



Использование прямых и обратных связей в системе человек-машина при устранении рисков функциональной надежности специалиста

Чжун О.С., Семикин Г.И., Федотчев А.И.

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ:

Получено: 11.11.2015
Опубликовано: 30.12.2015

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

система человек-машина, прямые и обратные взаимодействия, надежность человека-оператора, устранение рисков, обезболивающая электростимуляция, обратная связь по дыханию

АННОТАЦИЯ:

Одним из негативных аспектов взаимодействий в системе человек-машина является формирование профессиональных болевых синдромов, снижающих надежность человека-оператора и требующих своевременного лечения. В работе анализируется возможность использования позитивного аспекта взаимодействия человек-машина. В частности, предложен подход к обезболиванию электро-нейростимуляцией, в котором взаимодействие между пациентом и лечебным прибором осуществляется через сигналы обратной связи от ритма дыхания пациента, которые обеспечивают автоматическое управление параметрами стимулирующего тока. Представлены положительные результаты экспериментального тестирования разработанной технологии в условиях, близких к клиническим.

Utilization of forward and backward interactions in human-machine system for elimination of specialist's functional reliability risks

Oh Sang Joon¹, Gennady Semikin¹, Alexander Fedotchev²

¹ Bauman Moscow State Technical University, Moscow;

² Institute of Cell Biophysics, Russian Academy of Sciences, Pushchino

ARTICLE INFO:

Received: 11.11.2015
Accepted: 30.12.2015

KEYWORDS:

human-machine system, forward and backward interaction, the reliability of human operator, elimination of risks, analgesic electrical stimulation, feedback from patient's breathing rate.

ABSTRACT:

One of the negative aspects of the interactions in the human-machine systems is the formation of professional pain syndromes, reducing the reliability of human operator and requiring prompt treatment. The paper analyzes the possibility of using the positive aspect of human-machine interaction. In particular, the approach to analgesic electro-neurostimulation is proposed in which the interaction between the patient and the medical device is mediated through the feedback signals from the patient's breathing rhythm. It provides automatic control of the parameters of the stimulating current. Positive results of the pilot testing of the technology in the conditions close to clinical are presented.

CITATION

Чжун О.С., Семикин Г.И., Федотчев А.И. Использование прямых и обратных связей в системе человек-машина при устранении рисков функциональной надежности специалиста // *Живая психология*. — 2015. — Том 2. — № 4. — doi: 10.18334/lp.2.4.35130

Oh Sang Joon, Gennady Semikin, Alexander Fedotchev (2015). Utilization of forward and backward interactions in human-machine system for elimination of specialist's functional reliability risks. *Russian Journal of Humanistic Psychology*, 2(4) doi: 10.18334/lp.2.4.35130



Одним из негативных аспектов взаимодействий в системе человек-машина является формирование профессиональных болевых синдромов, снижающих надежность человека-оператора и требующих своевременного лечения. В работе анализируется возможность использования позитивного аспекта взаимодействия человек-машина. В частности, предложен подход к обезболивающей электростимуляции, в котором взаимодействие между пациентом и лечебным прибором осуществляется через сигналы обратной связи от ритма дыхания пациента, которые обеспечивают автоматическое управление параметрами стимулирующего тока. Представлены положительные результаты экспериментального тестирования разработанной технологии в условиях, близких к клиническим.

1. Введение

Одним из наиболее актуальных направлений современных инженерно-психологических исследований является разработка проблемы надежности человека-оператора, которая определяется как совокупность свойств человека, обеспечивающая выполнение им требуемых функций в системе «человек-машина» [БПС, 2004]. Данная проблема включает в себя, по крайней мере, две составляющие: биологическую надежность, учитывающую устойчивые отказы человека, причинами которых могут быть болезнь, сон, утомление и т.д., и психологическую надежность, учитывающую ошибки в работе оператора [Душков и др., 2005].

Среди многих факторов, оказывающих отрицательное влияние на биологическую надежность человека-оператора, особую значимость приобретают

профессиональные болевые синдромы. Известно, что у операторов клавишных технических устройств, у программистов при постоянной работе с компьютером или у водителей при длительных поездках за рулем часто развиваются функционально обусловленные болевые симптомы в области рук или шеи [Забаровский, Анацкая, 2009; Casale et al., 2013]. Причинами являются сверхбыстрый набор текста в течение долгого времени, тяжелая, «тугая» клавиатура или руль автомобиля, отсутствие опоры для локтя и запястья при работе и т.д. В результате защемления нервных окончаний возникают боли в руках и шее, отеки, онемение и нарушение мелкой моторики кисти вплоть до того, что специалист не может взять в руки чашку, причесаться или подписаться на документе. Если не принять меры к своевременной коррекции этих функциональных нарушений, они могут прогрессировать вплоть до резкого ухудшения качества жизни и необходимости сменить работу.

В последнее время наблюдается тенденция к отказу от медикаментозного лечения болевых расстройств или его сочетанию с различными нелекарственными средствами лечения боли [Wright, 2012]. Обусловлено это многочисленными проявлениями негативных побочных эффектов при приеме фармакологических препаратов, развитием наркотического пристрастия при их частом приеме и направленностью большинства обезболивающих препаратов на устранение следствий, а не причин патологических состояний.

Среди большого разнообразия нелекарственных подходов к устранению болевых синдромов важное место принадлежит различным методам электростимуляции, в частности, электростимуляции периферических нервов



[Stanton-Hicks et al., 2011]. Особенно перспективным является метод транскутанной электронейростимуляции (ТЭНС), который заключается в стимуляции периферических нервов короткими электрическими импульсами, прикладываемыми к интактной поверхности кожи. ТЭНС оказывает обезболивающее действие через активацию центральных структур мозга, которые контролируют выделение природных опиоидных пептидов типа бета-эндорфина [Маслов и др., 2005]. Важно подчеркнуть, что одновременно с эффектами обезболивания при ТЭНС могут отмечаться также и другие позитивные изменения в организме больного, свидетельствующие о лечебном действии этого вида электростимуляции.

В числе явных достоинств метода ТЭНС можно назвать его неинвазивность, простоту применения, портативность реализующих метод устройств и возможность их самостоятельного использования пациентом [Nizard et al., 2012]. Однако имеются также существенные проблемы и ограничения метода ТЭНС. Одна из основных проблем ТЭНС заключается в том, что эффективность существующих методов ограничивается феноменом привыкания, при котором мозг отфильтровывает постоянно повторяющиеся стимулы. В результате в ходе процедур ТЭНС приходится постоянно увеличивать интенсивность электрических импульсов, что влечет за собой повреждения кожных покровов и другие негативные последствия. Хотя для преодоления привыкания предпринимаются

многочисленные попытки варьирования одного или нескольких параметров стимуляции, до сих пор эффективность преодоления привыкания в существующих методах ТЭНС остается под вопросом [DeSantana et al., 2008].

Решение проблемы привыкания может быть достигнуто с учетом положений теоретической концепции [Федотчев и др., 2006], предполагающей использование позитивного аспекта прямых и обратных взаимодействий в системе человек-машина. Согласно данной концепции, значительного увеличения эффективности различных сенсорных воздействий на организм можно достичь путем управления их параметрами по принципу обратной связи от эндогенных ритмов самого пациента — ритма дыхания, ритма сердцебиений или ритмов биоэлектрической активности мозга. В частности, для устранения привыкания и усиления возбудимости заинтересованных структур мозга при проведении процедур ТЭНС представляется перспективным организовать такое взаимодействие между пациентом и прибором ТЭНС, которое будет обеспечивать автоматическое управление параметрами стимулирующего тока с помощью обратной связи от эндогенного ритма дыхания пациента.

В самом общем виде обычную процедуру обезболивающей электронейростимуляции можно представить следующим образом (рис. 1).

В нашем случае, при введении сигналов обратной связи от ритма дыхания пациента, эта схема приобретает следующий вид (рис. 2).



Рис. 1. Схема обычной процедуры обезболивающей электростимуляции.

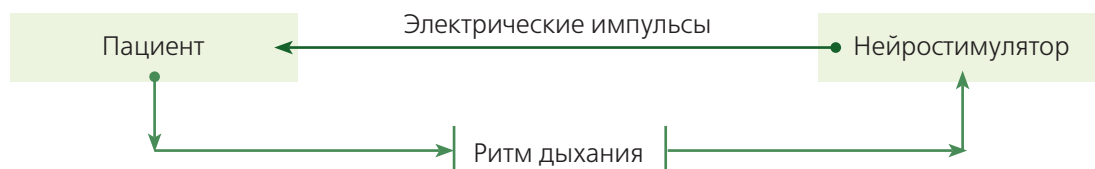


Рис. 2. Схема электронейростимуляции, управляемой ритмом дыхания пациента.

Задача данного исследования заключается в технической реализации и экспериментальном тестировании процедур обезболивания с помощью электростимуляции, управляемой сигналами обратной связи от дыхания пациента. Для этого разработана биотехническая система электронейростимуляции, управляемой дыханием, сформулированы технические требования к ее элементам и создан действующий прототип устройства, реализующего процедуры обезболивания с помощью электростимуляции, модулируемой сигналами обратной связи от дыхания пациента. Ниже представлены результаты экспериментального тестирования созданного прототипа в условиях, близких к клиническим.

2. Материалы и методы

Исследование проведено в два этапа. Первый этап заключался в разработке и создании действующего прототипа устройства, обеспечивающего управление электрическими импульсами ритмом дыхания пациента. Предварительная апробация созданного устройства проведена в сериях констатирующих экспериментов, включающих психодиагностические обследования студентов, магистрантов и аспирантов МГТУ им. Н.Э. Баумана и Пущинского университета при экспериментально создаваемых рисках функциональной надежности специалиста и их коррекции. Для индукции риска надежности специалиста была ис-

пользована задача нажатий на клавиши компьютера в максимальном темпе до отказа, обусловленного появлением болевых ощущений в кисти и ростом числа ошибочных нажатий. Сразу после этого проводилась процедура электростимуляции, управляемой дыханием. Для разных вариантов процедур оценивали степень снижения болевых ощущений, а также осуществляли психологическое тестирование и опрос испытуемых. Сравнительный анализ данных позволил оптимизировать основные параметры технологии электростимуляции, управляемой дыханием.

Полученные результаты легли в основу второго этапа исследований, в котором предпринято экспериментальное тестирование данной технологии в условиях реально существующих рисков надежности специалистов.

Обследовано 11 пациентов поликлиники (3 женского и 8 мужского пола в возрасте от 34 до 60 лет), специалистов высокоответственных и высокотехнологичных видов деятельности, среди которых было 3 программиста, 5 операторов-пользователей ПК и 3 водителя пассажирских автобусов. Они обратились с жалобами на профессиональные болевые синдромы (головные боли напряжения, 4 случая, боли в области шеи, 4 случая и боли в кисти, 3 случая) и дали добровольное согласие на участие в процедурах коррекции состояния с помощью электронейростимуляции, управляемой ритмом собственного дыхания.



Перед проведением процедуры электронеуростимуляции у каждого пациента регистрировали уровень артериального давления и пульс, а также оценивали уровень и особенности болевых ощущений, используя стандартный тест субъективной оценки боли по 10-балльной шкале [Brugnoli et al., 2005]. Кроме того, проводили начальное психологическое тестирование пациентов с помощью теста САН [Доскин и др., 1973]. Данный тест основан на оценке испытуемым своего состояния по трем шкалам — самочувствие, активность и настроение. Тест выполнялся путем проставления на предложенном бланке баллов от 1 до 7 для 30 признаков, по 10 на каждую из шкал. Суммы баллов по каждой шкале служили исходными показателями самочувствия, активности и настроения.

