

Анализ движений больного с постинсультной спастичностью руки при применении ботулинического токсина типа А и мультимодальной стимуляции (клинический случай)

В.Н. Луцик^{✉1}, Е.В. Зайцева¹, С.В. Котов¹, В.К. Мисиков¹, Е.В. Бирюкова²

¹ГБУЗ МО «Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского», Москва, Россия;

²ФГБУН «Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии» РАН, Москва, Россия

[✉]vasilius_2006@mail.ru

Аннотация

Острое нарушение мозгового кровообращения (ОНМК) – наиболее частая неврологическая патология в клинической практике, требующая работы мультидисциплинарной бригады. Постинсультная спастичность (ПС) встречается у преимущественного числа пациентов, перенесших ОНМК, и является одним из наиболее частых двигательных нарушений. На сегодня приоритетным методом терапии ПС для расширения реабилитационного потенциала считаются препараты ботулинического токсина типа А. В статье представлены результаты клинического наблюдения пациента с ПС верхней конечности с применением мультимодальной стимуляции на фоне введения ботулинического токсина типа А в восстановительном периоде ОНМК. В исследовании регистрируется кинематический портрет пациента – изолированные движения, соответствующие всем 7 степеням свободы руки. По итогам регистрации сравниваются биомеханические параметры суставных движений паретичной конечности до ботулинотерапии, на пике эффекта ботулотоксина и после мультимодальной стимуляции.

Ключевые слова: постинсультная спастичность, ишемический инсульт, ботулинотерапия, мультимодальная стимуляция, двигательная функция руки, кинематический портрет, биомеханический анализ.

Для цитирования: Луцик В.Н., Зайцева Е.В., Котов С.В. и др. Анализ движений больного с постинсультной спастичностью руки при применении ботулинического токсина типа А и мультимодальной стимуляции (клинический случай). Consilium Medicum. 2020; 22 (9): 91–95. DOI: 10.26442/20751753.2020.9.200272

Clinical Case

Analysis of movement biomechanics in a patient with post-stroke arm spasticity using type a botulinum toxin and multimodal stimulation (clinical case)

Vasilii N. Lutsik^{✉1}, Elena V. Zaytseva¹, Sergei V. Kotov¹, Viktor K. Misikov¹, Elena V. Biryukova²

¹Vladimirskiy Moscow Regional Research Clinical Institute, Moscow, Russia;

²Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology, Moscow, Russia

[✉]vasilius_2006@mail.ru

Abstract

Acute cerebrovascular accident (stroke) is the most common neurological pathology in clinical practice, requiring the work of a multidisciplinary team. Post-stroke spasticity (PS) occurs in a predominant number of patients who have had stroke and is one of the most common motor disorders. Today, botulinum toxin type A preparations are a priority therapy for PS to expand the rehabilitation potential. The article presents the results of clinical observation of a patient with PS of the upper limb, using multimodal stimulation on the background of the introduction of botulinum toxin type A in the recovery period of stroke. Kinematic portrait of the patient – isolated movements corresponding to all seven degrees of freedom of the arm are recorded. Biomechanical parameters of the joint movements of the paretic limb are compared before botulinum therapy, at the peak of the effect of botulinum toxin, and after multimodal stimulation.

Key words: post-stroke spasticity, ischemic stroke, botulinum therapy, multimodal stimulation, motor function of the arm, kinematic portrait, biomechanical analysis.

For citation: Lutsik V.N., Zaytseva E.V., Kotov S.V. et al. Analysis of movement biomechanics in a patient with post-stroke arm spasticity using type a botulinum toxin and multimodal stimulation (clinical case). Consilium Medicum. 2020; 22 (9): 91–95. DOI: 10.26442/20751753.2020.9.200272

Введение

Острое нарушение мозгового кровообращения (ОНМК) в большинстве случаев приводит к тяжелой инвалидизации пациентов и существенному снижению качества жизни. Синдром спастичности регистрируется у 19–38% больных, перенесших ОНМК [1, 2]. Развитие спастичности обусловлено снижением тормозных влияний на спинальные мотонейроны и интернейроны, что приводит к увеличению количества импульсов, поступающих на α -мотонейроны [3].

