и 30 (50,8%) женского пола, средний вес составил 79 [70,00;87,50] кг, средний рост – 1,72 [1,63;1,78] м, средний возраст – 48 [32,00;54,00] лет, рандомизировано разделенных на две группы.

В контрольную группу было включено 30 пациентов,

среди которых было 16 мужчин и 14 женщин, средний возраст составил 47,00 [27,00;54,00] лет, средний рост и вес составили 1,71 [1,63;1,78] м и 77,50 [70,50;88,25] кг соответственно. Пациенты контрольной группы получали стандартную методику реабилитации.

Основную группу составили 29 человек, 13 мужчин и 16 женщин, средний возраст которых составил 48 [39,50;56,50] лет, средний рост – 1,72 [1,62;1,78] м, средний вес – 81,00 [70,00;86,00] кг, которые на фоне стандартного метода получали занятия с включением технологий виртуальной реальности.

При сборе жалоб существенное внимание уделяли специфическому болевому синдрому в области плечевого сустава. Учитывая жалобы на болевой синдром в области плечевого сустава, все пациенты проходили клинический осмотр у невролога. Обследование позволило исключить вертеброгенную патологию и подтвердить наличие неспецифического болевого синдрома в области плечевого сустава.

Для оценки степени выраженности болевого синдрома в плечевом суставе использовалась визуальная аналоговая шкала (ВАШ). Этот метод субъективной оценки боли заключался в том, что пациента просили отметить на цветной линейке длиной 10 см точку, которая соответствует степени выраженности боли, учитывая субъективную оценку общего состояния (личная и профессиональная жизнь, спортивная деятельность и повседневная активность и т.д.). Левая граница линии соответствует определению «боли нет», правая – «сильнейшая боль, которую вы можете себе представить». Использовалась бумажная или картонная линейка длиной 10 см. На линейке были нанесены сантиметровые

Всем пациентам до и после прохождения курса реабилитации было предложено заполнить опросник функционального состояния верхней конечности DASH (Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand).

Опросник представляет из себя анкету из 30 пунктов, которые описывают способность пациента выполнять определенные действия верхней конечностью. Оценка каждого из пунктов проводится по 5-балльной шкале Лайкерта.

Подсчет баллов осуществляется по шкале от 0 (нет нарушения функции) до 100 баллов (максимальное

нарушение функции), чем выше балл, тем выше степень нарушения функции.

Клиническое обследование всех пациентов включало общий осмотр и проведение специальных тестов.

Были проведены специфические тесты, определяющие объем движений в плечевом суставе: сгибание, разгибание, отведение, приведение, наружная и внутренняя ротация. Регистрация объема движений проводилась с использованием медицинского гониометра. Также были проведены специфические тесты вращательной манжеты плечевого сустава: симптом импиджмента Neer, симптом Hawkins-Kennedy, тест надостной мышцы Jobe, тест подостной мышцы, тест «Belly-Press» (симптом Наполеона), тест отрыва Gerber («Lift-off»).

Особое внимание было уделено осмотру, пальпации и тестированию мышечного тонуса мышц вращательной манжеты плеча: надостной, подостной, малой круглой и подлопаточной.

Изокинетическое тестирование проводилось с использованием универсального динамометра «CON-TREX MJ» (Physiomed, Германия) в соответствии с рекомендациями Швейцарского общества физиотерапии. Для проведения изокинетического тестирования были выбраны следующие тесты: вращение внутрь/наружу, отведение/приведение, сгибание/разгибание. Изокинетические тесты «вращение внутрь» и «вращение наружу» были выбраны для оценки непосредственно функции вращательной манжеты плеча, тесты «отведение/приведение», «сгибание/разгибание» для более точной оценки функции верхней конечности в целом.

Тестирование «вращение внутрь/наружу» проводилось лежа на спине. Локоть согнут под углом 90°, верхняя конечность отведена в плечевом суставе на 90° (рис. 1). Рукоятка динамометра устанавливалась индивидуально в соответствии с длиной конечности пациента. Ось вращения динамометра совпадала с осью вращения в плечевом суставе. Максимально допустимый объем движений в тесте был ограничен 90° движений наружной ротации и 80° внутренней ротации. За нулевую точку отсчета принималось нейтральное положение отведения в плечевом суставе равное 90° и сгибанию в локтевом суставе в 90°.

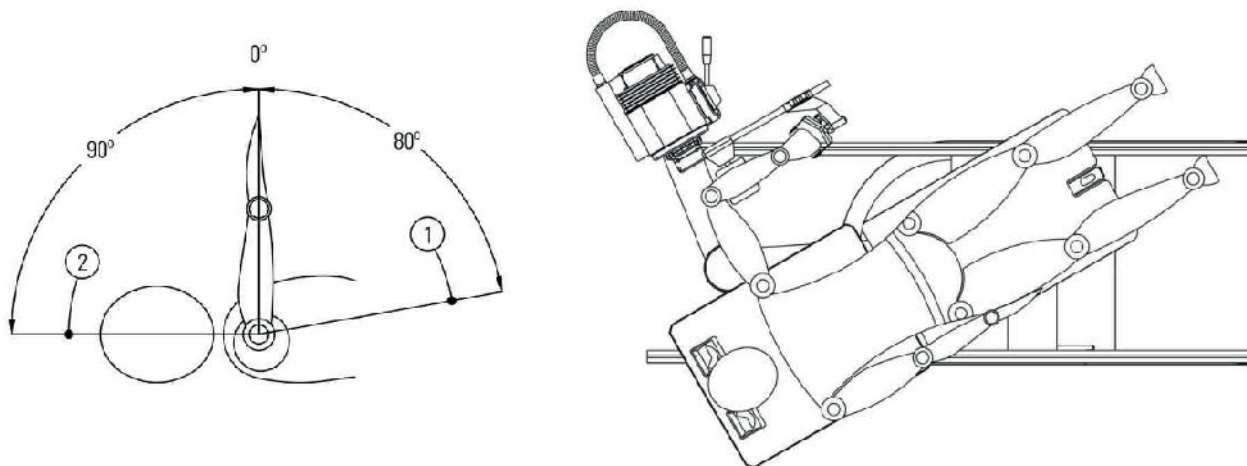
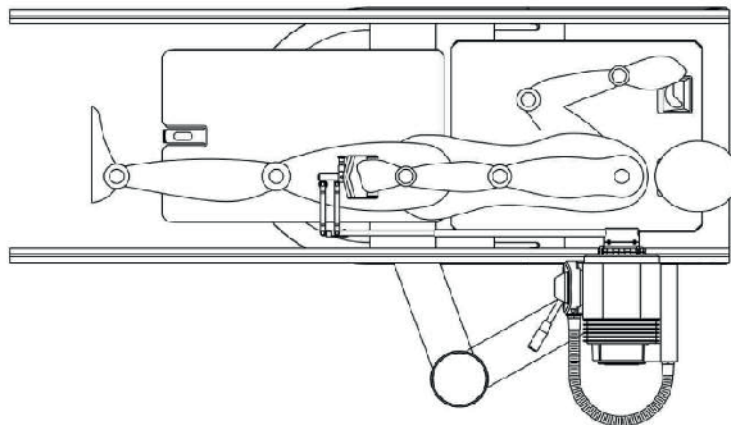
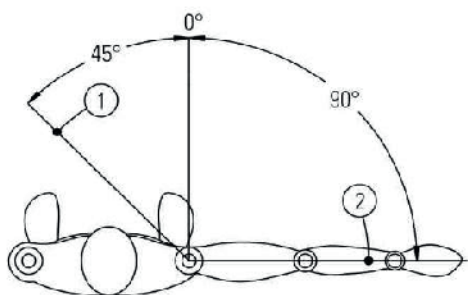


Рис. 1. Схема проведения теста «вращение внутрь/наружу»

