

Нейрореабилитация (нейробиоуправление) в виртуальной сети

Гук Р.Ю.¹, Тарасов Е.А.², Скляр М.М.²

Neurorehabilitation (neurobiofeedback) in virtual network

Guk R.Yu., Tarasov Ye.A., Sklyar M.M.

¹ Сибирский клинический центр ФМБА России, г. Красноярск

² НИИ молекулярной биологии и биофизики СО РАМН, г. Новосибирск

© Гук Р.Ю., Тарасов Е.А., Скляр М.М.

Представлены результаты второго этапа проекта сетевой нейрореабилитации, обращенной к механизмам саморегуляции, активированным средствами электромиографического биоуправления. Приведены данные об эффективности биоуправления в домашних условиях при лечении последствий периферических парезов и позвоночно-спинальной травмы.

Ключевые слова: нейробиоуправление, сетевая нейрореабилитация, травма периферической нервной системы, позвоночно-спинальная травма.

In this paper we discuss the results of the second stage of the network rehabilitation based on the mechanisms of self-regulation which are activated by using of electromyography biofeedback. The data on the efficiency of the use of biofeedback technology in treatment of periphery paresis and spinal injuries at home are given.

Key words: neurobiofeedback, periphery nervous system injury, spinal injury.

УДК 612.821

Введение

Реабилитация больных с центральными и периферическими парезами в домашних условиях, когда врач наблюдает за пациентом через Интернет, ведется с 2007 г. по предложению и под руководством академика РАМН М.Б. Штарка (НИИ молекулярной биологии и биофизики (НИИМББ) СО РАМН, г. Новосибирск) при финансовой поддержке фонда «СМ. черити». Представленная работа является продолжением долгосрочного проекта НИИМББ, фонда «СМ. черити» и Сибирского клинического центра (г. Красноярск) и предусматривает реализацию дистанционных алгоритмов лечебно-реабилитационного процесса и имеет две стадии внедрения:

1) стационарную, которая включает отбор больных для участия в проекте в кабинете биоуправления в клинике, полное их обследование, подбор индивидуальных программ тренировок технологии биоуправления по электромиографии (ЭМГ) с помощью программно-аппаратного комплекса «БОСЛАБ-МИО-М», обучение больных самостоятельному его использованию и владению программой «БОСЛАБ-Пациент» для передачи результатов тренинга врачу-реабилитологу;

2) домашнюю, в рамках которой пациент самостоятельно или с помощью родственников проводит тренировки средствами электромиографического биоуправления («БОСЛАБ-МИО-М»), передает данные посредством сети Интернет врачу-реабилитологу и получает откорректированные протоколы для дальнейших нейрореабилитационных занятий. При необходимости контроля мест наложения электродов, слежения за процедурой тренинга, срочных рекомендаций и прочего возможно использование web-камеры через программу Skype (рис. 1).

Таким образом, основной целью проекта является использование возможности применения новых реабилитационных технологий в домашних условиях, центральным местом здесь предлагается использование биоуправления по ЭМГ, хотя в распоряжении пациента есть весь арсенал параметров, оценивающих функции сердечно-сосудистой, респираторной, центральной нервной систем, которые могут применяться по показаниям реабилитолога. Врач-реабилитолог получает возможность анализировать и корректировать программы тренинга на расстоянии (через Интернет) как в режиме on-line, так и в off-line.



Рис. 1. Работа реабилитолога в режиме Skype

В первом этапе, продолжавшемся 6 мес, участвовали шесть пациентов, полученные результаты были опубликованы в 2008 г. [3]. В данной статье оцениваются и предварительно анализируются результаты промежуточного этапа развития проекта дистанционного биоуправления, апробированного на большем количестве пациентов.

Сущность технологии биоуправления заключается в том, что пациент из пассивного потребителя реабилитационных услуг становится активным участником лечебно-восстановительного процесса [5—7]. Суть технологии состоит в возврате пациенту на экран компьютерного монитора и в аудиоформе текущих значений его физиологических показателей, определяемых клиническим протоколом (протокол — совокупность условий, регламентирующих проведение процедуры).