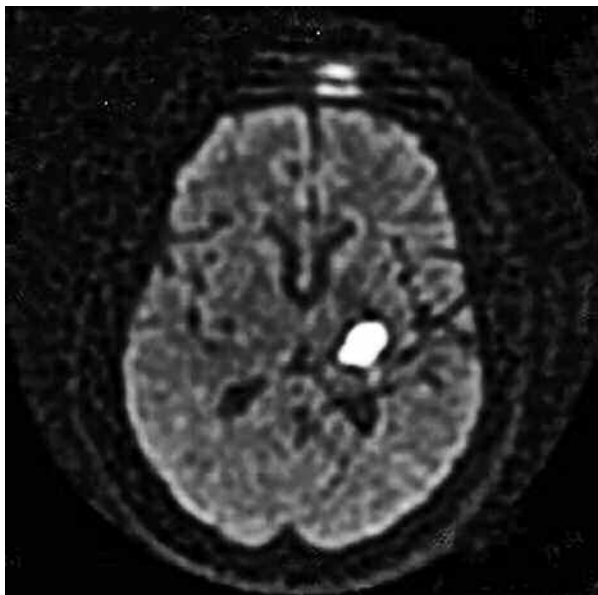
Эффективность ботулинотерапии напрямую зависит от правильности определения мышц-мишеней, участвующих в паттерне спастичности, использования адекватной дозировки препарата и точной локализации места инъекции [4]. Инъекции ботулинического токсина типа А (БТА) проводятся под инструментальным контролем с использованием ультразвуковых методик, рентгеновской компьютерной томографии и электромиографии [5]. В среднем максимальный противоспастический эффект БТА наблюдается через 4–6 нед после введения [6].

В случае успешного проведения ботулинотерапии у пациента создается широкое терапевтическое окно для проведения комплекса реабилитационных мероприятий, направленных на восстановление двигательных функций (ДФ) конечностей [7].

Перспективным направлением современной реабилитации больных с ОНМК и постинсультной спастичностью (ПС) руки является применение принципа мультимодальной стимуляции. Одним из актуальных высокотехнологичных методов стимуляции считается комплекс интерфейс–мозг–компьютер + экзоскелет кисти (ИМК+ЭК) [7–15].

Наш подход к реабилитации пациентов после инсульта предполагает комплексное воздействие, реализуемое через разнонаправленные стимулы в программе мультимодальной стимуляции. Комплекс реабилитационных мероприятий такого рода помимо ИМК+ЭК включает использование таких высокотехнологичных методов, как виброплатформа и стабиллоплатформа, проведение когнитивной стимуляции при помощи современных компьютерных программ наряду

Рис. 1. Магнитно-резонансная томография головного мозга пациента П.



с использованием базовых реабилитационных методик – массажа и лечебной физкультуры.

Цель – продемонстрировать процесс восстановления ДФ руки с применением БТА-терапии и последующей мультимодальной стимуляции на клиническом примере. В качестве клинического примера взят пациент с наиболее тяжелой формой ПС руки и низким реабилитационным потенциалом восстановления ДФ руки. Положительный эффект предложенной терапии может служить основой для ее применения у пациентов с различной степенью поражения ДФ паретичной руки. Для оценки эффективности описанного метода реабилитации применялись как стандартные клинические шкалы, так и инструментальные методы. Для определения функционального состояния пациента использовались индекс Бартел (BI) и шкала Рэнкина (mRS), а для оценки ДФ функций верхней конечности – шкалы Фугл–Майер (FM), ARAT, Asworth (mAS), Британская шкала оценки мышечной силы (MRC-SS). Неоспоримым преимуществом выбранных шкал является их валидизированность, позволяющая сравнивать данные, которые получены в ходе разных исследований [16]. К недостаткам указанных оценочных шкал относится низкая чувствительность к малым изменениям ДФ.

Метод биомеханического анализа широко применяется для оценки ДФ постинсультных больных [17]. Однако исследования эффективности реабилитации, сравнивающие исходное состояние ДФ и полученный после реабилитации результат, немногочисленны [18, 19]. Поэтому наряду с общепринятыми клиническими шкалами нами применялся инструментальный метод регистрации движений с последующим биомеханическим анализом. Показано, что ПС приводит к нарушению координации между суставами и сопровождается замедленными сегментированными движениями [20].

В восстановительном периоде по мере уменьшения спастичности уменьшается и сегментация движений [21]. В качестве биомеханического параметра оценки спастичности в нашей работе применяется число сегментов при выполнении изолированных движений по каждой степени свободы руки.

Клинический случай

Пациент П., 62 года, перенес ишемический инсульт в бассейне правой средней мозговой артерии от 31.03.2017. В клинической картине – глубокий правосторонний геми-

Таблица 1. Мышцы, инъецируемые БТА, у пациента П.

Инъецируемая мышца	Дозировка БТА (инкоботулотоксин), ЕД
Musculus pectoralis major	45
M. brachialis	50
M. brachioradialis	50
M. pronator teres	20
M. flexor digitorum superficialis	45
M. flexor digitorum profundus	45
M. flexor carpi radialis	30
M. flexor pollicis longus	15

парез. Из анамнеза известно, что пациент длительное время страдал гипертонической болезнью 1-й степени, II стадии, риск сердечно-сосудистых осложнений 4. По данным магнитно-резонансной томографии головного мозга признаки инсульта в левой гемисфере, в бассейне левой средней мозговой артерии определялась зона неоднородно пониженной плотности (рис. 1).

В первичном сосудистом отделении пациент получал сосудистую, ноотропную, гипотензивную, антикоагулянтную терапию. Тромболитическая терапия не проводилась. Выписан из сосудистого отделения в стабильном состоянии, в клинической картине сохранялся глубокий правосторонний гемипарез. На протяжении следующих месяцев пациент стал отмечать постепенное нарастание мышечного тонуса в правых конечностях по спастическому типу.

Нарастание ПС руки ограничивало привычную бытовую активность пациента: появились сложности с самостоятельным одеванием, гигиеническими процедурами и приемом пищи, что и являлось причиной госпитализации в ГБУЗ МО «МОНИКИ им. М.Ф. Владимирского». Пациент подписал добровольное информированное согласие на исследование. Поступил в неврологическое отделение 17.11.2017, в этот же день ему проведена ботулинотерапия. Мультимодальная стимуляция выполнялась на пике действия ботулотоксина с 15.12.2017 по 28.12.2017.

Методика лечения и оценки результата

На каждом этапе лечения проводилась оценка состояния пациента по шкалам: FM, ARAT, mAS, mRS, BI, MRC scale. После оценки исходного состояния больного при поступлении для реабилитации избрана тактика введения препарата инкоботулотоксина А (Ксеомин) в целевые мышцы правой верхней конечности для снятия степени выраженности спастичности. Препарат Ксеомин вводился однократно в общей дозировке 300 ЕД (табл. 1).

Помимо шкал для оценки ДФ руки регистрировался кинематический портрет (КП) пациента – до применения БТА, на пике эффективности ботулотоксина (совпадал с началом мультимодальной стимуляции) и по завершении мультимодальной реабилитации.

Биомеханический анализ движения – инструментальный метод оценки ДФ руки. КП пациента включал оценку активных движений в трех крупных суставах руки (плечевом, локтевом и лучезапястном) [19]. В двигательные тесты входили активные движения, соответствующие всем степеням свободы руки: сгибание/разгибание (FE_w) и приведение/отведение (ABD_w) кисти; сгибание/разгибание (FE_e) и пронация/супинация (PS_e) локтя; сгибание/разгибание (FE_s), приведение/отведение (ABD_s) и вращение плеча (ROT_s); рис. 2.

Для регистрации КП нами применена электромагнитная система trakStar (Ascension Technology Corporation, США) с четырьмя датчиками, расположенными на кисти, предплечье, плечо и акромионе лопатки (рис. 3). По данным регистрации вычислялись суставные углы, соответствующие

Рис. 2. Движения в суставах во время регистрации КП.

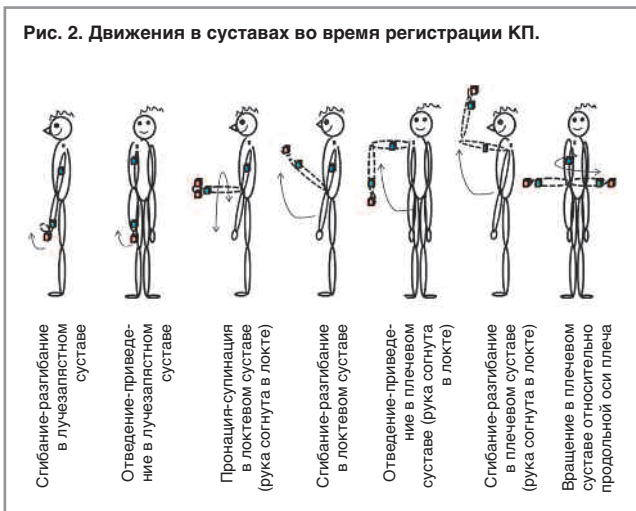


Рис. 3. Положение пациента во время регистрации КП.



перечисленным степеням свободы руки, а также угловые скорости [22]. В качестве оценки спастичности мышц, управляющих каждой степенью свободы руки, принималось число корректирующих движений, которое совпадает с числом локальных максимумов угловой скорости (рис. 4) [23].

Результаты

На основании данных, полученных в ходе оценки по шкалам (табл. 2), отмечено, что после процедуры ботулинотерапии у пациента наблюдались улучшения клинической картины по сравнению с исходным состоянием (1-й визит), которые выражались в снижении спастичности по школе mAS на 1 балл, а также в улучшении ДФ паретичной руки в проксимальном отделе, что демонстрировалось увеличением суммы баллов по шкалы FM и ARAT (2-й визит/пик эффекта БТА).

При оценке биомеханических параметров спастичность мышц, управляющих проксимальными степенями свободы руки, уменьшалась как после курса ботулинотерапии, так и далее, после курса мультимодальной стимуляции.

В качестве примера (см. рис. 4) приведены временные развертки угловых скоростей сгибания в локтевом суставе (FE_e), зарегистрированные во время 1, 2 и 3-го визитов пациента.

Кривая угловой скорости от 1 к 3-му визиту становится все более и более гладкой, что свидетельствует об уменьшении спастичности мышц – сгибателей локтевого сустава, которая проявляется уменьшением числа возвратных движений (см. рис. 4). Кроме того, существенно сокращается время выполнения движения – от 8 с перед началом комплекса процедур до 3 с по их окончании. Это происходит за счет увеличения скорости движения, что, в свою очередь, свидетельствует об увеличении суммарной силы сгибателей локтя.

Уменьшение спастичности имеет место для всех проксимальных степеней свободы – сгибания-разгибания в локтевом суставе (FE_e), отведения-приведения (ABD_s), сгибания-разгибания (FE_s) и вращения относительно продольной оси плеча (ROT_s) в плечевом суставе (рис. 5).

Спастичность мышц-сгибателей и мышц-разгибателей лучезапястного сустава (FE_w) упала после сеанса ботулинотерапии, но несколько возросла после мультимодальной реабилитации, после которой также увеличилась спастичность пронатора предплечья (см. рис. 5). Движение прона-

ции-супинации (PS_e) пациент смог выполнить только после сеанса ботулинотерапии. Движение отведения-приведения в лучезапястном суставе (ABD_w) пациент не смог выполнить, несмотря на проведенный курс лечения.

Обсуждение

В проведенном нами исследовании пациента П. отмечено, что после курса мультимодальной реабилитации (см. табл. 1, 3-й визит) степень выраженности ПС руки оставалась на прежнем уровне, однако выросла мышечная сила в проксимальном отделе руки, появились клинически значимые движения в дистальном отделе конечности, что регистрируется увеличением числа баллов по шкалам FM и ARAT.