Fig. 1. Inward/outward rotation test

Изокинетический тест в движении «отведение/приведение» выполнялся лежа на боку, ноги слегка согнуты в коленных суставах. Рукоятка динамометра устанавливалась индивидуально в соответствии с длиной конечности пациента. Ось вращения динамометра совпадала с осью вращения в плечевом суставе. Максимально допустимый объем движений в тесте был ограничен

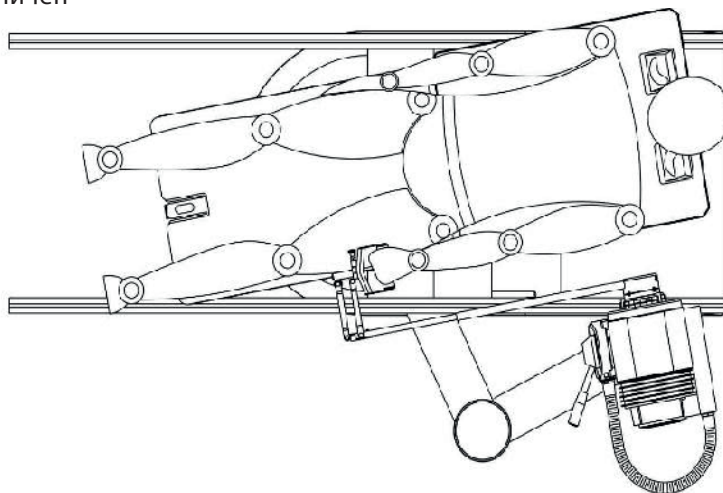
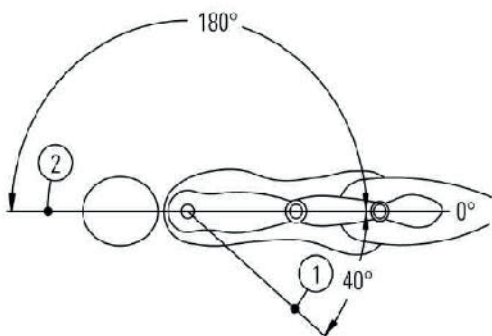
90°. За нулевую точку отсчета в тесте «отведение» принималось положение верхней конечности, максимально прижатой к телу пациента со стороны исследуемой конечности в положении «лежа на спине». За нулевую точку отсчета в тесте «приведение» принималось максимальное значение безболезненной амплитуды отведения в плечевом суставе (рис.2).



**Рис. 2.** Схема проведения теста «приведение/отведение»  
**Fig. 2.** Adduction / Abduction test

Изокинетический тест в движении «сгибание/разгибание» выполнялся лежа на спине, ноги слегка согнуты в коленных суставах, стопы оперты о кушетку, голова лежит на валике. Рукоятка динамометра устанавливалась индивидуально в соответствии с длиной конечности пациента. Ось вращения динамометра совпадала с осью вращения в плечевом суставе. Максимально допустимый объем движений в тесте был ограничен

90°. За нулевую точку отсчета в тесте «отведение» принималось положение верхней конечности, максимально прижатой к телу пациента со стороны исследуемой конечности в положении «лежа на боку». За нулевую точку отсчета в тесте «приведение» принималось максимальное значение безболезненной амплитуды разгибания в плечевом суставе (рис. 3).



**Рис. 3.** Схема проведения теста «сгибание/разгибание»  
**Fig. 3.** Flexion/extension diagram

На первичном приеме врача по лечебной физкультуре у пациента проводили сбор анамнеза, выполнялись функциональные тесты, а также оценивалась степень болевых ощущений по ВАШ и функционального состояния плечевого сустава по опроснику DASH, проводилось обучение правильности выполнения упражнений и давались дальнейшие рекомендации касательно курса реабилитации.

После проведенного осмотра, сбора анамнеза, оценки по шкалам ВАШ и DASH, проведения функ-

циональных тестов пациентам составляли индивидуальную программу реабилитации, основанную на полученных выше данных. Программа могла корректироваться в зависимости от полученных данных и степени активности заболевания. В программу включали занятия по лечебной физической культуре, проводимой групповым методом, процедуры массажа области плечевого сустава и области надплечья, физиотерапевтические процедуры, такие как магнитотерапия, физиотерапия, а также процедуры виртуальной реаль-

ности с использованием оригинального программного обеспечения.

Комплекс упражнений лечебной физкультуры состоял из нескольких упражнений, направленных на увеличение активного и пассивного объема движений, снижения уровня боли и минимизации отека. Комплекс включал в себя упражнения, выполняемые в различных типах мышечной работы, темпе и числе повторений, направленные на улучшение функционального состояния плечевого сустава, увеличения объема движений, развитие координационных способностей, увеличение силы и выносливости мышц вращающей манжеты плеча, а также мышц, окружающих плечевой сустав.

Также пациентам после занятий лечебной физической культурой предлагалось выполнять занятия в виртуальной реальности. Перед началом процедуры пациенту объясняли механику занятий в виртуальной среде, его цели и задачи. На голову пациента надевали шлем виртуальной реальности. После этого происходила настройка шлема под индивидуальные физиологические особенности пациента, фокусное расстояние, межзрачковое расстояние, размер шлема. В руках у пациента находились джойстики для взаимодействия с виртуальной средой. Виртуальная среда представляла из себя нейтральное окружение, в котором пациенту было комфортно находиться. Задачей пациента в виртуальной реальности являлось провести специальное кольцо по трубе (с минимальным количеством ошибок), которая изменяла свою форму в зависимости от выбранного уровня сложности, которое полностью повторяло движения джойстика в виртуальной среде. При касании кольца и трубы раздавался сигнал и вибрация на джойстике, что подразумевало под собой ошибку. Время выполнения одной сессии ограничивалось 5 минутами. После выполнения задания и небольшого перерыва равного примерно 1 минуте, сессия повторялась.

После занятий в виртуальной реальности пациентам выполнялся массаж области плеча и надплечья, а также процедуры магнитотерапии и лазерной терапии.

**Критериями включения являлись:** возраст от 18 до 66 лет вне зависимости от пола, установленный

диагноз «повреждение вращательной манжеты плеча, не ранее чем 2 месяца после оперативного вмешательства», наличие добровольно подписанного информированного согласия.

**Критериями не включения являлись:** возраст моложе 18 лет и старше 66 лет, острые инфекционные и воспалительные заболевания с высокой температурой тела и общей интоксикацией, острый период заболевания и его прогрессирующее течение, злокачественные новообразования до их радикального лечения, злокачественные новообразования с метастазами, выраженные психические заболевания, наличие инородного тела вблизи крупных сосудов и нервных стволов, острые нарушения коронарного и мозгового кровообращения, острые тромбозы и эмболии, нарастание сердечно-сосудистой недостаточности с декомпенсацией кровообращения и дыхания, кровотечения, общее тяжелое состояние больного, значительно выраженный болевой синдром по ВАШ (9-10 баллов), атриовентрикулярная блокада, обострение хронических заболеваний, появление признаков, свидетельствующих о прогрессировании заболевания и ухудшении состояния больного, нарушение ритма сердечных сокращений: синусовая тахикардия (свыше 100 уд./мин.), брадикардия (менее 50 уд./мин.), приступ пароксизмальной или мерцательной аритмии, экстрасистолы с частотой более чем 1:10, выраженный остеопороз, беременность и планирование беременности в ближайшие 2 месяца, отказ пациента подписать информированное согласие на участие в исследовании, участие пациента параллельно в других клинических исследованиях.

**Критериями исключения являлись:** несоблюдение пациентом протокола исследования, наличие нежелательных явлений в ходе исследования.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

После проведенного курса реабилитации все пациенты отмечали положительную динамику болевого синдрома в плечевом суставе по шкале ВАШ, как сразу после лечения, так и в отдаленном периоде.