Согласно определению Американской ассоциации прикладной психофизиологии и биологической обратной связи (AAPB), биоуправление является нефармакологическим методом лечения и восстановления функций с использованием специальной аппаратуры для регистрации, усиления и «обратного возврата» пациенту физиологической информации. Основным принципом технологии является обучение саморегуляции: обратная связь облегчает процесс обучения физиологическому контролю так же, как процесс обучения любому искусству. Оборудование делает доступной для пациента информацию, в обычных условиях им не воспринимаемую [8].

Схематично процедура заключается в непрерывном мониторинге определенных электрофизиологиче-

ских показателей и подкрепление с помощью мультимедийных, игровых и других приемов заданной области значений. Другими словами, БОС-интерфейс представляет для человека своего рода «физиологическое зеркало», в котором отражаются его внутренние процессы. Таким образом, в течение курса возможно усилить или ослабить физиологический параметр, а значит, уровень тонической активации той регуляторной системы, активность которой он отражает. Например, биоуправление по электромиограмме предоставляет уникальную возможность моторного обучения, поскольку пациент может оценивать свои мышечные усилия, направленные на увеличение или, наоборот, расслабление их в пороговом режиме. Необходимым компонентом и условием проведения обучения выступает мотивация на достижение результата, умение формирования которой у испытуемого является важным элементом профессионализма реабилитолога.

Системная компонента дистанционной реабилитации

Системная компонента дистанционного биоуправления, объединенная общим протоколом, организована по трехуровневому принципу.

На первом уровне (компьютер пациента) располагаются источники данных — внутренние регистрирующие системы («БОСЛАБ», «БОС-Пульс», справочные системы, внешние источники информации). Здесь же находятся приложения первичного анализа, очистки и компрессии данных.

Второй представляет собой распределенное хранилище данных, поступающих от источников первого уровня; здесь же содержится информация оперативного управления и анализа (один или несколько серверов, объединенных в локальную высокоскоростную сеть, на которых установлены пакеты работы с реляционными базами данных).

Третий — это набор предметно-ориентированных OLAP-приложений для представления и анализа данных, дистанционного мониторинга врачом динамики лечебно-реабилитационного процесса: статистические элементы сравнения эффективности, многомерные динамические характеристики процедур, прогностические критерии. Приложения представлены как специализированными программами, установленными на компьютере конечного пользователя, так и частью

программного обеспечения интернет-сервера (портала) (рис. 2).



Рис. 2. Схема дистанционного биоуправления

Материал и методы

Второй этап продолжался 4 мес (февраль — май 2009 г.) с участием 11 пациентов: семь из них с последствиями позвоночно-спинальной травмы (ПСТ), два — с острым нарушением мозгового кровообра-

нения (ОНМК), по одному с поражением периферической нервной системы и с последствиями тяжелой закрытой черепно-мозговой травмы (ЗЧМТ), сопровождавшимися двигательными нарушениями, осложненными тревожно-депрессивным синдромом. Общая характеристика наблюдаемых больных представлена в таблице.

До и после курса дистанционного биоуправления исследовались неврологический статус, объем произвольных движений в конечностях (углометрия), окружность конечностей, степень спастичности (шкала Ашворта), степень тревоги и депрессии (шкала Гамильтона), степень функциональной независимости (индекс Бартелла). Использованы фотографии и видеозаписи. Каждому пациенту был составлен индивидуальный курс биоуправления, занятия проводились ежедневно самостоятельно, отчеты передавались по электронной почте врачу-неврологу (реабилитологу) или через Интернет; сессии тренинга были направлены на укрепление мышечного корсета и мышц конечностей.

Общая характеристика наблюдаемых больных

Пациент	Диагноз	Уровень поражения	Возраст, лет	Двигательный синдром	Мышечный тонус по шкале Ашфорта	Выраженность депрессии (по шкале Гамильтона), балл	Индекс Бартелла, балл	Степень повреждения спинного мозга по классификации ISCSCI	Оценка динамики восстановления функций нервной системы
М.	ПСТ	L3	22	Нижний периферический парализ	0	6	70	C	Очень хорошая
А.	ПСТ	L2	23	Нижний периферический парализ	0	5	80	C	Очень хорошая
Щ.	ПСТ	L1	43	Нижний комбинированный парализ	1	6	90	D	Отличная
П.	ПСТ	L1	44	Нижний спастический парализ	1	9	75	C	Хорошая
О.	ПСТ	T9	30	Нижний спастический парализ	3	4	75	A	Удовлетворительная
Р.	ПСТ	T11	37	Нижний спастический парализ	3	5	75	B	Низкая
Т.	ПСТ	T7	27	Нижний спастический парализ	3	6	65	B	Хорошая
С.	ОНМК	Бассейн ПСМА	56	Умеренный левосторонний гемипарез	1	17	95		Хорошая
Д.	ОНМК	Бассейн ПСМА	62	Умеренный левосторонний гемипарез	1	4	105		Удовлетворительная
К.	Плексопатия правого плеча	Вторичные пучки плече-	23	Выраженный периферический парез	0	14	105		Хорошая

	плечевого сплетения	вого сплетения		правой руки				
П.	ЗЧМТ	Головной мозг	37	Центральный монопарез левой ноги	2	10	105	Удовлетворительная

Результаты и обсуждение

В результате проведенного лечения у 10 из 11 больных наблюдалась объективная положительная динамика (разной степени выраженности) как в неврологическом статусе (увеличение амплитуды сокращений тренируемых мышц, улучшение дифференциации активности скелетной мускулатуры между левой и правой половинами тела, снижение уровня гипестезии, улучшение проприоцептивной чувствительности, уменьшение спастичности в мышцах ног), так и в приобретении новых двигательных навыков.

В качестве первого примера ниже приведены данные больной Щ. (рис. 3) с диагнозом «последствия перенесенной вертебральной травмы от 13.07.2007 (взрывной перелом тела L1), повреждение спинного мозга с синдромом нижнего комбинированного парапареза, проводниковыми нарушениями чувствительности, тазовыми дисфункциями по центральному типу», показавшей лучший результат восстановления функций нервной системы в режиме дистанционного нейробиоуправления.



Рис. 3. Больная Щ. Общий вид

Из неврологического статуса в начале проекта. Объем движений: в тазобедренном суставе разгибание-сгибание справа $25^{\circ}/0^{\circ}/90^{\circ}$, слева $20^{\circ}/0^{\circ}/90^{\circ}$; отведение-приведение справа $20^{\circ}/0^{\circ}/37^{\circ}$, слева $30^{\circ}/0^{\circ}/40^{\circ}$; в ко-

ленном суставе сгибание 100° с обеих сторон; в голеностопном суставе тыльное сгибание — подошвенное сгибание справа $2^{\circ}/0^{\circ}/0^{\circ}$, слева $15^{\circ}/0^{\circ}/33^{\circ}$. Сила мышц в руках 5 баллов, в ногах — парез (сгибатели бедра, разгибатели колена — 5 баллов, тыльные сгибатели стопы справа — 2 балла, слева — 3 балла, разгибатели большого пальца, подошвенные сгибатели стопы — 1 балл с обеих сторон, ягодичные мышцы — 3 балла с обеих сторон). Мышечный тонус повышен в икроножных и ягодичных мышцах — 1-я степень по шкале Эшворта. Болевая гипестезия с уровня L5. Глубокая чувствительность не нарушена.

Тренировки были направлены на укрепление *m. gluteus maximus* с обеих сторон, участвующих в выпрямлении согнутого вперед туловища, разгибании бедра. За время участия в проекте научилась ходить с помощью одной четырехопорной трости; садиться, присесть, вставать без помощи рук; самостоятельно подниматься и спускаться по лестнице (до 7-го этажа), разводить ноги в стороны в положении сидя; стоять без опоры до 1 мин. Увеличилась сила в ягодичных мышцах на 1,5 балла (с 3 до 4,5). Увеличился объем активных движений в тазобедренном суставе на $10\text{—}20^{\circ}$. Снижился уровень гипестезии с L5 до S3. Мышечный тонус уменьшился в ягодичных мышцах. Оценка двигательного поведения по Л.Д. Потехину улучшилась: сидение с уровня компенсации (УК) 3 до 4, стояние на двух ногах с УК 2 до 4. Индекс Бартелла увеличился с 90 до 105 баллов. Произошло увеличение амплитуды электромиограммы тренируемых мышц и улучшение управления ими, о чем свидетельствует более четкий вид графиков после проведения курса биоуправления (рис. 4).

В качестве второго примера приведены данные больного Р. с диагнозом «последствия закрытой осложненной травмы нижнегрудного отдела позвоночника от 03.07.2004. Консолидированный перелом тела позвонка Th11 без смещения, перелом дужки Th11. Ушиб спинного мозга с грубым нижним спастическим парапарезом, проводниковыми расстройствами чувствительности, НФТО. Нейрогенный мочевой пузырь по гипотоническому типу». Участие в проекте не принесло пациенту никаких результатов.

Из неврологического статуса в начале проекта. Объем движений в руках полный. Сила мышц в руках 5 баллов, в ногах — плегия. Мышечный тонус в руках нормальный, в ногах повышен до 3 баллов по шкале Эшворта. Снижение мышечной силы в мышцах туловища. Болевая гипестезия с уровня Th11. Отсутствие глубокой чувствительности в правой ноге, в левой ноге — гипестезия проприоцепции.

Измерение окружностей конечностей: бедро левое — 46,5 см; правое — 45,5; голень левая — 38; правая — 37,5 см. Самостоятельно может умываться, есть, пересаживаться из коляски в кровать, поворачивается с помощью рук, перекладывая ноги маховым движением туловища, при наклонах туловища в позе сидя придерживается руками, вертикальную позу в аппаратах, коленоупоре поддерживает с помощью рук.

Тренировки были направлены на усиление мышечного корсета (*m. erector trunci*). За время участия в проекте в неврологическом статусе пациента изменений не произошло, амплитуда электромиограммы тренируемых мышц не увеличилась, несколько улучшилось управление ими.

В качестве третьего примера рассмотрим данные больного К. с диагнозом: посттравматическая плексопатия правого плечевого сплетения с выраженным

периферическим парезом правой руки. В июле 2006 г. пациент получил сочетанную травму при ДТП: косой перелом нижней трети левого плеча со смещением, сдавлением лучевого нерва в рубцах. Посттравматический неврит лучевого нерва слева, травматический плексит справа (отрыв вторичных пучков), сотрясение головного мозга. В июле 2006 г. находился на лечении в нейрохирургическом отделении, где было произведено ошибочное сшивание нервных стволов, когда *m. triceps* получила частично иннервацию *m. biceps*.

Из неврологического статуса в начале проекта. Ограничение объема активных движений в правой руке: в локтевом суставе выполняется активно только пронация на 70°, в лучезапястном — флексия на 60°. При сгибании правой руки в локтевом суставе (напряжении *m. biceps*) в работу активно включается — *m. triceps*, что приводит к разгибанию руки. Гипотрофия мышц правой руки: окружность плеча и предплечья справа на 4,5 см меньше, чем слева; гипотрофия мышц кисти (тенара, гипотенара, межкостных мышц), сгибательное положение пальцев правой кисти. Сила мышц: трицепс — 4 балла, бицепс — 2 баллов, сгибатели кисти — 3 балла, разгибатели кисти — 0 баллов. Тонус мышц в правой руке низкий.

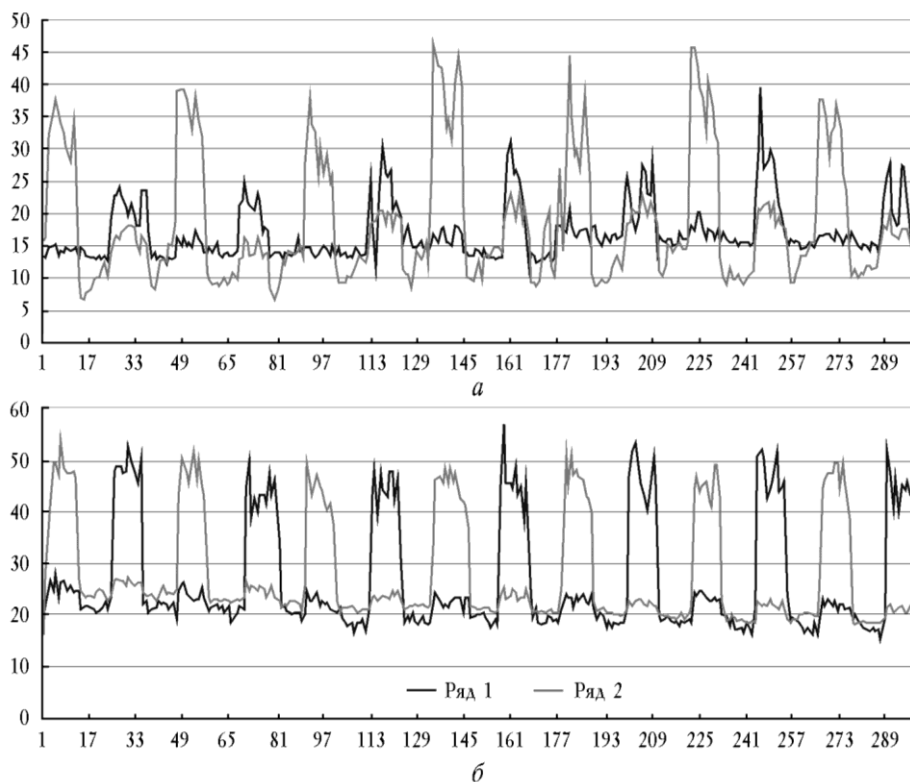


Рис. 4. Показатели пациентки Щ.: а — интегральная (усредненные за 3 с значения сигнала) электромиограмма *m. gluteus maximus dextr* и *sin.* в начале лечения; б — интегральная (усредненные за 3 с значения сигнала) электромиограмма *m. gluteus maximus dextr* и *sin.* через 4 мес тренировок