Субъективно пациент рассказал, что появилась возможность самостоятельно пользоваться туалетом, проводить гигиенические процедуры и питаться. В результате проведенных мероприятий снизилась степень общей инвалидизации – 3 балла по mRS (см. табл. 1).

Анализ суставных движений пациента в ходе реабилитационных процедур, включающих ботулинотерапию и мультимодальную стимуляцию, показал существенное снижение спастичности мышц проксимальных суставов (см. рис. 4, 5). Эффект снижения спастичности, полученный в результате ботулинотерапии, усилился в результате мультимодальной стимуляции для проксимальных степеней свободы. Инъекции БТА в глубокий и поверхностный сгибатели пальцев (m. flexor digitorum profundus и m. flexor digitorum superficialis) привели к снижению спастичности этих мышц, что проявилось уменьшением числа корректирующих движений при совершении сгибания в лучезапястном суставе

Таблица 2. Оценка пациента П. по шкалам

	mAS	FM	ARAT	MRC-SS	mRS	BI
1-й визит (исходное состояние)	3	8	0	2	4	85
2-й визит (пик эффекта БТА)	2	13	5	2	4	90
3-й визит (мультимодальная стимуляция)	2	15	5	3	3	95

Рис. 4. Угловые скорости сгибания в локтевом суставе до курса ботулинотерапии (1-й визит) – черным, через месяц после курса ботулинотерапии (2-й визит) – серым и после мультимодальной реабилитации (3-й визит) – светло-серым.

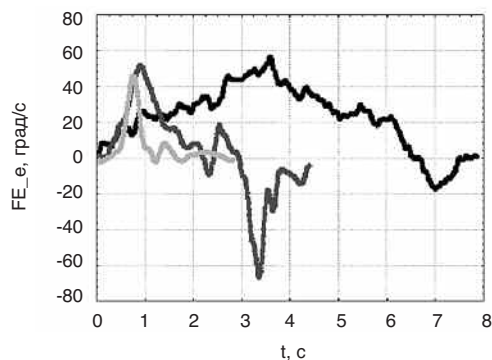
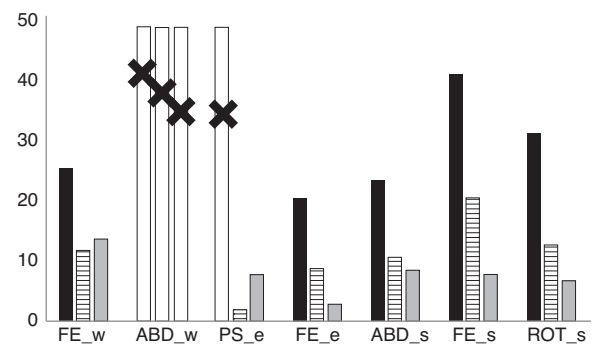


Рис. 5. Спастичность мышц (число локальных максимумов угловой скорости) до курса ботулинотерапии (1-й визит) – черным, через месяц после курса ботулинотерапии (2-й визит) – штрихом и после мультимодальной реабилитации (3-й визит) – серым. Крестиком отмечены движения, которые пациент не смог выполнить.



FE_w (см. рис. 5). Дозировка препарата в 30 ЕД, инъекцированная в лучевую сгибатель запястья (*m. flexor carpi radialis*), оказалась недостаточной для того, чтобы пациент смог выполнить отведение-приведение (*ABD_w*) в лучезапястном суставе. Доза Ксеомина в 20 ЕД, инъекцируемая в круглый пронатор (*m. pronator teres*), оказалась достаточной, чтобы пациент выполнил движение пронации-супинации (*PS_e*), которое он не мог выполнить до курса ботулинотерапии, но недостаточной, чтобы достигнутый эффект сохранился после мультимодальной стимуляции (см. рис. 5).

Таким образом, биомеханический анализ изолированных движений в суставах позволяет численно оценить эффект ботулинотерапии и дать обоснованные рекомендации как по выбору мышц-мишеней, так и по дозировке препаратов.

Полученные результаты по уменьшению спастичности мышц, увеличению скорости движения (см. рис.4) совпадают с данными работы [24], использующей биомеханический анализ движений для оценки эффекта ботулинотерапии. В качестве двигательных тестов в этой работе применяется движение руки к неподвижной цели и анализируется траектория рабочей точки конечности – пальца, попадающего в цель. Таким образом, в отличие от нашего подхода, анализируется конечный результат движений в суставах руки, но не сами суставные движения. Однако именно эти движения позволяют оценить эффект воздействия БТА на мышцы, приводящие суставы в движение. В результате сказанного следует отметить следующее:

1. Уменьшение уровня спастичности с применением БТА увеличило потенциал мультимодальной стимуляции, способствовавшей дальнейшему снижению спастичности, паретичной конечности.

2. На основании анализа биомеханики движений отмечено субклиническое улучшение состояния проксимальных суставов руки пациента, которое невозможно оценить при помощи стандартных клинических шкал оценки ДФ конечности.
3. Биомеханический анализ КП пациента позволил исключить субъективные погрешности при оценке ДФ руки.

Исследование поддержано грантом Российского фонда фундаментальных исследований №19-015-00192, участие Е.В. Бирюковой поддержано финансированием Минобрнауки России, проект RFMEFI60519X0184.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest.

Литература/References

1. Министерство Здравоохранения Российской Федерации, Департамент мониторинга анализа и стратегического развития здравоохранения, ФГБУ «Центральный научно-исследовательский институт организации и информатизации здравоохранения» Минздрава России. Заболеваемость взрослого населения России в 2015 г. Статистические материалы. Ч. 3. М., 2016. [Ministerstvo Zdravookhraneniia Rossiiskoi Federatsii, Departament monitoringa analiza i strategicheskogo razvitiia zdravookhraneniia, FGBU "Tsentral'nyi nauchno-issledovatel'skii institut organizatsii i informatizatsii zdravookhraneniia" Minzdrava Rossii. Zabol'evaemost' vzroslogo naseleniia Rossii v 2015 g. Statisticheskie materialy. Ch. 3. Moscow, 2016 (in Russian).]
2. Wissel J, Manack A, Braunin M. Toward an epidemiology of poststroke spasticity. *Neurology* 2013; 80 (Suppl. 2): S13–19.
3. Парфенов В.А. Спастичность. В кн.: Применение ботокса (токсина ботулизма типа А) в клинической практике. Руководство для врачей. Под ред. О.Р.Орловой, Н.Н.Яхно. М.: Каталог, 2001; с. 91–122. [Parfenov V.A. Spasticity. In the book: The use of botox (botulism toxin type A) in clinical practice. A guide for doctors. Ed. O.R.Orlova, N.N.Yakhno. Moscow: Catalog, 2001; p. 91–122 (in Russian).]
4. Йост В. Иллюстрированный атлас инъекционного использования ботулинического токсина. Дозировка. Локализация. Применение. М.: Квинтэссенция, 2011. [Jost W. Illustrated Atlas of Botulinum Toxin Injection. Dosage. Localization. Application. Moscow: Kvintessentsia, 2011 (in Russian).]
5. Мисиков В.К. Препараты ботулинического токсина типа А в лечении постинсультной спастичности нижней конечности. Клиническое наблюдение. *Невро-мышечные болезни*. 2014; 3: 49–51. [Misikov V.K. Preparaty botulinicheskogo toksina tipa A v lechenii postinsul'tnoi spastichnosti nizhnei konechnosti. Klinicheskoe nabludenie, nervno-myshechnye bolezni. 2014, 3, 49-51 (in Russian).]
6. Орлова О.Р. Применение ботокса (токсина ботулизма типа А) в клинической практике. Руководство для врачей. Под ред. О.Р.Орловой, Н.Н.Яхно. М.: Каталог, 2001. [Orlova O.R. Application of botox (botulism toxin type A) in clinical practice. A guide for doctors. Ed. O.R.Orlova, N.N.Yakhno. Moscow: Katalog, 2001 (in Russian).]
7. Subramanian SK, Feldman AG, Levin MF. Spasticity may obscure motor learning ability after stroke. *J Neurophysiol* 2018; 119 (1): 5–20.
8. Ang KK, Guan C, Chua KS et al. A clinical study of motor 471 imagery-based brain-computer interface for upper limb robotic rehabilitation. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2009; p. 981–4.
9. Ang KK, Guan C, Chua KS et al. Clinical study of neurorehabilitation in stroke using EEG-based motor imagery brain-computer interface with robotic feedback. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. 2010; p. 49–52.
10. Ang KK, Guan C, Phua KS et al. Brain-computer interface-based robotic end effector system for wrist and hand rehabilitation: results of a three-armed randomized controlled trial for chronic stroke. *Front Neuroeng* 2014; 7: 30.
11. Ang KK, Chua KS, Phua KS et al. A Randomized Controlled Trial of EEG-Based Motor Imagery Brain-Computer Interface Robotic Rehabilitation for Stroke. *Clin EEG Neurosci* 2015; 46 (4): 310–20.
12. Ramos-Murguialday A, Broetz D, Rea M et al. Brain-machine interface in chronic stroke rehabilitation: a controlled study. *Ann Neurol* 2013; 74: 100–8.
13. Ono T, Shindo K, Kawashima K et al. Brain-computer interface with somatosensory feedback improves functional recovery from severe hemiplegia due to chronic stroke. *Front Neuroeng* 2014; 7: 7–19.
14. Орлов А.А., Бирюкова Е.В., Бобров П.Д. и др. Способ реабилитации больных после инсульта или травмы с использованием роботизированного комплекса, включающего экзоскелет конечности человека, управляемый через интерфейс мозг-компьютер посредством воображения движений. Патент РФ №2622206. Зарегистрирован 13.06.2017.

- [Frolov A.A., Biriukova E.V., Bobrov P.D. et al. Sposob reabilitatsii bol'nykh posle insulta ili travmy s ispol'zovaniem robotizirovannogo kompleksa, vkluchaiushchego ekzoskelet konechnosti cheloveka, upravliaemyi cherez interfeis mozg-komp'yuter posredstvom voobrazheniia dvizhenii. Patent RF №2622206. Zaregistrirovano 13.06.2017 (in Russian).]
15. Frolov A, Mokienko O, Lukmanov R et al. Post-stroke Rehabilitation Training with a Motor-Imagery-Based Brain-Computer Interface (BCI)-Controlled Hand Exoskeleton: A Randomized Controlled Multicenter Trial. *Front Neurosci* 2017; 11 (400): 1–11.
 16. Луцик В.Н., Котов С.В., Мисиков В.К. Применение препарата ботулинического токсина типа А (incobotulotoxin A) у пациента с постинсультной спастичностью верхней конечности. Описание клинического случая. *Consilium Medicum*. 2018; 20 (9): 30–3.
[Lutsik V.N., Kotov S.V., Misikov V.K. Primenenie preparata botulinicheskogo toksina tipa A (incobotulotoxin A) u patsienta s postinsul'tnoi spastichnost'iu verkhnei konechnosti. Opisaniye klinicheskogo sluchaia. *Consilium Medicum*. 2018; 20 (9): 30–3 (in Russian).]
 17. Alt Murphy MA, Häger CK. Kinematic analysis of the upper extremity after stroke – how far have we reached and what have we grasped? *Phys Ther Rev* 2015; 20: 137–55.
 18. Бирюкова Е.В., Павлова О.Г., Курганская М.Е. Восстановление двигательной функции руки с помощью экзоскелета кисти, управляемого интерфейсом «мозг-компьютер». Случай пациента с обширным поражением мозговых структур. *Физиология человека*. 2016; 42 (1): 19–30.
[Biriukova E.V., Pavlova O.G., Kurganskaia M.E. Vosstanovlenie dvigatel'noi funktsii ruki s pomoshch'iu ekzoskeleta kisti, upravliaemogo interfeisom "mozg-komp'yuter". Sluchai patsienta s obshirnym porazheniem mozgovykh struktur. *Fiziologiya cheloveka*. 2016; 42 (1): 19–30 (in Russian).]
 19. Кондур А.А., Бирюкова Е.В., Котов С.В. и др. Кинематический портрет пациента как объективный показатель состояния двигательной функции в процессе нейрореабилитации с использованием экзоскелета руки, управляемого интерфейсом мозг-компьютер. Ученые записки Санкт-Петербургского мед. ун-та им. И.П.Павлова. 2016; 23 (3): 28–31.
[Kondur A.A., Biriukova E.V., Kotov S.V. et al. Kinematicheskii portret patsienta kak obektivnyi pokazatel' sostoianii dvigatel'noi funktsii v protsesse neiroreabilitatsii s ispol'zovaniem ekzoskeleta ruki, upravliaemogo interfeisom mozg-komp'yuter. *Uchenye zapiski Sankt-Peterburgskogo med. un-ta im. I.P.Pavlova*. 2016; 23 (3): 28–31 (in Russian).]
 20. Levin MF. Interjoint coordination during pointing movements is disrupted in spastic hemiparesis. *Brain* 1996; 119: 281–93.
 21. Rohrer B, Fasoli S, Krebs HI et al. Submovements grow larger, fewer, and more blended during stroke recovery. *Motor Control* 2004; 8: 472–83.
 22. Biryukova EV, Roby-Brami A, Frolov AA, Mokhtari M. Kinematics of human arm reconstructed from Spatial Tracking System recordings. *J Biomechanics* 2000; 33 (8): 985–95.
 23. Chang JJ, Wu TI, Wu WL, Su FC. Kinematical measure for spastic reaching in children with cerebral palsy. *Clin Biomech* 2005; 22 (2): 165–75.
 24. Bensmail D, Robertson JVG, Fermanian C, Roby-Brami A. Botulinum toxin to treat upper-limb spasticity in hemiparetic patients: analysis of function and kinematics of reaching movements. *Neuro-rehab Neural Repair* 2010; 24 (3): 273–81.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Луцик Василий Николаевич – аспирант каф. неврологии ФУВ ГБУЗ МО «МОНИКИ им. М.Ф. Владимирского». E-mail: vasilius_2006@mail.ru

Зайцева Елена Викторовна – мл. науч. сотр. каф. неврологии ФУВ ГБУЗ МО «МОНИКИ им. М.Ф. Владимирского»

Котов Сергей Викторович – д-р мед. наук, проф., рук. отд. терапии, зав. каф. неврологии ФУВ ГБУЗ МО «МОНИКИ им. М.Ф. Владимирского». E-mail: kotovsv@yandex.ru

Мисиков Виктор Казбекович – канд. мед. наук, доц. каф. неврологии ФУВ ГБУЗ МО «МОНИКИ им. М.Ф. Владимирского». E-mail: 1901victor@mail.ru

Бирюкова Елена Владимировна – канд. биол. наук, ст. науч. сотр. лаб. математической нейробиологии обучения ФГБУН «Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии». E-mail: ebiryukova@mail.ru

Vasilii N. Lutsik – Graduate Student, Vladimirskiy Moscow Regional Research Clinical Institute. E-mail: vasilius_2006@mail.ru

Elena V. Zaytseva – Research Assistant, Vladimirskiy Moscow Regional Research Clinical Institute

Sergei V. Kotov – D. Sci. (Med.), Prof., Vladimirskiy Moscow Regional Research Clinical Institute. E-mail: kotovsv@yandex.ru

Viktor K. Misikov – Cand. Sci. (Med.), Vladimirskiy Moscow Regional Research Clinical Institute. E-mail: 1901victor@mail.ru

Elena V. Biryukova – Cand. Sci. (Biol.), Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology. E-mail: ebiryukova@mail.ru

Статья поступила в редакцию / The article received: 20.07.2020

Статья принята к печати / The article approved for publication: 20.11.2020