**Таблица 1.** Динамика показателей болевого синдрома по ВАШ в исследуемых группах

**Table 1.** Dynamics of pain scores according to the VAS in the study groups

|   | Основная группа /<br>Study group | Контрольная группа /<br>Control group | p        |
|---|----------------------------------|---------------------------------------|----------|
| Уровень болевого синдрома до начала реабилитации / Pain level before rehabilitation           | 6,00 [5,00;7,00]                 | 6,00 [5,00;7,00]                      | 0,576    |
| Уровень болевого синдрома после курса реабилитации / Pain level after rehabilitation          | 2,00 [1,00;3,00]Δ                | 4,00 [2,00;5,00]Δ                     | < 0,001* |
| Уровень болевого синдрома через 6 месяцев после курса реабилитации / Pain level after 6 month | 1,00 [0,00;1,00]#                | 1,00 [1,00;2,00]#                     | 0,002*   |

**Примечание:** \* – различия показателей статистически значимы ( $p < 0,05$ ), используемый метод: метод: U–критерий Манна–Уитни; Δ – различия показателей статистически значимы (до и после реабилитации) ( $p < 0,001$ ), используемый метод: критерий Уилкоксона; # – различия показателей статистически значимы (до и через 6 месяцев после курса реабилитации) ( $p < 0,001$ ), используемый метод: критерий Уилкоксона

**Note:** \* – Indicator differences are statistically significant ( $p < 0.05$ ), method used: Mann-Whitney U-Criterion Δ – Indicator differences statistically significant (before and after rehabilitation) ( $p < 0.001$ ), method used: Wilcoxon Criterion; # – differences in performance are statistically significant (before and 6 months after rehabilitation) ( $p < 0.001$ ), method used: Wilcoxon criterion

После прохождения курса реабилитации, уровень боли достоверно значимо снизился в обеих исследуемых группах: в группе с применением технологии виртуальной реальности болевой синдром снизился с 6,00 [5,00;7,00] баллов до 2,00 [1,00;3,00] баллов ( $p < 0,001$ ), а в группе с использованием стандартного метода – с исходного уровня до 4,00 [2,00;5,00] баллов ( $p < 0,001$ ), однако более выраженная степень снижения болевого синдрома была достигнута в основной группе (табл. 1).

Через 6 месяцев после лечения, при контрольном визите, в основной группе и группе сравнения сохранялась положительная динамика в отношении снижения

болевого синдрома. Уровень болевых ощущений по ВАШ соответствовал 1,00 [0,00;1,00] балла в основной группе и статистически значимо отличался от результатов пациентов контрольной группы (1,00 [1,00;2,00],  $p = 0,002$ ).

До начала курса реабилитации пациенты основной и контрольной групп предъявляли жалобы на снижение уровня функционирования верхней конечности, что проявлялось в невозможности полноценно использовать оперированную конечность при выполнении бытовой активности.

**Таблица 2.** Динамика показателей опросника DASH в исследуемых группах

**Table 2.** Dynamics of DASH scores in the study groups

|  | Основная группа /<br>Study group | Контрольная группа/<br>Control group | p      |
|--|----------------------------------|--------------------------------------|--------|
| Баллы опросника DASH до начала реабилитации / DASH score before rehabilitation           | 63,33 [56,17;65,83]              | 64,17 [56,54;67,29]                  | 0,485  |
| Баллы опросника DASH сразу после курса реабилитации/ DASH score after rehabilitation     | 39,17 [35,00;40,83]Δ             | 41,25 [39,17;43,96]Δ                 | 0,039* |
| Баллы опросника DASH через 6 месяцев после курса реабилитации / DASH score after 6 month | 11,66 [9,16;13,30]#              | 12,65 [11,60;13,95]#                 | 0,030* |

**Примечание:** \* – различия показателей статистически значимы ( $p < 0,05$ ), используемый метод: метод: U–критерий Манна–Уитни; Δ – различия показателей статистически значимы (до и после реабилитации) ( $p < 0,001$ ), используемый метод: критерий Уилкоксона; # – различия показателей статистически значимы (до и через 6 месяцев после курса реабилитации) ( $p < 0,001$ ), используемый метод: критерий Уилкоксона

**Note:** \* – Indicator differences are statistically significant ( $p < 0,05$ ), method used: Mann-Whitney U-Criterion Δ – Indicator differences statistically significant (before and after rehabilitation) ( $p < 0,001$ ), method used: Wilcoxon Criterion; # – differences in performance are statistically significant (before and 6 months after rehabilitation) ( $p < 0,001$ ), method used: Wilcoxon criterion

После прохождения курса лечения уровень функционирования верхней конечности по результатам опросника DASH достоверно значимо улучшился в основной и контрольной группе. В группе с применением технологий виртуальной реальности результаты опросника DASH статистически достоверно снизились с 63,33 [56,17;65,83] до 39,17 [35,00;40,83] баллов ( $p < 0,001$ ), в группе стандартного метода – с 64,17 [56,54;67,29] до 41,25 [39,17;43,96] баллов ( $p < 0,001$ ), однако пациенты, которые получали лечение с использованием технологий виртуальной реальности показали более

выраженное достоверно значимое улучшение ( $p = 0,039$ ) по результатам опросника DASH (табл. 2).

В отдаленном периоде, через 6 месяцев, у пациентов исследуемых групп сохранялась стойкая положительная динамика в отношении улучшения функционального состояния верхней конечности, однако более выраженное улучшение отмечалось в группе с использованием методов виртуальной реальности ( $p = 0,030$ ) (табл. 2). До начала курса реабилитации снижение объема движений в плечевом суставе отмечалось у пациентов всех исследуемых групп.

**Таблица 3.** Динамика показателей объема движений в плечевом суставе (отведение) в исследуемых группах

**Table 3.** Dynamics of shoulder range of motion (abduction) in the study groups

|   | Основная группа /<br>Study group | Контрольная группа /<br>Control group | p      |
|---|----------------------------------|---------------------------------------|--------|
| Отведение (град.) до начала реабилитации / Adduction ROM before rehabilitation          | 44,00 [35,00;55,00]              | 42,50 [34,25;53,50]                   | 0,485  |
| Отведение (град.) сразу после курса реабилитации / Adduction ROM after rehabilitation   | 85,00 [72,00;89,00]Δ             | 72,00 [59,25;86,50]Δ                  | 0,039* |
| Отведение (град.) через 6 месяцев после курса реабилитации/ Adduction ROM after 6 month | 111,00 [98,00;124,00]#           | 97,00 [90,00;105,00]#                 | 0,030* |

**Примечание:** \* – различия показателей статистически значимы ( $p < 0,05$ ), используемый метод: метод: U–критерий Манна–Уитни; Δ – различия показателей статистически значимы (до и после реабилитации) ( $p < 0,001$ ), используемый метод: критерий Уилкоксона; # – различия показателей статистически значимы (до и через 6 месяцев после курса реабилитации) ( $p < 0,001$ ), используемый метод: критерий Уилкоксона

**Note:** \* – Indicator differences are statistically significant ( $p < 0,05$ ), method used: Mann-Whitney U-Criterion Δ – Indicator differences statistically significant (before and after rehabilitation) ( $p < 0,001$ ), method used: Wilcoxon Criterion; # – differences in performance are statistically significant (before and 6 months after rehabilitation) ( $p < 0,001$ ), method used: Wilcoxon criterion

После прохождения курса реабилитации в основной группе объем движений в отведении достоверно

увеличился с 44,00 [35,00;55,00] градусов до 85,00 [72,00;89,00] градусов ( $p < 0,001$ ), в группе с применением стандартного метода объем движений статистически значимо возрос с 42,50 [34,25;53,50] градусов до 72,00 [59,25;86,50] градусов ( $p < 0,001$ ), однако более выраженные изменения были достигнуты в группе с применением технологии виртуальной реальности ( $p = 0,039$ ) (табл. 3).

При контрольном визите, через 6 месяцев после прохождения курса реабилитации, во всех исследуемых группах отмечалась положительная динамика в объеме движений. В основной группе объем движений составил 111,00 [98,00;124,00] градусов ( $p < 0,001$ ),

в тоже время в контрольной группе был отмечен на уровне 97,00 [90,00;105,00] градусов ( $p < 0,001$ ). Тем не менее более лучшая динамика была достигнута в основной группе ( $p = 0,030$ ) (табл. 3).

При проведении анализа динамики объема движений в плечевом суставе в сгибании отмечалось, что объем движений у пациентов основной группы статистически значимо увеличился до 97,00 [87,00;112,00] град ( $p < 0,001$ ), в тоже время в группе стандартного метода объем движений возрос до 86,00 [79,50;99,00] градусов ( $p < 0,001$ ), однако более выраженные изменения были достигнуты в группе с включением технологий виртуальной реальности ( $p = 0,031$ ) (табл. 4).

**Таблица 4.** Динамика показателей объема движений (сгибание) в плечевом суставе в исследуемых группах

**Table 4.** Dynamics of shoulder range of motion (flexion) in the study groups

|  | Основная группа /<br>Study group | Контрольная группа /<br>Control group | p      |
|--|----------------------------------|---------------------------------------|--------|
| Сгибание (град.) до начала реабилитации / Flexion ROM before rehabilitation          | 64,00 [52,00;76,00]              | 59,00 [54,00;72,00]                   | 0,970  |
| Сгибание (град.) сразу после курса реабилитации / Flexion ROM after rehabilitation   | 97,00 [87,00;112,00]Δ            | 86,00 [79,50;99,00]Δ                  | 0,031* |
| Сгибание(град.) через 6 месяцев после курса реабилитации / Flexion ROM after 6 month | 117,00 [105,00;135,00]#          | 104,00 [96,25;120,00]#                | 0,032* |

**Примечание:** \* – различия показателей статистически значимы ( $p < 0,05$ ), используемый метод: U–критерий Манна–Уитни; Δ – различия показателей (до и после лечения) статистически значимы ( $p < 0,05$ ), используемый метод: критерий Уилкоксона;

# – различия показателей (до и через 6 месяцев) статистически значимы ( $p < 0,05$ ), используемый метод: критерий Уилкоксона  
**Note:** \* – Indicator differences are statistically significant ( $p < 0.05$ ), method used: Mann-Whitney U-Criterion Δ – Indicator differences statistically significant (before and after rehabilitation) ( $p < 0.05$ ), method used: Wilcoxon Criterion; # – differences in performance are statistically significant (before and 6 months after rehabilitation) ( $p < 0.05$ ), method used: Wilcoxon criterion

Через 6 месяцев, при контрольном обследовании, положительная динамика наблюдалась во всех исследуемых группах, так в группе с использованием технологий виртуальной реальности объем движений статистически значимо возрос до 117,00 [105,00;135,00] градусов как по сравнению с исходными результатами ( $p < 0,001$ ), так и со значениями после проведенного курса реабилитационного лечения ( $p < 0,001$ ), в тоже время в группе стандартного метода объем движений достоверно увеличился до 104,00 [96,25;120,00] градусов ( $p < 0,001$ ).

Более выраженная динамика была зафиксирована в основной группе ( $p = 0,032$ ) (табл. 4).

После анализа полученных данных изокINETической динамометрии в тесте «вращение внутрь» отмечались статистически достоверные изменения, динамической силы (максимальный крутящий момент, средний крутящий момент, средний крутящий момент/кг), так и мышечной выносливости и производительности (средняя мощность и средняя работа), как сразу после лечения, так и в отдаленном периоде.

**Таблица 5.** Динамика показателей изокINETической динамометрии в тесте «вращение внутрь» у пациентов исследуемых групп

**Table 5.** Dynamics of isokinetic dynamometry in the inward rotation test in the study groups

|  | «Вращение внутрь» /<br>«Inward rotation» | Основная группа /<br>Study group | Контрольная группа /<br>Control group | p      |
|--|--|----------------------------------|---------------------------------------|--------|
| Максимальный крутящий момент (Н*м) / Maximum torque (Nm) | До / Before                              | 11,20 [9,60;17,13]               | 12,87 [7,26;18,58]                    | 0,649  |
|  | После / After                            | 19,93 [15,27;24,67]Δ             | 14,90 [8,41;21,59]Δ                   | 0,003* |
|  | 6 месяцев / 6 month                      | 18,58 [13,53;23,12]†#            | 13,09 [7,96;19,24]†#                  | 0,004* |
| Средний крутящий момент (Н*м) / Mean torque (Nm)         | До / Before                              | 11,20 [7,87;16,07]               | 11,92 [6,83;15,55]                    | 0,773  |
|  | После / After                            | 19,13 [14,13;24,07]Δ             | 13,81 [7,57;17,86]Δ                   | 0,008* |
|  | 6 месяцев / 6 month                      | 16,65 [12,31;21,53]†#            | 12,20 [6,83;16,49]†#                  | 0,014* |

|   |                        |                       |                      |        |
|---|------------------------|-----------------------|----------------------|--------|
| Средний крутящий момент/<br>кг (Н*м/кг)<br>/ Mean torque/kg (Nm/kg) | До / Before            | 0,15 [0,10;0,23]      | 0,15 [0,10;0,22]     | 0,797  |
|   | После / After          | 0,25 [0,15;0,34]Δ     | 0,16 [0,11;0,26]Δ    | 0,017* |
|   | 6 месяцев /<br>6 month | 0,22 [0,13;0,29]†#    | 0,14 [0,09;0,25]†#   | 0,031* |
| Средняя мощность (Вт)<br>/ Mean power (Watt)                        | До / Before            | 2,13 [1,20;3,73]      | 2,30 [1,06;3,14]     | 0,750  |
|   | После / After          | 4,33 [2,60;4,93]Δ     | 2,76 [1,23;3,68]Δ    | 0,007* |
|   | 6 месяцев /<br>6 month | 3,87 [2,30;4,68]†#    | 2,56 [1,11;3,47]†#   | 0,008* |
| Средняя работа (Дж)<br>/ Mean operation (J)                         | До / Before            | 13,93 [5,60;24,40]    | 11,96 [5,82;25,38]   | 0,879  |
|   | После / After          | 21,60 [14,20;35,07]Δ  | 13,28 [6,71;29,90]Δ  | 0,038* |
|   | 6 месяцев /<br>6 month | 19,92 [13,44;32,61]†# | 11,55 [6,32;26,98]†# | 0,038* |

**Примечание:** \* – различия показателей статистически значимы ( $p < 0,05$ ), используемый метод: U–критерий Манна–Уитни; Δ – различия показателей (до и после лечения) статистически значимы ( $p < 0,05$ ), используемый метод: критерий Уилкоксона; # – различия показателей (до и через 6 месяцев) статистически значимы ( $p < 0,05$ ), используемый метод: критерий Уилкоксона; † – различия показателей (после и через 6 месяцев) статистически значимы ( $p < 0,05$ ), используемый метод: критерий Уилкоксона.

**Note:** \* – indicator differences are statistically significant ( $p < 0.05$ ), method used: Mann-Whitney U-Criterion Δ – Indicator differences statistically significant (before and after rehabilitation) ( $p < 0.05$ ), method used: Wilcoxon Criterion; # – differences in performance are statistically significant (before and 6 months after rehabilitation) ( $p < 0.05$ ), method used: Wilcoxon criterion; † – Indicator differences statistically significant (after rehabilitation and 6 months after rehabilitation) ( $p < 0.05$ ), method used: Wilcoxon Criterion

До начала курса реабилитации показатели изокинетического тестирования между группами статистически не различались. При контрольном осмотре, сразу после курса реабилитации, значения динамических силовых возможностей исследуемых мышечных групп статистически значимо возросли в основной ( $p < 0,001$ ) и контрольной группе ( $p < 0,001$ ). В тоже время, отмечалось достоверное увеличение показателей мышечной выносливости и производительности, как в группе с применением виртуальной реальности, так и в группе стандартного метода. Однако, более выраженные изменения по результатам изокинетического теста «вращение внутрь» в основной группе (табл. 5).