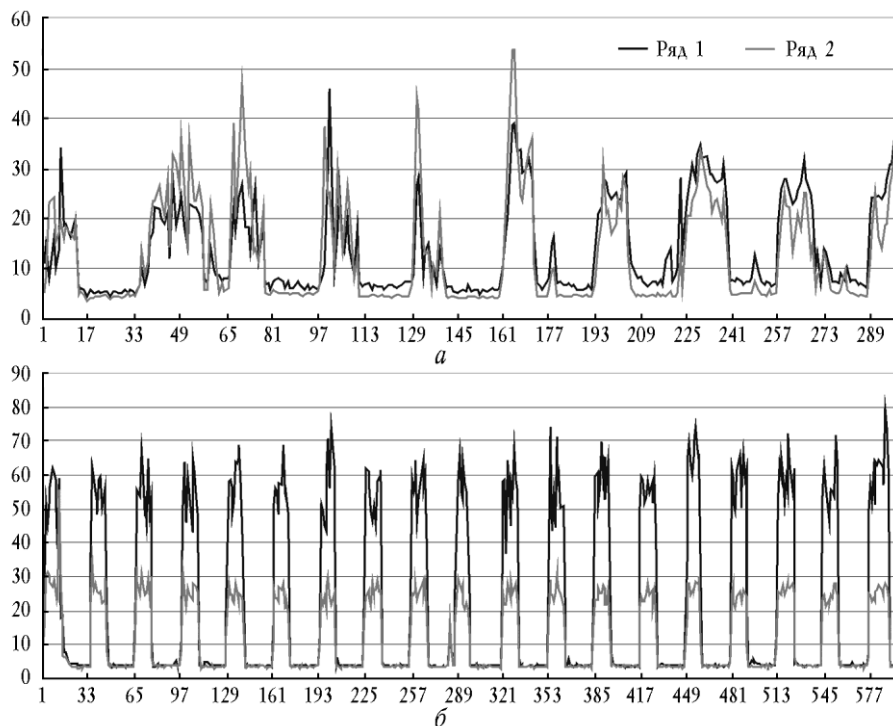


Рис. 5. Показатели пациента К.: *a* — интегральная (усредненные за 3 с значения сигнала) электромиограмма *m. biceps* — 1 ряд и *m. triceps* — 2 ряд в начале лечения; *b* — интегральная (усредненные за 3 с значения сигнала) электромиограмма *m. biceps* — 1 ряд и *m. triceps* — 2 ряд через 3,5 мес тренировки

В области наружной поверхности плеча — зона гиперестезии с парестезиями в виде простреливающих до кисти острых болей, гипестезия по наружной ульнарной и радиальной поверхности предплечья и кисти. Гиперпатия на холодовой раздражитель ладонной поверхности правой кисти.

Тренировки были направлены на улучшение работы антагонистов — напряжение *m. biceps* с одновременным расслаблением *m. triceps*. За время участия в проекте стал сгибать правую руку в локтевом суставе, поднимать согнутыми пальцами предметы массой до 5 кг, заводить руку за голову; уменьшилась зона гипестезии в области предплечья, не возникают парестезии в области правого плеча, уменьшилась интенсивность парестезий на холодовой раздражитель в области ладони правой кисти.

Увеличилась сила трицепса на 0,8 балла; сгибателей кисти на 1 балл. Увеличился объем активных движений в локтевом суставе справа: пронация на 10°; в лучезапястном — флексия на 10°. Улучшилась раздельная работа антагонистов — бицепса и трицепса, о чем свидетельствуют данные ЭМГ через 3,5 мес занятий (рис. 5).

Заключение

Обобщение результатов, полученных на первом и втором этапах сетевой нейрореабилитации, позволяет говорить о возможном составлении рейтинга прогностических признаков по некоторым объективным и субъективным маркерам. Наиболее изменчивым из них являлась амплитуда сокращений мышц на электромиограмме, напрямую зависящая от мышечной силы. Стабильное увеличение амплитуды в первые 10—20 дней занятий является положительным прогностическим признаком. Как следствие повышения силы тренируемых мышц происходит увеличение окружностей конечностей и объема движений в суставах. Часто увеличение амплитуды сокращений у спинальных больных сопровождается улучшением на 2—3 сегмента поверхностной чувствительности в первые 2 мес, в дальнейшем поверхностная чувствительность не изменялась. Иногда, значительно позже (со 2-го мес) начинали меняться глубокие виды чувствительности: чувство давления и мышечно-суставное чувство. У от-

дельных больных наблюдалось снижение мышечного тонуса на 1 балл. Хорошая динамика восстановления функций нервной системы среди спинальных больных отмечалась при пояснично-крестцовом уровне поражения, когда повышение мышечного тонуса в нижних конечностях отсутствовало или было не более 1 балла по шкале Ашворта, больной мог произвольно вызывать минимальные сокращения некоторых скелетных мышц. Наиболее эффективно и быстро восстановление шло, если начальная амплитуда сокращений по ЭМГ составляла не менее 30—40 мкВ, при амплитуде до 20 мкВ восстановление происходило значительно медленнее (для увеличения амплитуды в 2 раза требовалось около 6 мес). Слабая динамика или ее отсутствие наблюдались при нижнегрудном уровне поражения, когда в нижних конечностях мышечный тонус составлял 3 балла по шкале Ашворта и значительно ограничивал двигательную активность больного, а также полностью отсутствовали произвольные сокращения мышц ног. Хорошие результаты были получены у больных с последствиями тяжелой ЗЧМТ, периферическим поражением нервной системы. Восстановление функций у больных, перенесших ОНМК, было лимитировано сниженной пластичностью головного мозга в результате цереброваскулярной болезни и сопутствующей кардиологической патологии, а также отсутствием навыков пользования персональным компьютером, когнитивными нарушениями.

Восстановление двигательных функций — процесс длительный и трудоемкий, не укладывающийся в рамки стационарного лечения, больным нужно продолжать занятия дома, и биоуправление является альтернативной технологией, объективно отражающей и контролирующей эффективность выполнения упражнений в домашних условиях. Этим обусловлена необходимость организации специализированной нейрореабилитационной сети. Ежедневное вовлечение в реабилитационный процесс больных и их родственников, а также постоянная связь с «сервером-невропатологом» — один из предпочтительных путей приближения реабилитационной помощи к пациентам с тяжелыми двигательными нарушениями. Централизация полученных данных позволяет реализовать независимость специалиста-реабилитолога от местопо-

ложения рабочего места, расширяет перспективы дистанционных программ нейрореабилитации.

Литература

1. Аксёнов Д.П. Диагностическая значимость метода биоуправления // Биоуправление-4. Новосибирск, 2002. 340 с.
2. Амелина О.А. Травма спинного мозга // Клиническая неврология с основами медико-социальной экспертизы / под ред. А.Ю. Макарова. СПб.: ООО «Золотой век», 1998. С. 232—248.
3. Гук Р.Ю., Воронинский В.А., Циркин Г.М. и др. Сетевая нейрореабилитация // Вестн. восстанов. медицины. 2008. № 4 (26). С. 47—50.
4. Гусарова В.М., Черникова Л.А., Ланская Л.Д., Иоффе М.Е. Применение метода биоуправления с обратной связью по электромиограмме при тренировке точностного схвата у больных с постинсультными гемипарезами // Медицинская реабилитация пациентов с заболеваниями и повреждениями опорно-двигательной и нервной систем. М., 2004. С. 367—369.
5. Джафарова О.А., Донская О.Г., Соколов А.В. и др. Программно-аппаратный комплекс БОСЛАБ. Траектория развития // Биоуправление-4. Новосибирск, 2002. 340 с.
6. Джафарова О.А., Штарк М.Б. Компьютерные системы биоуправления: тенденции развития // Медицинская техника. М.: Медицина, 2002. 1. С. 34—35.
7. Шестакова М.В., Ланская Л.Д., Билименко А.Е. и др. Обучение произвольному контролю ЭМГ со зрительной обратной связью в норме и у больных с постинсультными гемипарезами: роль зрительной и проприоцептивной афферентации // Материалы междунар. симп. «Механизмы адаптивного поведения», посвящ. 80-летию организации Ин-та физиологии им. И.П. Павлова РАН. М., 2005. С. 6.
8. Schwartz M.S. Biofeedback: A practitioner's guide. 2nd ed. N. Y.: Guilford Press, 1995.

Поступила в редакцию 08.12.2009 г.

Утверждена к печати 22.12.2009 г.

Сведения об авторах

Р.Ю. Гук — канд. мед. наук, врач-реабилитолог Сибирского клинического центра ФМБА России (г. Красноярск).

Е.А. Тарасов — старший научный сотрудник лаборатории компьютерных систем биоуправления НИИМББ СО РАМН (г. Новосибирск).

М.М. Склад — младший научный сотрудник лаборатории компьютерных систем биоуправления НИИМББ СО РАМН (г. Новосибирск).

Для корреспонденции

Гук Руслана Юрьевна, e-mail: ruslana-guk@yandex.ru