Для проведения эксперимента испытуемому устанавливали датчик дыхания, а также стимулирующие электроды, которые располагались поблизости от источника максимальных болевых ощущений. Одновременно также устанавливались датчики для регистрации электрографических реакций — электроэнцефалограммы (ЭЭГ), электромиограммы (ЭМГ) и кожно-гальванических реакций (КГР).

После наложения датчиков и стимулирующих электродов производили 2-минутную запись фоновых электрографических реакций на жесткий диск компьютера. Регистрируемые сигналы усиливались с помощью многоканального полиграфического усилителя «Brainsys» (фирма «Хардсофт», Москва) и оцифровывались с помощью платы аналого-цифрового преобразования «L-card» (Москва). Оцифровка осуществлялась с частотой дискретизации 128 Гц. Регистрацию ЭЭГ проводили монополярно с объединенным ушным референтным

электродом в отведении О1 по международной системе 10–20 %. Фильтры усилителя устанавливали на верхнюю частоту среза 70 Гц и постоянную времени 0.3 сек. Для обработки ЭЭГ применяли специально разработанные методы динамического спектрального анализа [Федотчев и др., 2010]. Одновременно с ЭЭГ проводили регистрацию и обработку ЭМГ лицевых мышц, КГР по Тарханову с правой руки и электропневмограммы с помощью датчика дыхания.

После записи исходных электрографических показателей осуществляли электрическую стимуляцию в течение 15 мин с помощью серийного транскутанного электронеуростимулятора «ЭТНС-100 01» с частотой электрических импульсов 4 Гц и максимальной интенсивностью 10 мА. Амплитуда электрических импульсов модулировалась собственным ритмом дыхания пациента в пределах 0.1 — 10 мА благодаря включению в цепь стимулятора сигналов обратной связи от периметрического резистивного датчика дыхания, который фиксировался на груди испытуемого.

По окончании обезболивающей электростимуляции в течение 2 мин производили повторную регистрацию электрографических реакций. В конце каждого эксперимента проводили расспрос испытуемых о субъективных ощущениях при воздействии электрических импульсов, а также осуществляли повторное тестирование испытуемых с помощью теста САН и повторную оценку уровня болевых ощущений.

Статистическую обработку данных осуществляли с помощью пакета статистических программ «Origin 6.0». При этом на основе полученных индивидуальных количественных характеристик осуществляли вычисление средних значений (M), стандартных ошибок (m)



Таблица 1.

Объективные характеристики состояния до и после обезболивания ($M \pm m$).

№	Показатель	Перед процедурой	После процедуры	t Стьюдента	Уровень различий
1	Артериальное давление систол. (мм)	127.8±4.0	121.8±4.0	1.06	–
2	Артериальное давление диаст. (мм)	83.6±2.1	81.8±1.9	0.64	–
3	Пульс (уд/мин)	76.2±2.3	77.3±1.4	0.40	–
4	Амплитуда ЭМГ (отн. ед.)	18.7±4.2	8.7±2.0	2.17	P<0.05
5	Ритм дыхания (цикл/мин)	12.8±0.8	11.8±0.7	0.94	–
6	Амплитуда дыхания (отн. ед.)	15.2±1.8	21.0±1.8	2.32	P<0.05
7	Амплитуда КГР (отн. ед.)	9.4±0.8	5.8±0.7	3.39	P<0.01
8	Суммарная мощность ЭЭГ (отн. ед.)	69.6±4.6	71.4±4.1	0.29	–
9	Мощность альфа– ритма ЭЭГ (отн. ед.)	23.3±1.7	31.4±2.1	3.00	P<0.01

и критерия t Стьюдента. Затем по таблице определяли уровень различий P сравниваемых величин.

3. Результаты исследования

Проведенные обследования позволили получить массивы данных, представляющих собой исходные (до воздействия) и конечные (после окончания стимуляции) величины объективных и субъективных характеристик психофизиологического состояния пациентов. Для выявления эффектов обезболивающей электростимуляции были сопоставлены средние величины перечисленных показателей, полученные при начальной и повторной их регистрации (табл. 1).

