

11. Vitvitskiy Ye. Ye., Yureva N. I. Praktika operativnogo planirovaniya zatrat na perevozku грузов v gorodakh [Practice of operational planning costs for the transport of goods in cities]. *Vestnik Sibirskoy gosudarstvennoy avtomobilno-dorozhnoy akademii* [Bulletin of Siberian State Automobile and Highway Academy], 2012, issue 6 (28), pp. 18–24.

12. Voytenkov S. S., Vitvitskiy Ye. Ye. Praktika perevozok massovykh stroitelnykh грузов v gorodakh [Practice of transport of mass construction materials in cities]. *Tekhnologiya, organizatsiya i upravlenie avtomobilnymi perevozkami: Yubileynyy sbornik nauchnykh trudov* [Technology, organization and management of road freight: Jubilee proceedings]. Omsk: SibADI, 2008, pp. 11–17.

13. Voytenkov S. S., Vitvitskiy Ye. Ye. Sravnenie rezultatov primeneniya razlichnykh tekhnologiy dostavki stroitelnykh грузов v gorodakh [Comparison of the results of the application of different technologies of delivery of construction materials in cities]. *Avtotransportnoe predpriyatie* [Motor Transport Company], 2009, no. 5, pp. 43–45.

14. Gronin D. P. *Povyshenie effektivnosti avtomobilnykh perevozok v sisteme dostavki грузов s ispolzovaniem terminalnykh kompleksov* [Improved road transport of goods in the delivery system using terminal complexes]. Volgograd, 2006. 217 p.

15. Dzhonson Dzheymz Vud, Donald F., Verlou Daniel, L. Merfi-ml, Pol R. *Sovremennaya logistika* [Modern Logistics], 7th ed. Moscow, Vilyams, 2005. 624 p.

16. Zarudnev D. I. *Metodika vybora avtotransportnykh sredstv dlya perevozki грузов* [Technique for choosing vehicles for goods transport]. Omsk, 2005. 237 p.

17. Kandyrin Yu. V., Sazonova L. T., Shkurina G. L., Chivilev A. D. Mnogokriterialnoe strukturirovanie alternativ v avtomatizirovannykh sistemakh vybora [Multicriteria structuring alternatives for automated selection]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2014, no. 1, pp. 23–33.

18. Kovalev I. A. *Avtomatizatsiya protsessa upravleniya perevozkami massovykh грузов koltsevymi marshrutami* [Automation of process control transportation of bulk circular route]. Yekaterinburg, 2007. 23 p.

19. Korotkova Ye. N. *Optimizatsiya funktsionirovaniya transportnogo protsessa v tsepi postavok* [Optimizing the operation of the transport process in the supply chain]. Moscow, 2010. 16 p.

20. Kristofer M. *Logistika i upravlenie tsepkhkami postavok* [Logistics and Supply Chain Management]. St. Petersburg, Peter, 2004. 316 p.]

21. Kurganov V. M. *Upravlenie avtomobilnymi perevozkami na osnove situatsionnogo podkhoda* [Road transport management based on the situational approach]. Moscow, 2004. 334 p.

22. Trofimova L. S. *Tekhnologicheskoe planirovanie raboty podvizhnogo sostava pri perevozke stroitelnykh materialov* [Technological planning of rolling stock during transportation of construction materials]. Omsk, 2000. 199 p.

23. Shapiro Dzh. *Modelirovanie tsepi postavok* [Modeling supply chain]. St. Petersburg, Piter, 2006. 720 p.

УДК 681.3:612.76

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ НАПРАВЛЕНИЙ  
И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ  
МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ДВИЖЕНИЙ ЧАСТЕЙ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА<sup>1</sup>**

*Статья поступила в редакцию 22.04.2014, в окончательном варианте 07.09.2014.*

**Брумштейн Юрий Моисеевич**, кандидат технических наук, доцент, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, тел. 8 (8512) 61-08-43, e-mail: brum2003@mail.ru

**Аксенова Юлия Юрьевна**, студентка, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, тел. 8 (8512) 61-08-43, e-mail: lesenok-sacok@mail.ru

<sup>1</sup> Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ. Грант № 14-06-00279 «Разработка методов исследования и моделирования объемов/структуры интеллектуальных ресурсов в регионах России».

*Иванова Мария Владимировна*, аспирант, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, тел. 8 (8512) 61-08-43, e-mail: maivam@mail.ru

Номенклатура частей тела человека (ЧТЧ) рассмотрена с позиций возможных направлений исследования их движений. Показана роль костно-мышечного аппарата, нервной системы в обеспечении движений ЧТЧ. Рассмотрен состав параметров (характеристик) движений различных ЧТЧ, включая объемы движений; динамические характеристики их выполнения; проявление мышечной усталости в процессе упражнений; координацию движений ЧТЧ; точность управления движениями и др. Проанализированы основные цели исследований движений (ИД) ЧТЧ. Предложен набор вариантов классификации методов ИД. Обоснована продуктивность применения при ИД различных типов движений: свободных (естественных); регламентируемых (показываемых) лицом, проводящим исследование или компьютерной программой; движений при наличии сопротивления со стороны внешних объектов; движений, выполняемых «принудительно» – под действием вынуждающих внешних сил. Подробно сравнены достоинства и недостатки разных классов методов, указаны технические и программные средства их реализации. Для «контактных» методов ИД рассмотрены функциональные возможности автономных угломеров, устройств оценки линейных перемещений, «измерительных» экзоскелетов и их фрагментов, измерительных блоков роботизированных комплексов – включая механотерапевтические. Для бесконтактных методов проанализированы достоинства и недостатки визуального наблюдения движений, в том числе на фоне измерительных шкал, компьютерного анализа (в он- и офф-лайн-режимах) с распознаванием изображений ЧТЧ и их движений – на основе использования специальных «маркеров» и без них; применение датчиков, расположенных вне поверхности тела человека и реагирующих на изменения магнитного поля, электрической емкости и пр. при движениях ЧТЧ; акселерометрические подходы к ИД, включая применение датчиков линейных и угловых ускорений; комбинированные методы. Проанализировано влияние развития информационных технологий на функциональность различных методов, оперативность и точность получения результатов; возможности накопления данных, их ретроспективного анализа. Отдельно рассмотрены цели и методы исследования тремора ЧТЧ – в свободном состоянии и при наличии регулируемых нагрузок.

**Ключевые слова:** части тела, исследование движений, характеристики движений, контактные методы, бесконтактные методы, анализ изображений, маркеры, физические поля, датчики, акселерометрический подход, тремор, информационные технологии

#### **RESEARCH METHODS OF PERSON'S BODY PARTS MOVEMENTS: SYSTEM ANALYSIS OF DIRECTIONS AND FUNCTIONALITY**

*Brumsteyn Yuriy M.*, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation, ph. 8 (8512) 61-08-43, e-mail: brum2003@mail.ru

*Aksenova Yuliya Yu.*, student, Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation, ph. 8 (8512) 61-08-43, e-mail: aks-uliana@mail.ru

*Ivanova Mariya V.*, postgraduate student, Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation, ph. 8 (8512) 61-08-43, e-mail: maivam@mail.ru

The nomenclature of persons body parts (PBP) is considered from positions of possible directions of their movements research (MR). In article is shown the role of bone and muscular system, nervous system in ensuring PBP movements. Authors have been considered the parameters (characteristics) structure of various PBP movements including their volumes; performance dynamic characteristics; manifestation of muscular fatigue in the course of exercises; coordination of PBP movements; accuracy of movements management etc. In article have been analyzed main objectives of PBP MR. The set of variants for MR classification is offered. Authors proved application efficiency for MR of various movements types: free (natural); regulated (demonstrated) by the person which is carrying out research and/or computer program; movements, in the

presence of resistance from external objects; movements which are carried out «forcibly» – under action of compelling external forces. Merits and demerits for different classes of methods are compared in detail, specified technical and software means for their realization. For «contact» methods of MR are considered functionality of autonomous goniometers; devices for assessment of linear movements; «measuring» exo-skeletons and their fragments; measuring blocks of the robotized complexes, including mechanotherapeutic. For contactless methods are analyzed merits and demerits of visual supervision of movements, including against measuring scales; methods of computer analysis (in on- and offline modes) with recognition of PBP images and their movements – on the basis of special «markers» usage and without them; use of sensors, located out of persons body surface and reacting at PBP movements by changes of magnetic field, electric capacity and so forth; accelerometric approaches to MR, including usage of sensors for linear and angular accelerations; the combined methods. In article have been analyzed influence of information technologies development on functionality of various MR, efficiency and accuracy of receiving results; possibilities of data accumulation, their retrospective analysis. Separately are considered purposes and methods for tremor of PBP research – in a free state and in the presence of adjustable loadings.

**Keywords:** parts of a body, research of movements, characteristics of movements, contact methods, contactless methods, analysis of images, markers, physical fields, sensors, akselerometric approach, tremor, information technologies

Характеристики движений частей тела человека (ЧТЧ) играют важнейшую роль в быту, профессиональной деятельности, спорте, профилактике заболеваний – особенно пожилых граждан, целом ряде видов творческой деятельности и др. Обеспечение необходимого «качества движений» ЧТЧ является важным компонентом формирования и сохранения трудовых и интеллектуальных ресурсов регионов, страны в целом. Проведению исследований движений (ИД) ЧТЧ (а также тренинга движений) в специальной литературе уделяется значительное внимание [1, 14, 21, 22, 27]. Однако ряд вопросов ИД ЧТЧ остаются исследованными недостаточно полно: комплексное сравнение возможностей различных методов ИД в условиях развития информационно-коммуникационных технологий (ИКТ); динамическое (адаптивное) управление процессами ИД; оценка эффективности методов ИД с позиций принятия диагностических, лечебных, профориентационных, спортивных и иных решений. Поэтому целью настоящей статьи был системный анализ проблематики ИД – с акцентом на эти вопросы.

**Общая характеристика ЧТЧ и управления их движениями.** Основные ЧТЧ – это туловище, голова, верхние и нижние конечности. Для головы отдельными подвижными (по отношению к ней («в целом»)) объектами являются челюсти, губы, глаза, брови (веки), кожа лба и некоторые другие участки лица, нос, уши. Изменения формы этих элементов формируют мимику лица, важную для передачи (распознавания) эмоциональных состояний. Отслеживание движений зрачков возможно «оптическими» методами (в сочетании с программными средствами обработки изображений [3, 4]) или электромиографическими. Однако датчики для последних, укрепленные возле глаз, могут нарушать естественный характер их движений. Исследование перемещений зрачков (в том числе их скоординированности) важно при изучении зрительного восприятия испытуемыми объектов (включая отслеживание их контуров) [3], оценке наличия/отсутствия некоторых заболеваний органов зрения, нервной системы.

Скелет верхних конечностей образован костями плечевого пояса (две лопатки и две ключицы) и костями «свободной верхней конечности» – плечевой кости, костей предплечья (лучевой и локтевой), костей кисти рук (запястье, пясти и фаланги пальцев). У большого пальца каждой руки – две фаланги, у остальных – по три.

Скелет нижних конечностей образован «костями таза» и «свободной нижней конечности», включающей в себя бедренную кость, берцовые кости, кости стопы – предплюсны, плюсны, пальцев (фаланги).

Сочленение костей осуществляется в суставах, которые обеспечивают «шарнирное соединение» – с возможностями поворотов (в определенных пределах) ЧТЧ друг относительно друга. Наличие большого количества «мест сочленения», каждое с несколькими степенями свободы [6], обеспечивает значительную подвижность ЧТЧ. Позвоночник, состоящий из позвонков с межпозвонковыми дисками, также дает возможность изгибов туловища в определенных пределах.

Собственно перемещение ЧТЧ осуществляется в основном с использованием поперечно-полосатых мышц, управляемых с помощью центральной и периферической нервной системы [23, 35]. В рамках такого управления в качестве источников информации используются зрение, вестибулярный аппарат, рецепторы самих ЧТЧ, в том числе тактильные и тепловые.

Движения ЧТЧ могут быть рефлекторными (например, отдергивание при контакте с очень горячим предметом); в рамках выработанных «динамических стереотипов» (например, при ходьбе, выполнении повторяющихся профессиональных действий/операций, при спортивных упражнениях); управляемыми на «рассудочном уровне», в том числе в ответ на стимулы [10]. Боль при выполнении движений ЧТЧ (в суставах, мышцах и пр.) обычно ограничивает движения, которые могут нанести вред организму.

Нарушения движений ЧТЧ (включая тремор конечностей [2]) могут быть следствиями заболеваний, травм [5], возрастных изменений, гипокинезии и пр. Возможные методы профилактики/лечения нарушений движений ЧТЧ: тренинг; изменение питания; медикаментозное, физиотерапевтическое, хирургическое лечение; массаж; внушение/самовнушение и пр.

**Цели и основные направления исследования движений ЧТЧ.** В общем случае ИД ЧТЧ может быть как самостоятельной задачей, так и частью комплекса диагностических (исследовательских) процедур.

**Типичные цели ИД ЧТЧ:** выявление/диагностика заболеваний и травм [1, 5] не только костно-мышечного аппарата, но также нервной и/или сенсорных систем; оценка динамики результатов в процессах лечения/реабилитации заболеваний и травм [1, 7, 18], в том числе травм костно-мышечного аппарата, скрытых спортивных травм и пр.; дистанционное мониторингирование двигательной активности человека, параметров его физиологического состояния [16, 37]; в ряде случаев – оценка профессиональной пригодности испытуемых [1, 11], скорости и точности выполнения ими типичных профессиональных движений [19]; допуск к выполнению ряда видов работ, в том числе опасного характера (предрейсовый контроль водителей транспорта, операторов атомных электростанций и пр.) [1, 10, 24, 25]; соответствие возможностей испытуемых тем видам спорта, которыми они хотят заниматься или уже занимаются [15, 20, 24, 27]; оценки уровней «тренированности» спортсменов [27]; сдача некоторых нормативов при обучении физкультуре; оценка целесообразности (перспективности) занятий различными видами танцев со спортивными (соревновательными) целями; наличие предрасположенности, условий возникновения и характеристик тремора ЧТЧ [2]; определение психофизиологической совместимости экипажей самолетов, иных коллективно управляемых объектов [1, 6]; оценка эмоционального состояния человека по мимике лица; движениям конечностей, в частности по жестам [15, 38].

Возможны различные классификации методов ИД: по целям исследований (см. выше); по предназначению (клинические [21], научно-исследовательские, контрольные и пр.); по возрастам исследуемого контингента (для детей, взрослых, пожилых лиц); по характеру контингента (для здоровых и больных/травмированных лиц); по параметрам движений (исследование статических и динамических характеристик движений, комбинированные); специфичные в отношении отдельных ЧТЧ; по характеру получаемых результатов (оценок) – качественные и количественные методы ИД; контактные и бесконтактные методы ИД; для бесконтактных ме-

тодов – не использующие маркеры, использующие их, комбинированные; по типу применяемых для измерений физико-технических эффектов, оборудования и пр.; по продолжительности процедур ИД; ориентированные на исследования линейных и угловых перемещений ЧТЧ [1, 22], комбинированные; для исследования отдельных движений или их устойчивых комбинаций (динамических стереотипов) [14]; по отсутствию/наличию объектов, частично ограничивающих характер движений или предопределяющих их траектории; по количеству измерений (1, 2 или 3), в отношении которых исследуются перемещения и/или повороты.

Важнейшие характеристики (параметры) движений ЧТЧ: амплитуды и, возможно, траектории перемещений отдельных точек ЧТЧ и/или их совокупностей по трем ортогональным пространственным координатам (x-y-z); величины поворотов по углам (в одной, двух или трех плоскостях) – для отдельных суставов, их совокупностей, для ЧТЧ в целом; степень полноты выполнения операций «сгибания-разгибания», «приведения-отведения» (например, для кистей рук); динамические характеристики движений ЧТЧ, включая вращения кистей [29] (максимальная и средняя продолжительности выполнения отдельных движений/упражнений; изменение во времени продолжительности выполнения одного движения/упражнения; резкости движений и пр.); скорость накопления мышечной усталости в зависимости от физических нагрузок, объема выполненной работы; пространственная (и, возможно, угловая) точность выполнения движений – особенно в связи с исследованиями мелкой моторики кистей и пальцев рук [6, 7, 19]; качество координации движений отдельных ЧТЧ (верхних конечностей, пальцев одной руки, нижних конечностей и туловища – в том числе с использованием стабиллографических подходов [24]); «силовые» характеристики движений ЧТЧ, включая оценки развиваемых усилий [10].

Для повышения информативности ИД параллельно (синхронно по времени) с ИД могут дополнительно определяться различные физиологические показатели испытуемых: частота сердечных сокращений; насыщенность крови кислородом; характеристики электрокардио- и электроэнцефалограммы, электромиограмм с различных мышц; характеристики пульсовой волны (могут отражать наличие «микрофибрилляций» сердца); показатели артериального давления; реографические параметры (отражают в основном, выделение пота, связанное с нагревом мышц/тела); температурные режимы кожи – в том числе над мышцами (контактно – с помощью миниатюрных термисторов или дистанционно – с использованием «инфракрасных термометров» или тепловизоров); показатели дыхания (частота, объемы, изменение газового состава при вдохе-выдохе) и др. Однако чем больше показателей снимаются, тем обычно сильнее влияние совокупности датчиков/устройств на сами движения [30], которые могут становиться «неестественными».

В обычной клинической практике (ортопедия, травматология, кабинеты ЛФК и пр.) средства обеспечения инструментальной поддержки ИД либо вообще не используются, либо носят минимальный характер. Основные причины: (1) существующие методики диагностики/лечения заболеваний/травм опираются в основном на рентгеновские снимки, изображения рентгеновской компьютерной томографии и УЗИ, которые позволяют хорошо локализовать места патологий; (2) визуальный (реже – тактильный) контроль со стороны медработников выполнения пациентами заданных движений часто вполне достаточен для принятия диагностических/лечебных решений; (3) информативны также дополнительные сведения от испытуемых о наличии болевых ощущений при движениях, а также результаты анамнеза; (4) комплексные роботизированные системы ИД/тренинга (например, типа ReoGo – см. сайт <http://www.mednt.ru/catalog/standart/reogo/>) достаточно дороги и не входят в обязательные перечни оборудования при лицензировании медучреждений. Отметим, что варианты (2) и (3) могут использоваться даже участковыми врачами общей практики или узкопрофильными специалистами при посещениях ими пациентов на дому. Для реализации варианта (1) «на

дому» могут применяться портативные рентгеновские или УЗИ аппараты, перевозимые машинами медицинской помощи бюджетных поликлиник, частных клиник.

**Виды движений ЧТЧ и особенности организации их исследований.** Можно выделить несколько видов движений ЧТЧ.

(А) Свободные (естественные) движения, выполняемые человеком в процессе бытовой или профессиональной деятельности, занятий спортом, танцами и пр. за достаточно длительный период [32]. Такие ИД могут проводиться с сохранением данных на носимом накопителе (по типу «холтеровского мониторинга») или с он-лайнной передачей информации на внешнее устройство обработки и/или накопления данных. Простейший вариант таких устройств с накоплением данных – «шагомер» (механический или электронный). Обычно такие устройства применяются только для подсчета суммарного количества сделанных движений – например, шагов или движений конечностей на спортивной тренировке.

В случае «дистанционного» ИД большого количества испытуемых могут быть полезны технологии, использующие подходы на основе SCADA-систем [22].

(Б) При проведении ИД в клиниках, кабинетах ЛФК, реабилитационных центрах, исследовательских лабораториях и пр. характер движений испытуемого регламентируется (управляется) лицом, проводящим исследования: вербальными командами; личным показом упражнений/движений; компьютерной программой, обеспечивающей аудиовизуальную поддержку управления, в том числе с помощью видеороликов с образцами движений. При использовании ПЭВМ для обеспечения адаптивных режимов выполнения упражнений могут быть использованы цепочки биологической обратной связи (БОС), учитывающие физиологические показатели пациента, заданные и фактические характеристики выполнения им движений ЧТЧ.

(В) Исследования координации движений ЧТЧ, включая кисти и пальцы рук, пары верхних конечностей и пр. В частности, для ИД кистей и пальцев рук авторами были разработаны [1, 7] методы, основанные на смещении испытуемым компьютерного манипулятора «мышь» (одеваемого на палец): для обеспечения перемещения курсора на экране ПЭВМ по заданной совокупности точек в нужном порядке; для перемещения курсора по предопределенной траектории; для «сопровождения» курсором подвижного объекта на дисплее ПЭВМ и пр. Отметим также возможности стабилографических исследований (СИ) [24] с открытыми и закрытыми глазами. При СИ для проекции центра тяжести (ПЦТ) тела на горизонтальную плоскость могут использоваться такие задания: удержание ПЦТ в определенной точке; перемещение ПЦТ по заданной траектории; «сопровождение» курсором, соответствующим ПЦТ, подвижного объекта на экране и пр. При этом СИ могут выполняться при «свободном» расположении тела; при наличии отягощений, объектов ограничивающих подвижность элементов ЧТЧ (типа бандажей, лангеток, экзоскелетов); при опоре исследуемого человека руками на поручни (для частичной разгрузки ног) и др.

(Г) Движения в ответ на внешние стимулы механического, электрического, аудио, визуального характера, комбинированные [10]. Наиболее известен, видимо, пример с ударом невропатологом молоточком по коленке и рефлекторного движения ноги испытуемого в ответ.

(Д) ИД, для которых темп выполнения движений задается принудительно (например, беговые дорожки – в том числе с изменяющейся во времени скоростью движения полотна; клаймбинговые тренажеры и пр.).

(Е) Движения ЧТЧ, выполняемые при наличии внешних «сил сопротивления» – в том числе и при зависимости этих сил от объемов движений, их частоты, резкости выполнения и пр.

(Ж) Движения ЧТЧ, выполняемые «принудительно» – под воздействием внешних вынуждающих сил (например, при механотерапии). Здесь в рамках ИД могут изучаться «силы сопротивления пациента» перемещениям/поворотам ЧТЧ; болевые ощущения (особенно – ес-

ли пациент имеет возможность «вручную» управлять соответствующим «указателем боли») – на основе них могут корректироваться объемы движений.

Основные классы каналов получения информации при ИД: с использованием датчиков, преобразующих информацию – преимущественно в электрические сигналы; визуальные не интроскопические наблюдения и измерения в видимом диапазоне длин волн; наблюдения и измерения в инфракрасном и радиочастотном диапазонах; интроскопические исследования с использованием ультразвука, рентгеновских лучей и магнитного резонанса. По крайней мере, УЗИ и рентгеноскопия позволяют осуществлять исследования движений в суставах в динамике в реальном времени.

**Методы и оборудование для контактных измерений при ИД ЧТЧ.** Для этого класса методов/оборудования укажем следующее: плоские угломеры с координатными сетками, на которые «накладываются» ЧТЧ – например, кисти рук при исследованиях «приведения-отведения»; транспортеры с подвижными элементами, которые перемещают лица, проводящие исследования (соответственно положениям ЧТЧ испытуемых); угломеры с подвижными элементами, управляемыми перемещениями самих ЧТЧ при движениях (отдельно отметим т.н. ротаметры); простейшие механические устройства для оценки линейных перемещений ЧТЧ по одному и двум измерениям; «шагомеры» – в том числе с трехкоординатными датчиками и «памятью» на много суток; сложные роботизированные измерительно-тренировочные комплексы (например, уже упоминавшийся ReoGo); «измерительные» экзоскелеты, использующие гониометрические и/или акселерометрические датчики – для комплексных исследований перемещений ЧТЧ; «фрагменты» таких экзоскелетов (для частных исследований).

Сейчас активно развивается (особенно за рубежом [31, 33, 34, 36, 39]) направление, связанное с акселерометрическими измерениями (анализом) движений. Если ранее [34] для исследования перемещений использовались одноосные датчики-акселерометры (ДА), то сейчас характерно применение трехосных. Размеры таких ДА составляют до нескольких миллиметров при незначительном весе, существуют ДА с цифровым выходом. Это потенциально позволяет использовать ДА для исследования не только «крупных» движений ЧТЧ, но и мелкой моторики (например, пальцев рук) – без существенного влияния на объекты исследований. Сигналы с совокупности ДА, размещенных на ЧТЧ, могут сниматься под управлением микропроцессора с заданной дискретностью по времени. Далее возможны два основных варианта.

А) Накопление данных в памяти самого микропроцессора, либо подсоединенного к нему внешнего устройства – например, флэш-накопителя. Такое накопление возможно как за период выполнения серии упражнений, проведения соревнований, рабочую смену и пр., так и за более длительный срок (например, за сутки, неделю). Этот вариант экономичен по энергопотреблению, но получаемые результаты – не оперативны.

Б) Передача информации по беспроводному каналу с микропроцессора (который собирает информацию со всех ДА) на ПЭВМ для накопления и/или обработки в реальном масштабе времени – такая обработка в принципе позволяет организовать ИД с применением БОС. Этот вариант требует больших энергозатрат, особенно при передаче информации на дальние расстояния. Необходимые энергоресурсы могут обеспечиваться специальным аккумулятором, размещенным на поясе пациента.

При небольшом количестве ДА возможна и непосредственная передача с них информации на ПЭВМ по беспроводным каналам (без использования управляющего микропроцессора). При этом ПЭВМ с помощью одного blue-tooth адаптера может получать информацию с нескольких ДА, если передача осуществляется на разных частотах.

Фиксация ДА в отношении исследуемых ЧТЧ возможна такими способами: непосредственно на коже (в том числе с использованием специальных клеев, липких лент и пр.); охватывающими ЧТЧ устройствами-фиксаторами с креплениями, в том числе типа «репей-

ник»; с помощью специальных гибких костюмов, жилетов и пр., в кармашках которых (или на креплениях типа «репейник») размещаются ДА и др.

Непосредственными результатами акселерометрических исследований ИД являются временные ряды (ВР) – обычно с постоянным шагом по времени [9] (ШпВ), определяемым характером движений – чем они более «мелкие» и «резкие», тем ШпВ должен быть меньше. Для экономии памяти при хранении ВР в принципе возможно и «динамическое» управление величиной ШпВ [9] – на основе величин ускорений, полученных с совокупности ДА (однако это требует он-лайн обработки соответствующих сигналов – как правило, на управляющем микропроцессоре). Для каждой из координат трехосного ДА получается одному ВР, т.е. всего 3 ряда.

Для получения изменений скоростей движений ДА, указанные ВР ускорений необходимо раздельно интегрировать по каждой из координат. В качестве начальных условий должны быть заданы скорости ДА (по координатам) в «нулевые» моменты времени. Их можно принять нулевыми, что соответствует неподвижности человека в момент начала ИД.

Получение изменений положений ДА в пространстве осуществляется последовательным «двойным» интегрированием ВР для ускорений по координатам (сначала для получения скоростей, а затем – координат). Начальные условия: положения ДА и их скорости при «нулевом» времени.

Поскольку для моментов отсчетов известны только значения функций, то для интегрирования целесообразно использовать метод Эйлера (он подходит и для постоянного ШпВ, и для переменного). При постоянном ШпВ для повышения точности интегрирования могут быть использованы многошаговые методы (типа Адамса или Адамса – Башфорта). При использовании интегрирования по времени может происходить последовательное накопление ошибок измерения ускорений ДА. Однако для типичных конструкций ДА при смене направлений движений ЧТЧ в процессе упражнений эти ошибки обычно меняют знак и частично «взаимно погашаются».

Таким образом, на один трехосный ДА может быть получено и рассчитано до 9 временных рядов. Их статистическая обработка возможна разными методами, в частности на основе вейвлет-анализа, фрактального анализа, исследования характеристик «многомерных траекторий» [8] и пр.

Помимо измерения ускорений по ортогональным осям, ДА могут использоваться для изучения угловых ускорений, в том числе одновременно в трех взаимно перпендикулярных плоскостях. Последнее направление ИД пока распространено мало, но оно может быть предпочтительным или безальтернативным при некоторых видах исследований.

Важно отметить, что ДА сейчас «встроены» не только в компьютерные планшеты, но и целый ряд смартфонов. Потенциально эти ДА могут использоваться не только для отслеживания поворотов планшетов/смартфонов в пространстве с целью корректировки изображений на дисплеях, но и специально для ИД. В Интернете уже есть сообщения о разработке ПО этого направления.

Помимо ДА при ИД на теле пациента могут крепиться и контактные датчики для измерений различных физиологических параметров (ФП). При этом в большинстве случаев требуется наличие непосредственного контакта датчиков с кожей, в ряде случаев – еще и определенное усилие их прижатия. Для различных ФП частота съема информации может различаться. Эта частота в ряде случаев (но не всегда) значительно ниже, чем при акселерометрических методах ИД. Поэтому возникают задачи синхронизации ВР, получаемых для ФП и при акселерометрии; совместной обработки ВР с разной дискретностью по времени [9].

Оригинальным направлением является «компьютерная реконструкция движений кистей и пальцев руки» на основе сигналов с электромиографических датчиков, размещен-



ных на мышцах лучевой или локтевой костей предплечья. При этом движения могут соответствовать как фактически существующим кистям/пальцам (браслет для реализации «универсального жестового интерфейса» – [http://www.infox.ru/hi-tech/tech/2013/02/26/MYO\\_Thalnic\\_Labs.phtml](http://www.infox.ru/hi-tech/tech/2013/02/26/MYO_Thalnic_Labs.phtml)), так и ампутированным конечностям [11] – для управления биомеханическими протезами.

**Бесконтактные методы ИД, основанные на анализе изображений без использования маркеров.** Простейшим вариантом является визуальное наблюдение движений ЧТЧ (естественных или специально заданных для целей ИД), в том числе на фоне «измерительных шкал» с целью получения количественных характеристик движений. Могут оцениваться, в частности, максимальные и минимальные положения ЧТЧ (в отношении перемещений и поворотов); скорости/резкости их перемещений; скоординированность движений различных ЧТЧ и др. При визуальном наблюдении движений ЧТЧ медработник (исследователь) мысленно сравнивает фактические характеристики движений с «паттернами», хранящимися в его памяти для соответствующего возраста/размера пациентов, при отсутствии и наличии различных патологий и пр. По результатам таких сравнений и делаются выводы. Для оценки количества движений за заданный промежуток времени могут дополнительно использоваться секундомеры, песочные часы и т.п.

Автоматизированный анализ одномерных движений на основе совокупностей изображений наиболее прост в реализации. Так, например, амплитуда тремора кистей рук (за весь период исследования или его интервалы) может оцениваться по видеозаписям положений кистей [13], сделанным сбоку. Ранее использовалась «фотосъемка с открытым затвором» в темной комнате при «боковой подсветке». При этом изображения за разные моменты времени накладывались друг на друга, но «границы» колебаний кисти были вполне различимы на фото. Сейчас анализ последовательностей видеоизображений позволяет получить и более детальную информацию, вплоть до спектральных характеристик колебаний ЧТЧ.

При исследовании двумерных движений ЧТЧ (например, махов рук) также могут быть использованы аналогичные подходы. При этом предполагается, что движения выполняются в плоскости, перпендикулярной оси видео- или фото камеры. Нарушение этого условия приводит к неучету перемещений ЧТЧ во фронтальной плоскости (перпендикулярной к указанной оси) и, как следствие, к некоторому искажению результатов.

При изучении трехмерных движений ЧТЧ обычно применяются методы «распознавания изображений» (РИ), полученных с использованием двух видеокамер и специального программного обеспечения (ПО), обрабатывающего информацию в режиме реального времени. В частности, так работают современные компьютерные игровые приставки (КИП) со «стереоскопическим зрением» [28]. Наиболее популярными системами такого класса в настоящее время являются Nintendo Wiimote и Microsoft Kinect. Как альтернатива им, обеспечивающая «значительно более точное распознавание движений», декларируется «жестовый 3D-контроллер Leap Motion» ([http://www.infox.ru/hi-tech/gadget/2012/05/22/Leap\\_Motion.phtml](http://www.infox.ru/hi-tech/gadget/2012/05/22/Leap_Motion.phtml)). Однако он пока имеет достаточно ограниченную зону пространства, в которой могут исследоваться движения.

Использование специальных «игровых аксессуаров» (например, ракеток для игры в пинг-понг) с целью повышения реалистичности игры и/или улучшения качества РИ возможно, но не обязательно. Существующее ПО КИП при РИ человека во фронтальной плоскости может «определять» туловище, руки, кисти и даже отдельные пальцы, лицо (включая положения глаз). При этом стереоскопичность изображений позволяет дифференцировать объекты по расстояниям до КИП; оценивать их пространственные траектории. Кроме того, ПО КИП моделирует перемещения в пространстве виртуальных «игровых объектов» до и после контакта с ЧТЧ или используемыми игровыми аксессуарами.

Недостатки ПО КИП: при поворотах туловища, приводящих к исчезновению «видимости ЧТЧ» для видеокамер, отслеживаемые объекты могут «теряться» – это не позволяет полноценно проводить ИД; для нормальной работы ПО РИ человек должен быть расположен на определенном интервале расстояний от видеокамер; существующие разработки ПО КИП, как правило, не подходят для решения задач ИД, а специализированное ПО именно для ИД, ориентированное на КИП, практически не предлагается (вероятно, считается, что объемы спроса не оправдают затрат, необходимых для создания ПО с необходимой функциональностью).

Интересные подходы к анализу движений, основанные на анализе «контуров силуэтов», описаны в [32]. Однако с позиций функциональных возможностей анализа они менее «информативны» по сравнению с методами, развиваемыми в настоящее время.

Существуют также специализированные системы, ориентированные на «видеозахват движений ЧТЧ» с использованием более двух видеокамер, расположенных с разных сторон человека. Пока такие системы, как правило, используют специальные маркеры для облегчения РИ (см. ниже). Кроме того, может требоваться участие человека-оператора в распознавании полученных изображений при их ретроспективном анализе. Однако совершенствование аппаратно-программных средств в будущем приведет к появлению систем, не нуждающихся в объектах-маркерах (прежде всего в сфере компьютерных игр с расширенной виртуальной реальностью).

**Бесконтактные методы, основанные на использовании пассивных объектов-маркеров.** Целью использования пассивных объектов-маркеров (ПОМ) обычно является снижение сложности ПО для РИ. Использование ПОМ основано на отражении света – при естественном освещении или за счет специальной подсветки. В конкретных случаях ПОМ могут быть: объекты, «нарисованные» на ЧТЧ контрастными/светоотражающими красками; объекты-аппликаторы, укрепляемые непосредственно на коже ЧТЧ или на специальном гибком костюме. Предполагается, что ПОМ не должны оказывать существенного влияния на подвижность ЧТЧ. Как правило, ПОМ применяются для ИД туловища, конечностей, головы человека, но не мелкой моторики пальцев рук, их тремора.

С использованием ПОМ потенциально возможно ИД в отношении перемещений ЧТЧ (по одной, двум или трем осям); их поворотов; комбинаций перемещений с поворотами. Если используется по одному ПОМ для каждой ЧТЧ, то возможности ИД обычно достаточно ограничены.

В системах видеозахвата трехмерных движений (наиболее известной является, вероятно, Viscont – сайт [www.vucon.com](http://www.vucon.com), хотя есть и другие системы [12]) используется несколько видеокамер, обеспечивающих «охват» с разных сторон всего тела человека, на котором укреплены ПОМ. В этом случае зона допустимых перемещений человека в пространстве достаточно ограничена, так как он должен «просматриваться» всеми камерами. При анализе последовательностей изображений в процессе автоматизированной идентификации ПОМ возникают алгоритмические сложности, которые не всегда удается преодолеть без участия человека-оператора (особенно при взаимных пересечениях траекторий движения ПОМ одинакового вида).

На основании известных пространственных координат каждой из видеокамер, их ориентаций и положений на изображениях ПОМ могут рассчитываться их координаты, изменяющиеся в процессе ИД. Скорости перемещений ПОМ, их ускорения могут быть затем найдены расчетом – по изменениям координат и величинам ШпВ.

Конструкции ПОМ могут включать «светоотражающие элементы». