

УДК 616.8–006



ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЙ РУКИ ПРИ ФЕНОМЕНЕ ВЫУЧЕННОГО НЕИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Е. М. Вязгина^{1,2}, А. В. Борисов², А. Ю. Полежаева²,
Р. И. Тузов², Н. Е. Иванова¹

¹«Российский научно-исследовательский нейрохирургический институт имени профессора
А. Л. Поленова — филиал ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» МЗ РФ, Санкт-Петербург,

²Многопрофильный реабилитационный центр «Спутник в Комарово»,
Санкт-Петербург, пос. Комарово.

РЕЗЮМЕ. Улучшение функции верхних конечностей является важной частью реабилитации с целью снижения инвалидности. Около 20 % пациентов после инсульта не используют руку, несмотря на наличие движений в ней. Функциональное восстановление после переломов плеча происходит медленно, и результаты также бывают неутешительны. Одной из причин недостаточного восстановления функции кисти является синдром выученного неиспользования. В данной статье представлены преимущества и ограничения двух наиболее современных и распространенных технологий как для реабилитации проксимального отдела верхней конечности (роботизированная механотерапия и виртуальная реальность), так и для реабилитации кисти при синдроме выученного неиспользования с помощью сенсорной перчатки с компьютерными программами, основанными на принципе БОС.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: реабилитация кисти, сенсорная перчатка, выученное неиспользование, виртуальная реальность, роботизированная механотерапия.

Для цитирования: Вязгина Е. М., Борисов А. В., Полежаева А. Ю., Тузов Р. И., Иванова Н. Е. Обзор современных технологий для восстановления движений руки при феномене выученного неиспользования. Российский нейрохирургический журнал им. проф. А. Л. Поленова. 2022;14(1-2):17–22

REVIEW OF MODERN TECHNOLOGIES FOR HAND RECOVERY WITH LEARNED NON-USE

Е. М. Vyazgina^{1,2}, А. V. Borisov², А. Yu. Polezhaeva², R. I. Tuzov², N. E. Ivanova¹

“Polenov Neurosurgical Institute” — a branch of the Almazov National Medical Research Centre Ministry of Health of the Russian Federation, St. Petersburg,
Rehabilitation Center “Sputnik in Komarovo”, St. Petersburg.

SUMMARY. Improving upper limb function is an important part of rehabilitation to reduce disability. About 20 % of patients after a stroke do not use their hand, despite the ability of movements. Functional recovery after shoulder fracture is slow and results are also disappointing. One of the reasons for the lack of restoration of hand function is the syndrome of learned non-use. This review presents the advantages and limitations of the two most modern and common technologies for both the rehabilitation of the proximal upper limb (robotics and virtual reality) and the rehabilitation of the hand with learned non-use syndrome using a sensory glove with computer programs based on the biofeedback.

KEYWORDS: hand therapy, sensory gloves, learned non-use, virtual reality, robotic rehabilitation.

For citation: Vyazgina E. M., Borisov A. V., Polezhaeva A. Yu., Tuzov R. I., Ivanova N. E. Review of modern technologies for hand recovery with learned non-use. The Russian Neurosurgical Journal named after prof. A. L. Polenov. 2022;14(1-2):17–22

Восстановление движений руки это одна из наиболее частых задач в реабилитации пациентов при заболеваниях ЦНС и после травмы верхней конечности. Поскольку максимальное восстановление при перечисленных повреждениях происходит в течение первых месяцев, в течение этого периода наиболее эффективна мультидисциплинарная реабилитация, основанная на конкретных целях (чаще всего это бытовые бимануальные навыки). Улучшение функции верхних конечностей является важной частью реабилитации с целью снижения инвалидности. [1]

По данным разных авторов, около половины пациентов, перенесших инсульт, имеет ограниченные движения в руке непосредственно после перенесенного инсульта и только в 5–14 % пациентов восстановят функцию руки в значительной степени. [2] Около 20 % пациентов не используют руку, не смотря на наличие движений в ней. Очевидно, что в этих случаях имеет место в той или иной степени выраженный синдром неиспользования даже при хороших перспективах восстановления функции руки. [3]

Функциональное восстановление после переломов плеча происходит медленно, и результаты также бывают неутешительны. Распространенными последствиями являются гипотрофия мышц, снижение мышечной силы и амплитуды движений во всех суставах конечности. Эти проблемы также можно частично предотвратить с помощью технологий, разработанных первоначально для нейрореабилитации пациентов, перенесших инсульт. [4]

Постоянно продолжаются поиски наиболее эффективного инструмента реабилитации для восстановления движений верхней конечности. Каждый год перечень современных технологий, используемых в реабилитации, пополняется новыми «представителями». Все их осветить уже не представляется возможным ввиду разнообразия. Для того, чтобы сделать верный выбор, как для клиники в целом, так и для конкретного пациента, следует разобраться к какой из технологий относится конкретное устройство. В основе работы большинства современных реабилитационных комплексов лежат: биологическая обратная связь, виртуальная реальность, электромеханические и роботизированные устройства (в т.ч. экзоскелеты), функциональная электростимуляция (нейроортезы). В настоящее время наиболее широко обсуждаются две эффективные технологии, обеспечивающие обратную связь во время обучения пациента, улучшающие двигательное восстановление. [5]

Роботизированные устройства могут перемещать поврежденную руку по наиболее безопасным траекториям движения и обеспечивать либо помощь, либо сопротивление движению отдельного сустава, либо контроль за координацией движений в нескольких сегментах. Недавние технологические достижения позволяют точно контролировать несколько суставов одновременно, что позволяет им создавать более реалистичные упражнения на основе выбранных задач и целей конкретного пациента. По сравнению с физической терапией, «роботы» могут последовательно обеспечивать интенсивную реабилитацию в течение более длительного времени.

В результате развития технологии, широкое распространение в реабилитации получила роботизированная механотерапия (РМ) с биологической обратной связью (БОС) для обеспечения контролируемой нагрузки, а также для оказания пациенту дополнительной помощи при выполнении движения (за счет разгрузки собственного веса конечности) тогда, когда это действительно необходимо. РМ позволяет выполнять специфичные и высокоточные движения в строго заданной амплитуде, а также отслеживать кинематику конечностей. Принцип БОС реализуется за счет получения информации от пациента и ее анализа роботизированной системой с последующей коррекцией. Таким образом обеспечивается взаимодействие пациента с системой с минимальным участием физических терапевтов или других специалистов. [6]

Для объективной оценки состояния пациента во время терапии и, соответственно, динамической адаптации поведения робота могут использоваться как простые так и мультисенсорные системы мониторинга, в зависимости от задач. Но даже для самых современных роботизированных систем остается нерешенной проблема выявления компенсаторных движений, которые используют пациенты для выполнения поставленной задачи. Если это приходится отслеживать специалисту, то теряется сам смысл персонал-замещающей технологии. А если пациенты не находятся под наблюдением терапевта во время РМ, то многократные повторения компенсаторных движений могут поставить под угрозу восстановление движений в руке и создать дополнительные проблемы (например, усугубить постуральные нарушения или вызвать болевой синдром). Закрепление компенсаторного движения неизбежно становится одной из составляющих выученного неиспользования и приводит к тому, что слабые мышцы становятся еще слабее, что в свою очередь, снижает реабилитационный потенциал пациента. Именно поэтому выявление естественной компенсации движений при мышечной слабости и нарушениях двигательного контроля имеет первостепенное значение в двигательном переобучении пациента.

Для решения этой проблемы используются датчики, подключаемые к пациенту, но это существенно ограничивает использование системы, усложняя процесс подготовки и повышая стоимость процедуры. Бесконтактные сенсорные системы тоже не решают проблемы полностью, так как лишь фиксируют наличие компенсаторного движения (например, наклон или разворот корпуса), но никак не ограничивают его. А сообщение системы об отклонении от заданного параметра пациент чаще всего игнорирует.

Таким образом, очевидна потребность в системе, которая может: 1) безопасно оказывать помощь в необходимой и достаточной степени; 2) поддерживать вес поврежденной руки пациента, в зависимости от ее мышечной утомляемости; 3) предотвращать отрицательное влияние движений на позу пациента в течение всего времени выполнения упражнений. [7]

Второй наиболее распространенной технологией стала виртуальная реальность на базе Kinect, Microsoft (ВР), которая обеспечивает обратную связь о выполнении движений и/или достижении цели. В игровой реабилитации используются технологии, которые дают возможность максимально вовлечь пациента в процесс. Включение терапевтических упражнений в виртуальные игры может сделать терапию более интересной и реалистичной, повысить мотивацию и, следовательно, приверженность к терапии.

Реабилитация, основанная на играх, позволяет интегрировать различные навыки, освоенные в процессе восстановления и закрепить их многократным повторением. Она также обеспечивает и развитие ассоциативных связей, улучшение когнитивных функций, эмоциональную вовлеченность и путем много-

кратных повторений обеспечивает пациенту переход от движения, требующего моторного контроля на каждом этапе выполнения, до автоматического движения с минимальными затратами сил. Моторный или двигательный контроль — это результат интеграции множества процессов, в том числе восприятия (сенсорной информации), планирования (для достижения намерений), собственно, действия, и контроль за его исполнением. Улучшение моторного контроля за движением неизбежно приводит к расширению функциональных возможностей пациента в конкретных упражнениях, а затем и в бытовых навыках. [8]

В процессе занятий контроль за точностью выполнения задания обеспечивает биологическая обратная связь (БОС), мотивирующая пациента улучшать свои результаты прямо в процессе игры. Программное обеспечение позволяет адаптировать игры к возможностям конкретного пациента. Такие системы подходят для индивидуального использования пациентами даже в домашних условиях.

Помимо отдельных исследований, проведенных в последние десятилетия, систематические обзоры за 2016–2021 гг. так же подтвердили, что РМ и ВР могут улучшить двигательную функцию и положительно влияют на восстановление функциональной независимости у пациентов, перенесших инсульт, оказывая различное влияние на движения верхней конечности и когнитивные функции. [9]

Авторы предполагают, что РМ более эффективна при развитии конкретного движения, т.к. позволяет наиболее точно подбирать объем и силу движений, а игры на базе Kinect эффективнее стимулируют движения в большей амплитуде и в большем количестве вариаций. [1,9,10]

При прямом сравнении РМ и ВР у пациентов после инсульта наибольшая эффективность была доказана в отношении движений в плечевом и локтевом суставе. Значимых отличий между изменением амплитуды движений после занятий РМ и ВР не выявлено. Крайне важно отметить разницу во влиянии на мышечный тонус. Занятия в ВР достоверно приводили к повышению мышечного тонуса в спастичных мышцах (сгибателях локтя, запястья и пальцев), что существенно снижало ловкость движений и возможность выполнения задания. Тогда как среди пациентов, получавших РМ, отмечалось снижение мышечного тонуса, способствующее увеличению объема движений. Возможным объяснением данного отличия может являться условие проведения занятий: занятия РМ для верхней конечности всегда проводятся сидя, тогда как системы ВР в большинстве случаев ориентированы на положение стоя, что может само по себе повышать мышечный тонус. [1]

Тем не менее при оценке влияния РМ и ВР на возможность самообслуживания более значимые изменения были выявлены при занятиях с применением ВР. Что вероятно, обусловлено тем, что возможности самообслуживания требуют более сложных, многокомпонентных движений, представляющих собой

следующий этап реабилитации после восстановления наиболее простых изолированных движений в проксимальных отделах.

Вместе с тем обе технологии способствовали улучшению пространственному восприятию без значимых отличий. [1]

Наряду с большим количеством предлагаемых устройств по восстановлению функции верхней конечности, которые в основном касаются проксимальных отделов конечности, менее исследованной остается возможность восстановления использования паретичной кисти. Нередко, даже при хорошем двигательном восстановлении, имеется выраженный в той или иной степени синдром «выученного неиспользования» (в англоязычной литературе «learned disuse» или «learned non-use») кисти, который в рутинной клинической практике практически не диагностируется. [11,12]

Исследования показали, что после инсульта рука восстанавливается в меньшем проценте случаев, чем нижняя конечность. Возможным объяснением этого факта может быть то, что при ходьбе обязательным условием является опора на обе ноги и движения ими обеими, что с большей вероятностью позволит восстановить функцию нижних конечностей. Напротив, из-за того, что повседневная деятельность, связанная с движениями рук, может в той или иной степени выполняться с использованием только одной конечности, феномен выученного неиспользования представляет собой препятствие в реабилитации слабой руки.

Исследования влияния неиспользования (в том числе движения) на процесс забывания были начаты еще в 1930-х гг. Но концепция «забывания и неиспользования» («forgetting and the law of disuse») сохраняет свою актуальность до настоящего времени. Согласно ей само по себе неиспользование не приводит к «забыванию» движения, но является условием для инициации этого процесса [13]. Наиболее эффективными методами лечения феномена выученного неиспользования считаются методы, направленные на активное вовлечение пациента в процесс занятий, основанных на принципах БОС [14]. И тем не менее данная проблема остается чрезвычайно актуальной в реабилитации по сей день.