Можно видеть, что под влиянием обезболивающих процедур в целом ряде об-

ективных характеристик состояния пациентов отмечены заметные сдвиги.

Так, в деятельности сердечно-сосудистой системы наблюдается снижение уровня артериального давления при практической неизменности пульса. Ритм дыхания пациентов несколько замедляется, а амплитуда дыхательных движений достоверно ($P < 0.05$) увеличивается. При этом степень напряжения лицевых мышц, отражаемая в амплитуде ЭМГ, достоверно ($P < 0.05$) уменьшается. Особенно существенное снижение ($P < 0.01$) отмечено в отношении уровня КГР, который характеризует степень эмоциональной активации пациента. Что касается выраженности ЭЭГ, то здесь при практической неизменности суммарной мощности достоверный рост ($P < 0.01$) наблюдается в спектральной плотности альфа-диапазона (8–13 Гц) ЭЭГ.

Анализ субъективных характеристик состояния также проводился путем сопоставления исходных и конечных зна-



Таблица 2.

Субъективные характеристики состояния до и после обезболивания ($M \pm m$).

№	Показатель	Перед процедурой	После процедуры	t Стьюдента	Уровень различий
1	Оценка уровня боли (баллы)	4.5±0.2	2.8±0.2	5.66	P < 0.001
2	Тест САН–Самочувствие (баллы)	41.0±1.8	45.5±1.1	2.16	P < 0.05
3	Тест САН–Активность (баллы)	41.3±1.4	41.0±0.8	0.18	–
4	Тест САН–Настроение (баллы)	42.7±1.9	45.8±1.1	1.41	–

чений уровня боли и показателей теста САН (табл. 2).

Можно видеть, что под влиянием процедуры электрообезболивания наиболее значительное изменение произошло в субъективных оценках уровня болевых ощущений, которые достоверно ($P < 0.001$) снизились после проведенного воздействия. В субъективных оценках собственного состояния после процедуры отмечен рост оценок самочувствия и настроения, а уровня значимости ($P < 0.05$) достиг прирост оценок самочувствия.

4. Обсуждение результатов

Таким образом, применение процедур электростимуляции, управляемой по принципу обратной связи собственным ритмом дыхания пациента, приводит к существенным изменениям как объективных, так и субъективных характеристик его психофизиологического состояния.

Наиболее существенные сдвиги отмечены в отношении субъективных оценок уровня болевых ощущений, которые сократились наполовину. При этом явное снижение уровня боли сопровождалось значимым ростом оценок самочувствия. Выраженные изменения выявлены также для соматических и ЭЭГ показателей. На-

иболее существенный эффект стимуляции проявился в подавлении выраженности КГР и росте мощности альфа-ритма ЭЭГ. Значимые величины снижения выраженности ЭМГ лицевых мышц и КГР могут быть расценены как объективные индикаторы уменьшения болевых ощущений и стресса.

Изменился и характер дыхания, которое стало реже, но с достоверно возросшей амплитудой. Эти данные представляют особый интерес в связи с результатами опроса испытуемых. Выяснилось, что большинство из них в ходе процедур обезболивания переходили к более глубокому дыханию, почувствовав взаимосвязь между глубиной дыхания и амплитудой электрических импульсов и стремясь к более интенсивной стимуляции.

Совокупность изменений ЭЭГ и соматических характеристик под влиянием ТЭНС, модулируемой дыханием пациента, демонстрирует релаксационную реакцию центральной нервной системы на данное воздействие. Подобные эффекты отмечались ранее при размеренном дыхании [Глазачев, Классина, 2004] и в состояниях медитации и релаксации [Федотчев и др., 2010]. Однако наличие явных обезболивающих эффектов примененной модификации ТЭНС показывает, что состояние общей релаксации центральной нервной системы сопро-



вождается активацией структур мозга, ответственных за регуляцию уровня эндогенных опиоидных пептидов [Arkarian et al., 2005]. Важно подчеркнуть, что при традиционных видах ТЭНС эффекты обезболивания после однократного воздействия, как правило, не наблюдаются, а достигаются в результате нескольких процедур [Claydon et al., 2011].

Данные о наличии явных обезболивающих эффектов ТЭНС, модулируемой ритмом дыхания пациента, представляют особый интерес. Как известно, функции дыхания принадлежит центральное место в иерархии жизненно важных систем организма, а дыхательный ритм демонстрирует у человека тесную взаимосвязь с ритмом произвольных движений при ходьбе и со скоростью реакции выбора. Адекватный ритм дыхания может способствовать нормализации спектрального состава ЭЭГ, оказывать влияние на вызванные потенциалы мозга, участвовать в саморегуляции сердечной деятельности и в процессах регуляции болевых ощущений [Гора, 2005].

Периодичность дыхания соответствует декасекундным ритмам, которые считаются наиболее адаптогенными благодаря оптимальным условиям для осуществления внутрисистемных и межсистемных взаимодействий в организме. Поэтому при использовании ритма дыхания в качестве модулятора внешних воздействий происходит резонансное взаимодействие различных осцилляторных процессов центральной нервной системы с гармоническими и субгармоническими составляющими дыхательного ритма. Такое резонансное взаимодействие, очевидно, и приводит к выявленным в настоящем исследовании физиологическим эффектам.

5. Заключение

На основании предпринятых исследований можно заключить, что предложенный и протестированный подход является перспективным путем увеличения эффективности процедур обезболивания. Его преимущества имеют строгое теоретическое обоснование. Так, через модуляцию электрических раздражений собственным ритмом дыхания пациента данный подход позволяет достичь оптимального варьирования параметров стимуляции, исключающего развитие привыкания к предъявляемым электрическим воздействиям. В предложенном подходе используется такой системный процесс, как дыхание, которое выполняет активную роль в ритмических взаимодействиях в организме и может индуцировать смену его физиологических состояний. Кроме того, при совпадении характеристических частот организма пациента с изменяющимися параметрами стимуляции происходит резонансная активация тех структур мозга, которые получают ТЭНС-индуцируемые сигналы и являются посредниками для систем управления болью.

Таким образом, взаимодействия в системе «человек-машина» могут носить как негативный, так и позитивный характер. С одной стороны, на основе такого взаимодействия могут развиваться негативные для человека-оператора последствия в виде формирования профессиональных болевых синдромов. С другой стороны, использование обратной связи в системе человек-лечебный прибор может оказать позитивное влияние на эффективность лечения человека-оператора и повышение его надежности.

Выявленные под влиянием примененных воздействий релаксационные сдвиги и локальные изменения метаболизма в точках стимуляции указывают,



что данный подход может явиться основой развития новых нелекарственных методов коррекции функциональных нарушений в организме человека. Он может быть использован в широком спектре медицинских приложений, в частности, в анестезиологии, реаниматологии, физиотерапии и в восстановительной терапии.

Важно подчеркнуть, что наличие неспецифической релаксации центральной нервной системы под влиянием примененных воздействий свидетельствует о возможности получения подобных позитивных эффектов при использовании не только электрических, но и других сенсорных воздействий, модулируемых ритмическими процессами пациента по принципу биологической обратной связи.

Работа частично поддержана Российским Гуманитарным научным фондом, гранты РГНФ № 12 06-00198 и 16-06-00133.

Литература

1. Большой психологический словарь / Под ред. Б. Г. Мещерякова, В. П. Зинченко. — М.: ОЛМА-ПРЕСС, 2004. — 666 с.
2. Душков Б.А., Королев А.В., Смирнов Б.А. Энциклопедический словарь: Психология труда, управления, инженерная психология и эргономика, 3-е изд. — М.: Академический проект, 2005. — 848 с.
3. Забаровский В.К., Анацкая Л.Н. Мануальная терапия дискогенных шейных болевых синдромов // Медицинские новости. — 2009. — № 1. — С. 31–34.
4. Casale R., Damiani C., Maestri R., Wells C.D. Pain and electrophysiological parameters are improved by combined 830 1064 high-intensity LASER in symptomatic carpal tunnel syndrome versus Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation. A randomized controlled study // Eur. J. Phys. Rehabil. Med. — 2013. V. 49, No 2. — P. 205–211.
5. Wright A. Exploring the evidence for using TENS to relieve pain // Nurs. Times // 2012. V. 108. No 11. P. 20–23.
6. Stanton-Hicks M., Panourias I.G., Sakas D.E., Slavin K.V. The future of peripheral nerve stimulation // Prog. Neurol. Surg. 2011. V. 24. No 3. P. 210–217.
7. Маслов Л.Н., Лишманов Ю.Б., Терашвили М., Малкова Н.В. Роль эндорфинов в регуляции болевой чувствительности // Патол. физиол. экспер. терапия. 2005. № 1. С. 27–29.
8. Nizard J., Lefaucheur J.P., Helbert M., de Chauvigny E., Nguyen J.P. Non-invasive stimulation therapies for the treatment of refractory pain // Discov. Med. — 2012. — V. 14, No 74. — P. 21–31.
9. DeSantana J.M., Walsh D.M., Vance C., Rakel B.A., Sluka K.A. Effectiveness of TENS for treatment of hyperalgesia and pain // Curr. Rheumatol. Rep. 2008. V. 10. No 6. P. 492–499.
10. Федотчев А.И., Бондарь А.Т., Матрусов С.Г., Семёнов В.С., Соин А.Г. Использование сигналов обратной связи от эндогенных ритмов пациента для нелекарственной коррекции функциональных расстройств // Успехи физиологических наук. 2006. Т. 37. № 4. С. 82–92.
11. Brugnoli M.P., Brugnoli A., Norsa A. Nonpharmacological and noninvasive management in pain: physical and psychological modalities. Italian Association for the study of pain therapy: La Grafica Editrice, 2005. 115 p.
12. Доскин В.А., Лаврентьева Н.А., Мирошников М.Н., Шарай В.В. Тест дифференцированной самооценки функционального состояния // Вопросы психологии. 1973. № 6. С. 141–145.
13. Федотчев А.И., Бондарь А.Т., Семёнов В.С. Нелекарственная коррекция функциональных расстройств у человека. Принцип двойной обратной связи от ЭЭГ осцилляторов пациента. Saarbrücken: LAP Lamberts Academic Publishing, 2010. 79 с.



14. Глазачев О.С., Классина С.Я. Корреляты восприятия человеком локальных ритмических тепловых воздействий различной интенсивности // Физиология человека. 2004. Т. 30. № 6. С. 36–43.
15. Apkarian A.V., Bushnell M.C., Treede R.D., Zubieta J.K. Human brain mechanisms of pain perception and regulation in health and disease // Eur. J. Pain. 2005. V. 9, No. 4. P. 463–484.
16. Claydon L.S., Chesterton L.S., Barlas P., Sim J. Dose-specific effects of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) on experimental pain: a systematic review // Clin. J. Pain. 2011. V. 27. No 7. P. 635–647.
17. Гора Е.П. Проблема измененных состояний сознания // Успехи физиол. наук. 2005. Т. 36. № 1. С. 97–109.

Сведения об авторах

О Сан Чжун

аспирант кафедры «Здоровьесберегающие технологии и адаптивная физическая культура» МГТУ им. Н.Э. Баумана
oh.sang.joon@gmail.com

Семикин Геннадий Иванович

д.мед.н., профессор. Ассоциация спортивных и практикующих психологов
gam7@mail.ru

Федотчев Александр Иванович

доктор биологических наук, главный научный сотрудник Института биофизики клетки РАН, г. Пущино
fedotchev@mail.ru