Через 6 месяцев после прохождения курса реабилитации значения силовых характеристик (максималь-

ный крутящий момент ( $p = 0,004$ ), средний крутящий момент ( $p = 0,011$ ), средний крутящий момент/кг ( $p = 0,012$ ) и показателей выносливости и мышечной производительности (средняя работа ( $p = 0,002$ ) и средняя мощность ( $p = 0,001$ )) были достоверно выше, чем до начала реабилитации в основной и контрольной группе. При проведении межгруппового сравнения более выраженные результаты отмечались в группе с использованием методов виртуальной реальности (табл. 5).

Проведенный анализ полученных данных изокинетического теста «вращение наружу» показал достоверно значимые улучшения силовых и кондиционных характеристик исследуемых мышечных групп.

**Таблица 6.** Динамика показателей изокинетической динамометрии в тесте «вращение наружу» у пациентов исследуемых групп

**Table 6.** Dynamics of isokinetic dynamometry in the outward rotation test in the study groups

| «Вращение наружу» /<br>«Outward rotation»                    | Основная<br>Группа/<br>Study group | Контрольная группа/<br>Control group | p                    |         |
|--|------------------------------------|--------------------------------------|----------------------|---------|
| Максимальный крутящий момент (Н*м) / Maximum torque (Nm)     | До / Before                        | 13,20 [10,00;17,33]                  | 12,30 [8,54;16,75]   | 0,324   |
|  | После / After                      | 20,87 [15,93;27,73]Δ                 | 15,23 [9,93;19,11]Δ  | <0,001* |
|  | 6 месяцев / 6 month                | 18,66 [14,74;24,67]†#                | 14,02 [9,46;16,75]†# | <0,001* |
| Средний крутящий момент (Н*м) / Mean torque (Nm)             | До / Before                        | 12,07 [9,27;15,67]                   | 12,16 [8,27;15,29]   | 0,564   |
|  | После / After                      | 19,00 [13,60;24,20]Δ                 | 14,56 [9,54;17,44]Δ  | 0,001*  |
|  | 6 месяцев / 6 month                | 17,24 [12,21;22,34]†#                | 13,62 [8,77;15,83]†# | 0,001*  |
| Средний крутящий момент/кг (Н*м/кг) / Mean torque/kg (Nm/kg) | До / Before                        | 0,15 [0,10;0,23]                     | 0,15 [0,08;0,22]     | 0,705   |
|  | После / After                      | 0,26 [0,19;0,32]Δ                    | 0,16 [0,11;0,24]Δ    | 0,009*  |
|  | 6 месяцев / 6 month                | 0,24 [0,17;0,30]†#                   | 0,15 [0,10;0,22]†#   | 0,009*  |
| Средняя мощность (Вт) / Mean power (Watt)                    | До / Before                        | 2,26 [1,40;3,40]                     | 2,37 [1,27;3,10]     | 0,727   |
|  | После / After                      | 4,33 [2,40;5,40]Δ                    | 2,70 [1,44;3,53]Δ    | 0,002*  |
|  | 6 месяцев / 6 month                | 3,92 [2,23;5,01]†#                   | 2,53 [1,32;3,30]†#   | 0,001*  |



|   |                     |                       |                      |        |
|---|---------------------|-----------------------|----------------------|--------|
| Средняя работа (Дж)<br>/ Mean operation (J) | До / Before         | 13,92 [8,27;25,27]    | 12,15 [6,63;21,04]   | 0,495  |
|   | После / After       | 25,60 [15,07;32,13]Δ  | 13,53 [7,54;23,15]Δ  | 0,003* |
|   | 6 месяцев / 6 month | 22,90 [13,44;29,68]†# | 12,49 [7,29;21,24]†# | 0,003* |

**Примечание:** \* – различия показателей статистически значимы ( $p < 0,05$ ), используемый метод: U-критерий Манна-Уитни; Δ – различия показателей (до и после лечения) статистически значимы ( $p < 0,05$ ), используемый метод: критерий Уилкоксона; # – различия показателей (до и через 6 месяцев) статистически значимы ( $p < 0,05$ ), используемый метод: критерий Уилкоксона; † – различия показателей (после и через 6 месяцев) статистически значимы ( $p < 0,05$ ), используемый метод: критерий Уилкоксона.

**Note:** \* – indicator differences are statistically significant ( $p < 0.05$ ), method used: Mann-Whitney U-Criterion Δ – Indicator differences statistically significant (before and after rehabilitation) ( $p < 0.05$ ), method used: Wilcoxon Criterion; # – differences in performance are statistically significant (before and 6 months after rehabilitation) ( $p < 0.05$ ), method used: Wilcoxon criterion; † – Indicator differences statistically significant (after rehabilitation and 6 months after rehabilitation) ( $p < 0.05$ ), method used: Wilcoxon Criterion

Исходные значения показателей динамической силы, мышечной выносливости и производительности в группе с включением виртуальной реальности и в группе стандартного метода были статистически однородны. После прохождения курса лечения мышечная сила, выражаемая в максимальном и среднем крутящем моменте, среднем крутящем моменте/кг и показатели выносливости и мышечной производительности достоверно значимо увеличились в обеих исследуемых группах ( $p < 0,001$ ). Вместе с тем, более выраженный достоверно значимый прирост исследуемых параметров был отмечен в группе с использованием виртуальной реальности (табл. 6).

При повторном визите, через 6 месяцев после прохождения курса реабилитации, по результатам

изокинетического тестирования, было отмечено достоверное увеличение, как силовых показателей (максимальный крутящий момент ( $p = 0,022$ ), средний крутящий момент ( $p = 0,011$ ) и средний крутящий момент/кг ( $p = 0,011$ )), так и значений мышечной выносливости и производительности (средняя мощность ( $p = 0,011$ ) и средняя работа ( $p = 0,001$ ), как в основной, так и в контрольной группе. Однако, при проведении межгруппового сравнения, более выраженная степень улучшения биомеханических характеристик была зарегистрирована в группе с применением технологий виртуальной реальности (табл. 6).

Значения данных изокинетической динамометрии в тесте «приведение» перед началом реабилитации статистически не отличались.

**Таблица 7.** Динамика показателей изокинетической динамометрии в тесте «приведение» у пациентов исследуемых групп

**Table 7.** Dynamics of isokinetic dynamometry in the «adduction» test in the study groups

| «Приведение» / «Abduction»                                   |                     | Основная группа / Study group | Контрольная группа / Control group | p       |
|--|---------------------|-------------------------------|------------------------------------|---------|
| Максимальный крутящий момент (Н*м) / Maximum torque (Nm)     | До / Before         | 24,07 [15,67;33,93]           | 23,34 [17,20;31,24]                | 0,988   |
|  | После / After       | 40,60 [33,47;52,13]Δ          | 26,75 [19,27;36,02]Δ               | <0,001* |
|  | 6 месяцев / 6 month | 37,47 [29,60;50,42]†#         | 25,03 [18,09;33,35]†#              | <0,001* |
| Средний крутящий момент (Н*м) / Mean torque (Nm)             | До / Before         | 18,13 [13,00;30,47]           | 17,33 [13,58;28,38]                | 0,638   |
|  | После / After       | 39,20 [30,07;49,47]Δ          | 19,94 [15,35;36,65]Δ               | <0,001* |
|  | 6 месяцев / 6 month | 35,16 [26,35;45,04]†#         | 18,79 [14,39;33,24]†#              | <0,001* |
| Средний крутящий момент/кг (Н*м/кг) / Mean torque/kg (Nm/kg) | До / Before         | 0,26 [0,16;0,40]              | 0,26 [0,16;0,33]                   | 0,379   |
|  | После / After       | 0,46 [0,37;0,70]Δ             | 0,33 [0,18;0,40]Δ                  | <0,001* |
|  | 6 месяцев / 6 month | 0,42 [0,33;0,66]†#            | 0,30 [0,16;0,36]†#                 | <0,001* |
| Средняя мощность (Вт) / Mean power (Watt)                    | До / Before         | 3,13 [1,87;6,87]              | 2,88 [2,17;6,64]                   | 0,988   |
|  | После / After       | 6,07 [3,40;10,27]Δ            | 3,18 [2,46;7,61]Δ                  | 0,012*  |
|  | 6 месяцев / 6 month | 2,94 [2,29;6,78]†#            | 2,94 [2,29;6,78]†#                 | 0,016*  |
| Средняя работа (Дж) / Mean operation (J)                     | До / Before         | 14,80 [8,73;35,07]            | 12,03 [8,88;32,10]                 | 1,000   |
|  | После / After       | 27,67 [15,60;54,53]Δ          | 14,06 [10,39;37,05]Δ               | 0,013*  |
|  | 6 месяцев / 6 month | 25,15 [13,93;49,48]†#         | 13,22 [9,94;32,74]†#               | 0,013*  |

**Примечание:** \* – различия показателей статистически значимы ( $p < 0,05$ ), используемый метод: U-критерий Манна-Уитни; Δ – различия показателей (до и после лечения) статистически значимы ( $p < 0,05$ ), используемый метод: критерий Уилкоксона; # – различия показателей (до и через 6 месяцев) статистически значимы ( $p < 0,05$ ), используемый метод: критерий Уилкоксона; † – различия показателей (после и через 6 месяцев) статистически значимы ( $p < 0,05$ ), используемый метод: критерий Уилкоксона.

**Note:** \* – indicator differences are statistically significant ( $p < 0.05$ ), method used: Mann-Whitney U-Criterion Δ – Indicator differences statistically significant (before and after rehabilitation) ( $p < 0.05$ ), method used: Wilcoxon Criterion; # – differences in performance are statistically significant (before and 6 months after rehabilitation) ( $p < 0.05$ ), method used: Wilcoxon criterion; † – Indicator differences statistically significant (after rehabilitation and 6 months after rehabilitation) ( $p < 0.05$ ), method used: Wilcoxon Criterion

При контрольном обследовании, после пройденного курса реабилитации, биомеханических показателей плечевого сустава в тесте «приведение» было зафиксировано статистически значимое улучшение динамической мышечной силы (максимальный крутящий момент, средний крутящий момент и средний крутящий момент/кг ( $p < 0,001$ , в обеих группах)), также показателей мышечной выносливости и производительности (средняя мощность и средняя работа ( $p < 0,001$ , в основной и контрольной группе)). Наряду с этим, более выраженное улучшение биомеханических показателей отмечалось в группе с включением технологий виртуальной реальности (табл. 7).

В отдаленном периоде, через 6 месяцев после завершения курса реабилитации, положительные изменения наблюдались, как в основной, так и в контрольной

группах. В частности, было отмечено улучшение показателей динамической силы, мышечной выносливости и производительности по сравнению с исходными значениями (табл. 7).

По результатам изокинетической динамометрии в тесте «отведение» значения исследуемых показателей статистически не отличались между группой вмешательства и группой с применением стандартного метода ( $p > 0,05$ ). После завершения курса медицинской реабилитации, при контрольном тестировании, во всех исследуемых группах отмечалось улучшение показателей динамической силы (максимальный крутящий момент, средний крутящий момент, средний крутящий момент/кг), мышечной выносливости и производительности (средняя работа и средняя мощность).

**Таблица 8.** Динамика показателей изокинетической динамометрии в тесте «отведение» у пациентов исследуемых групп

**Table 8.** Dynamics of isokinetic dynamometry in the «abduction test» in the study groups

| «Отведение»/ «Adduction»  |                        | Основная<br>Группа/Main group | Контрольная группа/ Control<br>group | p       |
|---|------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|---------|
| Максимальный<br>крутящий момент (Н*м) /<br>Maximum torque (Nm)      | До / Before            | 19,33 [9,40;25,40]            | 18,27 [10,86;26,86]                  | 0,952   |
|   | После / After          | 31,13 [21,20;36,53]Δ          | 21,09 [12,54;30,67]Δ                 | 0,002*  |
|   | 6 месяцев /<br>6 month | 29,93 [19,65;33,11]†#         | 18,93 [11,28;28,98]†#                | 0,003*  |
| Средний крутящий момент<br>(Н*м) / Mean torque (Nm)                 | До / Before            | 16,87 [7,80;23,80]            | 16,07 [8,36;24,47]                   | 0,868   |
|   | После / After          | 28,60 [20,13;32,87]Δ          | 18,92 [9,49;27,61]Δ                  | 0,005*  |
|   | 6 месяцев /<br>6 month | 25,86 [18,88;28,74]†#         | 17,87 [8,59;25,08]†#                 | 0,007*  |
| Средний крутящий момент/<br>кг (Н*м/кг)<br>/ Mean torque/kg (Nm/kg) | До / Before            | 0,21 [0,10;0,29]              | 0,21 [0,11;0,26]                     | 0,514   |
|   | После / After          | 0,39 [0,25;0,42]Δ             | 0,23 [0,12;0,29]Δ                    | <0,001* |
|   | 6 месяцев /<br>6 month | 0,34 [0,23;0,38]†#            | 0,22 [0,11;0,27]†#                   | <0,001* |
| Средняя мощность (Вт) /<br>Mean power (Watt)                        | До / Before            | 3,53 [1,13;3,93]              | 3,26 [1,13;4,02]                     | 0,705   |
|   | После / After          | 5,07 [3,40;5,60]Δ             | 3,76 [1,28;4,56]Δ                    | 0,012*  |
|   | 6 месяцев /<br>6 month | 4,61 [3,29;5,39]†#            | 3,44 [1,14;4,26]†#                   | 0,011*  |
| Средняя работа (Дж)<br>/ Mean operation (J)                         | До / Before            | 14,53 [5,00;18,60]            | 13,56 [5,43;17,46]                   | 0,976   |
|   | После / After          | 21,93 [13,27;32,27]Δ          | 15,48 [6,05;20,19]Δ                  | 0,006*  |
|   | 6 месяцев /<br>6 month | 19,46 [12,47;29,76]†#         | 14,55 [5,52;18,40]†#                 | 0,006*  |

**Примечание:** \* – различия показателей статистически значимы ( $p < 0,05$ ), используемый метод: U–критерий Манна–Уитни; Δ – различия показателей (до и после лечения) статистически значимы ( $p < 0,05$ ), используемый метод: критерий Уилкоксона; # – различия показателей (до и через 6 месяцев) статистически значимы ( $p < 0,05$ ), используемый метод: критерий Уилкоксона; † – различия показателей (после и через 6 месяцев) статистически значимы ( $p < 0,05$ ), используемый метод: критерий Уилкоксона.

**Note:** \* – indicator differences are statistically significant ( $p < 0.05$ ), method used: Mann-Whitney U-Criterion Δ – Indicator differences statistically significant (before and after rehabilitation) ( $p < 0.05$ ), method used: Wilcoxon Criterion; # – differences in performance are statistically significant (before and 6 months after rehabilitation) ( $p < 0.05$ ), method used: Wilcoxon criterion; † – Indicator differences statistically significant (after rehabilitation and 6 months after rehabilitation) ( $p < 0.05$ ), method used: Wilcoxon Criterion

При повторном обследовании, через 6 месяцев после прохождения курса реабилитации, в группе с применением технологий виртуальной реальности и в группе стандартного метода показатели силовых и кондиционных способностей мышц были достоверно выше, чем до начала лечения: максимальный крутящий момент ( $p < 0,001$  – основная группа,

$p = 0,003$  – контрольная группа), средний крутящий момент ( $p < 0,001$  – основная группа,  $p = 0,043$  – контрольная группа), средний крутящий момент/кг ( $p < 0,001$  – основная группа,  $p = 0,017$  – контрольная группа), средняя работа ( $p < 0,001$  – основная группа,  $p = 0,006$  – контрольная группа) и средняя мощность ( $p < 0,001$  – основная группа,  $p = 0,049$  – контрольная

группа). Степень выраженности улучшения биомеханических показателей плечевого сустава в тесте «приведение» достоверно значимо была выше в основной группе (табл. 8).

До начала реабилитационных мероприятий значения биомеханических показателей в тесте «приведение» статистически не отличались ( $p > 0,05$ ). При

контрольном обследовании, сразу после завершения курса реабилитации, статистически значимое увеличение показателей силы (максимальный крутящий момент, средний крутящий момент, средний крутящий момент/кг), выносливости и мышечной производительности (средняя мощность и средняя работа) было отмечено для всех исследуемых групп ( $p < 0,001$ ) (табл. 9).

**Таблица 9.** Динамика показателей изокинетической динамометрии в тесте «разгибание» у пациентов исследуемых групп

**Table 9.** Dynamics of isokinetic dynamometry in the extension test in the study groups

| «Разгибание» / «Extension»                                   |                     | Основная группа / Study group | Контрольная группа / Control group | p      |
|--|---------------------|-------------------------------|------------------------------------|--------|
| Максимальный крутящий момент (Н*м) / Maximum torque (Nm)     | До / Before         | 26,40 [14,40;42,00]           | 27,75 [14,99;41,82]                | 0,952  |
|  | После / After       | 43,60 [35,07;54,20]Δ          | 31,08 [17,29;47,16]Δ               | 0,006* |
|  | 6 месяцев / 6 month | 38,51 [32,97;49,43]†#         | 28,31 [15,68;42,05]†#              | 0,006* |
| Средний крутящий момент (Н*м) / Mean torque (Nm)             | До / Before         | 17,33 [13,53;36,87]           | 19,27 [13,72;35,58]                | 0,891  |
|  | После / After       | 35,20 [26,87;50,33]Δ          | 21,83 [16,32;40,12]Δ               | 0,007* |
|  | 6 месяцев / 6 month | 32,41 [24,25;47,36]†#         | 20,09 [14,72;37,12]†#              | 0,013* |
| Средний крутящий момент/кг (Н*м/кг) / Mean torque/kg (Nm/kg) | До / Before         | 0,25 [0,17;0,52]              | 0,24 [0,17;0,40]                   | 0,554  |
|  | После / After       | 0,45 [0,32;0,72]Δ             | 0,28 [0,20;0,44]Δ                  | 0,002* |
|  | 6 месяцев / 6 month | 0,40 [0,28;0,65]†#            | 0,26 [0,18;0,42]†#                 | 0,003* |
| Средняя мощность (Вт) / Mean power (Watt)                    | До / Before         | 3,07 [2,13;8,67]              | 3,12 [2,18;8,52]                   | 0,879  |
|  | После / After       | 8,47 [5,33;12,33]Δ            | 4,33 [2,80;9,79]Δ                  | 0,011* |
|  | 6 месяцев / 6 month | 8,15 [5,04;11,51]†#           | 3,94 [2,70;9,07]†#                 | 0,009* |
| Средняя работа (Дж) / Mean operation (J)                     | До / Before         | 15,20 [10,00;44,13]           | 15,10 [9,48;40,32]                 | 0,820  |
|  | После / After       | 41,73 [20,80;61,60]Δ          | 18,82 [12,35;45,87]Δ               | 0,014* |
|  | 6 месяцев / 6 month | 36,83 [18,37;58,33]†#         | 16,95 [11,31;40,88]†#              | 0,013* |

**Примечание:** \* – различия показателей статистически значимы ( $p < 0,05$ ), используемый метод: U–критерий Манна–Уитни; Δ – различия показателей (до и после лечения) статистически значимы ( $p < 0,05$ ), используемый метод: критерий Уилкоксона; # – различия показателей (до и через 6 месяцев) статистически значимы ( $p < 0,05$ ), используемый метод: критерий Уилкоксона; † – различия показателей (после и через 6 месяцев) статистически значимы ( $p < 0,05$ ), используемый метод: критерий Уилкоксона

**Note:** \* – indicator differences are statistically significant ( $p < 0.05$ ), method used: Mann-Whitney U-Criterion Δ – Indicator differences statistically significant (before and after rehabilitation) ( $p < 0.05$ ), method used: Wilcoxon Criterion; # – differences in performance are statistically significant (before and 6 months after rehabilitation) ( $p < 0.05$ ), method used: Wilcoxon criterion; † – Indicator differences statistically significant (after rehabilitation and 6 months after rehabilitation) ( $p < 0.05$ ), method used: Wilcoxon Criterion

При динамическом обследовании, через 6 месяцев после лечения, отмечались достоверно значимые улучшения максимального крутящего момента, среднего крутящего момента, среднего крутящего момента/кг, средней мощности и средней работы по сравнению с исходными значениями в обеих исследуемых группах, однако степень выраженности изменений была выше в группе с включением методом виртуальной реальности (табл. 9).

До начала курса лечения статистически значимых отличий по показателям динамической мышечной силы, мышечной выносливости и производительности отмечено не было ( $p < 0,05$ ). При контрольном исследовании после прохождения курса реабилитации исследуемые показатели достоверно значимо увеличились в основной и контрольной группе ( $p < 0,001$ ), однако прирост показателей был статистически значимо выше в группе с применением технологий виртуальной реальности (табл. 10).

**Таблица 10.** Динамика показателей изокINETической динамометрии в тесте «сгибание» у пациентов исследуемых групп

**Table 10.** Dynamics of isokinetic dynamometry in the flexion test in the study groups

| «Сгибание» / «Flexion»  |                     | Основная группа / Study group | Контрольная группа/ Control group | p       |
|---|---------------------|-------------------------------|-----------------------------------|---------|
| Максимальный крутящий момент (Н*м) / Maximum torque (Nm)      | До / Before         | 17,53 [12,40;27,53]           | 16,94 [11,36;26,17]               | 0,891   |
|   | После / After       | 34,40 [23,07;39,80]Δ          | 20,93 [12,96;29,94]Δ              | 0,004*  |
|   | 6 месяцев / 6 month | 30,62[20,49;35,05]†#          | 19,11 [11,62;28,66]†#             | 0,006*  |
| Средний крутящий момент (Н*м)/ Mean torque (Nm)               | До / Before         | 13,20 [10,40;21,27]           | 12,39 [9,69;22,46]                | 0,682   |
|   | После / After       | 29,87 [15,80;36,13]Δ          | 14,67 [11,22;25,59]Δ              | <0,001* |
|   | 6 месяцев / 6 month | 26,83 [14,51;31,76]†#         | 13,08 [10,05;23,02]†#             | <0,001* |
| Средний крутящий момент/ кг (Н*м/кг) / Mean torque/kg (Nm/kg) | До / Before         | 0,19 [0,11;0,33]              | 0,17 [0,12;0,25]                  | 0,544   |
|   | После / After       | 0,37 [0,20;0,51]Δ             | 0,20 [0,14;0,29]Δ                 | <0,001* |
|   | 6 месяцев / 6 month | 0,35 [0,18;0,45]†#            | 0,19 [0,12;0,27]†#                | <0,001* |
| Средняя мощность (Вт) / Mean power (Watt)                     | До / Before         | 2,73 [1,40;4,33]              | 2,77 [1,44;4,38]                  | 0,762   |
|   | После / After       | 5,27 [2,47;7,93]Δ             | 3,21 [1,72;5,14]Δ                 | 0,008*  |
|   | 6 месяцев / 6 month | 4,74 [2,22;7,17]†#            | 3,05 [1,60;4,58]†#                | 0,010*  |
| Средняя работа (Дж) / Mean operation (J)                      | До / Before         | 11,67 [5,80;20,07]            | 11,83 [6,22;18,25]                | 0,940   |
|   | После / After       | 24,13 [10,13;40,87]Δ          | 15,21 [7,21;23,39]Δ               | 0,010*  |
|   | 6 месяцев / 6 month | 22,25 [8,91;36,97]†#          | 14,11 [6,56;20,89]†#              | 0,008*  |

**Примечание:** \* – различия показателей статистически значимы ( $p < 0,05$ ), используемый метод: U–критерий Манна–Уитни; Δ – различия показателей (до и после лечения) статистически значимы ( $p < 0,05$ ), используемый метод: критерий Уилкоксона; # – различия показателей (до и через 6 месяцев) статистически значимы ( $p < 0,05$ ), используемый метод: критерий Уилкоксона; † – различия показателей (после и через 6 месяцев) статистически значимы ( $p < 0,05$ ), используемый метод: критерий Уилкоксона

**Note:** \* – indicator differences are statistically significant ( $p < 0.05$ ), method used: Mann-Whitney U-Criterion Δ – Indicator differences statistically significant (before and after rehabilitation) ( $p < 0.05$ ), method used: Wilcoxon Criterion; # – differences in performance are statistically significant (before and 6 months after rehabilitation) ( $p < 0.05$ ), method used: Wilcoxon criterion; † – Indicator differences statistically significant (after rehabilitation and 6 months after rehabilitation) ( $p < 0.05$ ), method used: Wilcoxon Criterion

При контрольном исследовании, через 6 месяцев после окончания курса реабилитации во всех исследуемых группах отмечается положительная динамика по сравнению с исходными значениями по показателям динамической силы ( $p < 0,001$ ) и мышечной выносливости и производительности ( $p < 0,001$ ), в тоже время более выраженные изменения исследуемых показателей зафиксированы в группе с включением технологий виртуальной реальности (табл. 10).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенного исследования отмечалась положительная динамика болевого синдрома, улучшения функционального состояния плечевого сустава по результатам опросника DASH, увеличение объема движений в плечевом суставе. В группе вмешательства болевой синдром достоверно значимо снизился с 6,00 [5,00;7,00] до 2,00 [1,00;3,00] баллов по ВАШ сразу после прохождения курса реабилитации. Положительная динамика наблюдалась и в отдаленном периоде, через 6 месяцев после лечения болевой синдром статистически значимо снизился до 1,00 [0,00;1,00] балла. Достоверное улучшение результатов опросника DASH отмечалось на протяжении всего исследования, уровень

функционирования верхней конечности улучшился с 63,33 [56,17;65,83] баллов до 39,17 [35,00;40,83] баллов сразу после лечения и в отдаленном периоде составил 11,66 [9,16;13,30] баллов (меньше лучше). Объем движений статистически достоверно увеличился в отведении с 44,00 [35,00;55,00] градусов до 85,00 [72,00;89,00] градусов и через 6 месяцев, при контрольном осмотре составил 111,00 [98,00;124,00] градусов. В сгибании объем движений статистически значимо улучшился с 64,00 [52,00;76,00] градусов до 97,00 [87,00;112,00] градусов. и через 6 месяцев после прохождения курса реабилитации бы отмечена на уровне 117,00 [105,00;135,00] градусов.

Средние показатели динамической силы и мышечной выносливости и производительности в тесте «вращение внутрь/наружу» возросли на 58% и 68,5%. В тестах «приведение/отведение» силовые показатели пациентов с повреждениями ротаторной манжеты плеча увеличились на 67,5%, а мышечная выносливость и производительность – в среднем на 82,3%. По результатам изокINETического тестирования рост силовых значений в тесте «разгибание/сгибание» составил 64,5%, а мышечной выносливости и производительности – 79%.

Включение технологий виртуальной реальности на этапе медицинской реабилитации пациентов с повреждениями ротаторной манжеты плеча позволяет существенно снизить болевой синдром в плечевом суставе, улучшить функционирование

верхней конечности, увеличить объем движений в суставе, а также существенно повысить силовые показатели и показатели мышечной выносливости и производительности.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНО

### Информация об авторах:

**Колышенков Василий Андреевич**, научный сотрудник отдела ортопедии, биомеханики, кинезитерапии и мануальной терапии, заместитель председателя Совета молодых ученых, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.

E-mail: vasilij4kol@gmail.com, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-7211-6198>

**Просвирнин Андрей Николаевич**, клинический ординатор, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.

E-mail: mister.prosvirnin2011@yandex.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-6613-1749>

### Вклад авторов:

Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Наибольший вклад распределен следующим образом:

Колышенков В.А. – концепция и дизайн исследования;

Просвирнин А.Н. – сбор и анализ материалов исследования.

### Источник финансирования:

Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

### Конфликт интересов:

Авторы декларируют отсутствие других явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

## ADDITIONAL INFORMATION

### Information about the authors:

**Vasilij A. Kolyshenkov**, Researcher of Orthopedics, Biomechanics, Kinesiotherapy and Manual Therapy Department, Vice-Chairman of the Young Scientists Council, National Medical Research Centre of Rehabilitation and Balneology.

E-mail: vasilij4kol@gmail.com, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-7211-6198>

**Andrei N. Prosvirnin**, Clinical Resident, National Medical Research Centre of Rehabilitation and Balneology.

E-mail: mister.prosvirnin2011@yandex.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-6613-1749>

### Authors' contributions:

All authors confirm their authorship according to the ICMJE criteria (all authors contributed significantly to the conception, study design and preparation of the article, read and approved the final version before publication).

Special contribution:

Kolyshenkov V.A. – research concept and design;

Prosvirnin A.N. – research collection and analysis.

### Funding Source:

This study was not supported by any external sources of funding.

### Disclosure:

The authors declare no apparent or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

## Список литературы:

1. Lewis J.S. Rotator cuff tendinopathy. *British Journal of Sports Medicine*. 2009; 43(4): 236-241. <https://doi.org/10.1136/bjism.2008.052175>
2. Rossi L.A., Chahla J. et al. Rotator Cuff Retears. *JBJS Reviews*. 2020; 8(1): e0039 p. <https://doi.org/10.2106/JBJS.RVW.19.00039>
3. White J.J., Titchener A.G., Fakis A. et al. An epidemiological study of rotator cuff pathology using The Health Improvement Network database. *The Bone & Joint Journal*. 2014; 96(3): 350-353. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.96B3.32336>
4. Ensor K.L., Kwon Y.W., Dibeneditto M.R. et al. The rising incidence of rotator cuff repairs. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*. 2013; 22(12): 1628-1632. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2013.01.006>
5. Beard D.J., Rees J.L., Cook J.A., Rombach I. et al. Arthroscopic subacromial decompression for subacromial shoulder pain (CSAW): a multicentre, pragmatic, parallel group, placebo-controlled, three-group, randomised surgical trial. *Lancet*. 2018; 391(10118): 329-338. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)32457-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32457-1)
6. Hevonkorpi T.P., Launonen A.P., Raittio L. et al. Nordic Innovative Trial to Evaluate Osteoporotic Fractures (NITEP-group): non-operative treatment versus surgery with volar locking plate in the treatment of distal radius fracture in patients aged 65 and over – a study protocol for a prospective, randomized controlled trial. *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2018; 19(1): 106 p. <https://doi.org/10.1186/s12891-018-2019-5>
7. Aitken S.A., Hutchison J.D., McQueen M.M. The importance of epidemiological fracture data: injury epidemiology for the non-epidemiologist. *The Bone & Joint Journal*. 2014; 96-B: 863-867. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.96B7.34023>
8. Choi Y.H., Paik N.J. Mobile Game-based Virtual Reality Program for Upper Extremity Stroke Rehabilitation. *Journal of Visualized Experiments*. 2018; (133): 56241 p. <https://doi.org/10.3791/56241>
9. Laver K.E., Lange B., George S. et al. Virtual reality for stroke rehabilitation. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2017; 11(11): CD008349 p. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD008349>
10. Gumaa M., Rehan Youssef A. Is Virtual Reality Effective in Orthopedic Rehabilitation? A Systematic Review and Meta-Analysis. *Physical Therapy*. 2019; 99(10): 1304-1325. <https://doi.org/10.1093/ptj/pzz093>