При выраженной мышечной слабости возможность движения конечностью и, следовательно, уменьшение ее «выученного неиспользования» обеспечивает функциональная электрическая стимуляция (ФЭС). Первые исследования эффективности ФЭС в основном касались применения метода в реабилитации при параличе различной этиологии, но также ее с некоторым успехом использовали для восстановления моторного контроля движений верхних конечностей. Более поздние исследования показали, что, когда стимуляция была связана с произвольной попыткой двигать «слабой» конечностью, восстановление было более значимым. Эти результаты легли в основу разработки РМ в сочетании с ФЭС для облегчения достижения поставленной задачи

(например, стимуляции трицепса, чтобы дотянуться до впереди стоящего предмета).

Основной проблемой данных устройств остается недостаточная функциональность движений. Даже при наличии возможности движений в разных плоскостях это была лишь отчасти похожие на естественные движения. До сих пор продолжается разработка протоколов, которые могут быть применены в управлении роботизированной механотерапией, в том числе в сочетании со стимуляцией для того, чтобы позволить пациенту приложить максимально возможное произвольное усилие в условиях приближенных к реальности.

Интенсивная реабилитация наиболее эффективна, когда начинается в условиях стационара и продолжается в амбулаторных условиях. Однако из-за ограниченного времени пребывания в стационаре, в раннем восстановительном периоде реабилитация кисти не является приоритетной.

Одним из устройств, решающих данную проблему, стала сенсорная перчатка (СП) с БОС. В отличие от вышеописанных систем, устройства данного типа доступны для самостоятельного применения пациентом. СП подключается к обычному персональному компьютеру и используются в качестве манипулятора. Пациент выполняет активные движения сгибания/разгибания кисти и пальцев, пронацию/супинацию кисти, обеспечивая этим движения объекта компьютерной игры на экране монитора. Способ обеспечивает расширение функциональных возможностей, эффективную реабилитацию при двигательных нарушениях за счет объективного компьютерного анализа сенсомоторных процессов с меньшими затратами времени, а также возможность реабилитации двигательной функции кисти с активным участием самого пациента в процессе реабилитации.

Определенное программное обеспечение и выбор конкретных заданий для пациента могут в большей или меньшей степени обеспечивать когнитивную стимуляцию. Следует учитывать, что эффективность занятий зависит в том числе и от соответствия компьютерной программы исходному уровню когнитивных возможностей пациента. [15, 16]

Далее мы приведем два клинических случая, в которых была применена СП (Senso Glove, SensoRehab, Россия).

Клинический случай № 1

Пациентка П., 56 лет, с диагнозом Закрытый оскольчатый перелом диафиза левой плечевой кости со смещением отломков от 25.11.2021 г., состояние после БИОС левой плечевой кости интрамедуллярным стержнем от 30.11.21 г. проходила курс восстановительного лечения в многопрофильном реабилитационном центре «Спутник в Комарово» (г. Санкт-Петербург). При поступлении предъявляла жалобы на ограничение амплитуды движений в левом плечевом и локтевом суставах, умеренные боли в левом плече, выраженные боли в лучезапястном суставе

при движениях. Объективно: ограничено отведение и сгибание в левом плечевом суставе, ограничено сгибание пальцев кисти, в лучезапястном суставе сгибание и разгибание, пронация и супинация резко ограничены болевым синдромом.

Проводились индивидуальные занятия ЛФК (мягкие техники мобилизация плечевого сустава, увеличение амплитуды движений плечевом и локтевом суставах), гидрокинезотерапия, эрготерапия, занятия с использованием Senso Glove по 30 мин в день, 5 дней в неделю, 3 недели.

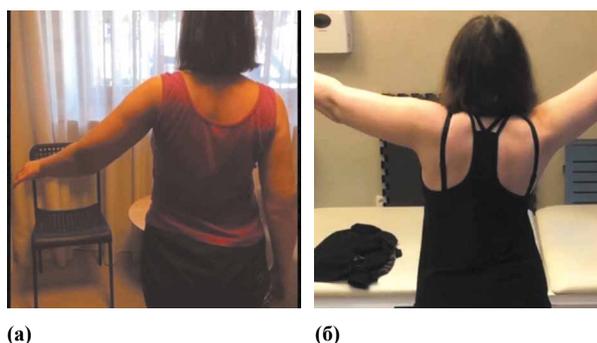


Рисунок 1. Увеличение амплитуды отведения левого плеча: (а) при поступлении, (б) через 3 недели реабилитации.
Figure 2. Increased abduction amplitude of the left shoulder: (a) on admission, (b) after 3 weeks of rehabilitation.

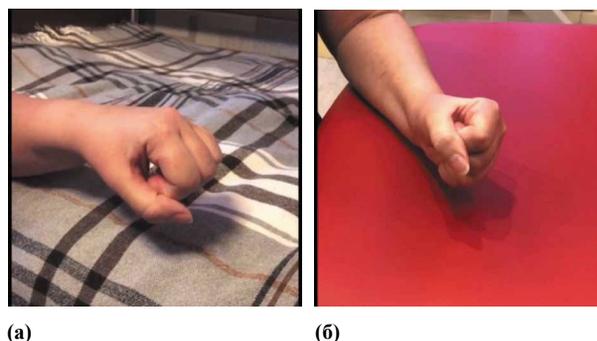


Рисунок 2. Увеличение амплитуды сгибания пальцев кисти: (а) при поступлении, (б) через 3 недели реабилитации.
Figure 2. An increase in the amplitude of fingers flexion: (a) on admission, (b) after 3 weeks of rehabilitation.

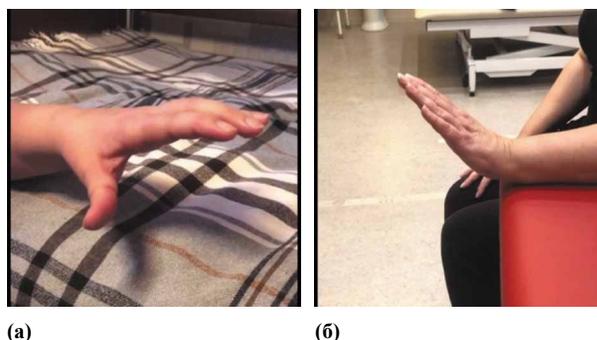


Рисунок 3. Увеличение амплитуды разгибания в лучезапястном суставе: (а) при поступлении, (б) через 3 недели реабилитации.
Figure 3. An increase in the amplitude of extension in the wrist: (a) on admission, (b) after 3 weeks of rehabilitation.

На фоне проведенного лечения отмечается выраженное снижение интенсивности болевого синдрома, уменьшение отёка конечности, увеличение амплитуды движений в левом плечевом и локтевом суставах.

Клинический случай № 2

Пациентка К., 73 лет, с диагнозом ЦВБ. Ранний восстановительный период ОНМК по типу ишемии в бассейне левой СМА от 06.10.2021 г. на фоне новой коронавирусной инфекции, осложненной двусторонней полисегментарной пневмонией и выраженного постковидного синдрома, проходила курс восстановительного лечения в многопрофильном реабилитационном центре «Спутник в Комарово» (г. Санкт-Петербург). При поступлении предъявляла жалобы на неловкость движений и слабость в правой руке и ноге. В неврологическом статусе правосторонний гемипарез: в мышцах-сгибателях локтя 2 балла, в мышцах-сгибателях пальцев кисти 1 балл, в ноге — до 3 баллов. Сублюксация правого плечевого сустава до 1 пальца.

Проводились индивидуальные занятия ЛФК (в том числе занятия по двигательному контролю и тренировке мышечной силы в руке), лечебный массаж паретичных конечностей, эрготерапия, занятия с использованием Senso Glove по 30 мин в день, 5 дней в неделю, 2 недели.



Рисунок 4. Амплитуда активного разгибания пальцев правой кисти: (а) при поступлении, (б) через 2 недели реабилитации.
Figure 4. The amplitude of active extension of the fingers of the right hand: (a) on admission, (b) after 2 weeks of rehabilitation.

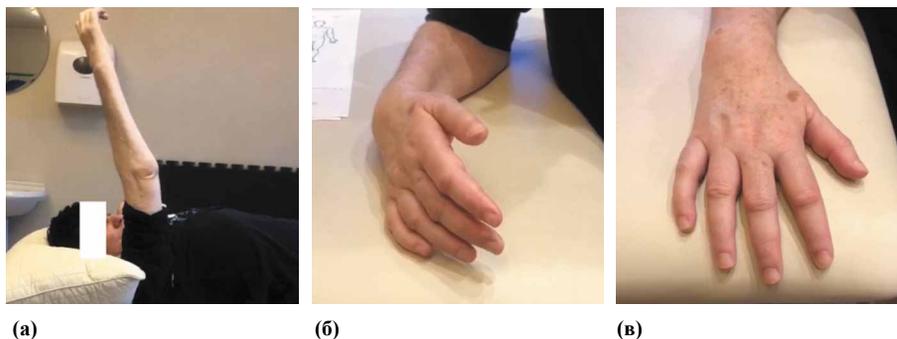


Рисунок 5. Амплитуда активных движений появившихся через 2 недели реабилитации: (а) подъем и удержание руки в положении лежа, (б) наружная ротация, (в) разведение пальцев правой кисти.
Figure 5. The amplitude of active movements appeared after 2 weeks of rehabilitation: (a) raising and holding the arm in the prone position, (b) external rotation, (c) spreading the fingers of the right hand.

На фоне проведенного лечения отмечается повышение толерантности к нагрузке, улучшение координации и динамического баланса, стабилизация плеча, увеличение объема движений и мышечной силы в правой руке. Особенностью данного наблюдения являлась более выраженная положительная динамика в дистальном отделе паретичной руки по сравнению с объемом движений в плече и локте.

Приведенные клинические примеры свидетельствуют о возможности успешного применения сенсорной перчатки в реабилитации кисти и верхней конечности в целом, с целью увеличения времени реабилитации в течение дня и активного вовлечения пациента в процесс занятий.

Заключение.

Применение сенсорной перчатки с компьютерными программами, основанными на принципе БОС, как при повреждениях проксимального отдела, кисти или ограничении движений во всей руке является одним из методов решения проблемы выученного неиспользования вместе с РМ и ВР.

Из-за возможного длительного периода восстановления функции кисти, ограниченной доступности лечения, а порой и нехватки квалифицированных специалистов, данный метод имеет ряд преимуществ (простота использования и возможность самостоятельных занятий, доступность, максимальная безопасность при самостоятельном использовании) по сравнению с другими современными технологиями.

Остается актуальна разработка новых подходов к реабилитации верхней конечности, которые были бы доступными, эффективными и требовали минимального наблюдения при проведении процедуры, в том числе в домашних условиях.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. **Conflict of interest.** The author declares no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки. **Financing.** The study was performed without external funding.

Статья написана в рамках ГЗ — 121031100289–2. Article written within the scope of the state task — 121031100289–2.

ORCID авторов / ORCID of authors:

Вязгина Екатерина Михайловна/
 Vyazgina Ekaterina Mikhailovna
<https://orcid.org/0000-0003-1035-2651>

Иванова Наталия Евгеньевна/
 Ivanova Nataliya Evgen'evna
<https://orcid.org/0000-0003-2790-0191>

Борисов Андрей Валентинович/
 Borisov Andrey Valentinovich
<https://orcid.org/0000-0002-6334-2740>

Полежаева Анна Юрьевна/Polezhaeva Anna Yurjevna
<https://orcid.org/0000-0001-6273-6329>

Тузов Роман Игоревич/Tuzov Roman Igorevich
<https://orcid.org/0000-0002-0147-2451>

Литература/References:

- Adomavičienė A., Daunoravičienė K., Kubilius R., et al. Influence of New Technologies on Post-Stroke Rehabilitation: A Comparison of Armeo Spring to the Kinect System. *Medicina*. 2019; Vol. 55 (4): 98. doi.org/10.3390/medicina55040098
- Freeman C.T., Hughes A.-M., Burrigge J. H., et al. A robotic workstation for stroke rehabilitation of the upper extremity using FES. 2009; 31(3): 364–373. doi.org/10.1016/j.medengphy.2008.05.008
- Carter A.R., Connor L. T., Dromerick A. W. Rehabilitation After Stroke: Current State of the Science. *Neuro Neuroscince Rep*. 2010; 10: 158–166. <https://doi.org/10.1007/s11910-010-0091-9>
- Nerz C., Schwickert L., Becker C. et al. Effectiveness of robot-assisted training added to conventional rehabilitation in patients with humeral fracture early after surgical treatment: protocol of a randomised, controlled, multicentre trial. 2017; *Trials* 18, 589. doi.org/10.1186/s13063-017-2274-z
- Paušić V., Jovanović G., Simić S. Robotics in physical medicine and neurorehabilitation. *Medicinski pregled*. 2021; Vol.74 (1–2): 50–53. doi.org/10.2298/MPNS2102050P
- Meziani Y., Morere Y., Abdelkader A. H. Towards adaptive and finer rehabilitation assessment: A learning framework for kinematic evaluation of upper limb rehabilitation on an Armeo Spring exoskeleton. *Control Engineering Practice*. 2021; Vol. 111: e104804. doi.org/10.1016/j.conengprac.2021.104804
- Scotto di Luzio F., Bagnara S., Tartaglia R., et al. (2019) A Bio-cooperative Robotic System to Ensure Ergonomic Postures During Upper Limb Rehabilitation in Occupational Contexts. *Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018). Advances in Intelligent Systems and Computing*. Vol. 826. Springer. doi.org/10.1007/978-3-319-96065-4_37
- Oña E. D. et al. Robotics in health care: Perspectives of robot-aided interventions in clinical practice for rehabilitation of upper limbs // *Applied sciences*. 2019; Vol. 9 (13): 2586. doi.org/10.3390/app9132586
- Khalid S., Alnajjar A., Gochoo M., Renawi A., Shimoda S. Robotic assistive and rehabilitation devices leading to motor recovery in upper limb: a systematic review. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*. 2021. doi.org/10.1080/17483107.2021.1906960
- Arumugam A., Gururaj S. Effects of game-based rehabilitation on upper limb function in adults within the first six months following stroke: protocol for a systematic review and meta-analysis. *JB* evidence synthesis. 2021; Vol. 19 (8): 1954–1963. doi.org/10.11124/JBIES-20-00349
- Serrano-Lopez-Terradas P. A., Seco-Rubio R. Effectiveness of robotic therapy in the proximal and distal rehabilitation of the upper limb in patients after stroke using the Amadeo® and Armeo® devices: a systematic review of randomized clinical trials// *Studies in Psychology*. 2022: 1–47. doi.org/10.1080/02109395.2021.2009677
- Page S.J., Levine P., Leonard A. C. Effects of mental practice on affected limb use and function in chronic stroke. 2005; Vol. 86(3); 399–402. doi.org/10.1016/j.apmr.2004.10.002
- McGeoch, J.A. Forgetting and the law of disuse. *Psychological Review*. 1932; 39(4), 352–370. doi.org/10.1037/h0069819
- Прокопенко С. В., Можейко Е. Ю. Возможности восстановления тонкой моторики кисти с использованием сенсорной перчатки у больных, перенесших инсульт. *Сибирское медицинское обозрение*. 2014; Т. 2 (86): 72–77. [Prokopenko S. V., Mozheiko E. Yu., Alekseevich G. V. The possibility of restoring the advanced hand activity using the sensorial glove in patients with stroke. *Siberian Medical Review*. 2014; Т. 2 (86): 72–77 (In Russ.)] <https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnosti-vosstanovleniya-tonkoy-motoriki-kisti-s-ispolzovaniem-sensornoy-perchatki-u-bolnyh-perenesshih-insult>
- Иванилова Т. Н., Можейко Е. Ю., Прокопенко С. В. Разработка аппаратной части комплекса беспроводного управления ПК для людей с нарушением двигательных функций. *Южно-Сибирский научный вестник*. 2021; 2: 47–54. [Ivanilova T.N., Mozheiko E. Yu., Prokopenko S.V. Development of the hardware part of the limbtracker complex for wireless PC control for people with impaired motor functions. *South-Seberian Science Vestnik*. 2017; 2: 47–54 (In Russ.)] doi.org/10.25699/SSSB.2021.36.2.027
- Можейко Е. Ю., Прокопенко С. В., Алексеевич Г. В. Оптимизация подходов к восстановлению тонкой моторики кисти с использованием сенсорной перчатки и метода mCIMT. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2017; Т. 117 (10): 101. [Mozheiko E. Yu., Prokopenko S. V., Alekseevich G. V. The optimization of restoration approaches of advanced hand activity using the sensorial glove and the mCIMT method. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry*. 2017; Vol. 117 (10): 101 (In Russ.)] doi.org/10.17116/jnevro2017117101101-105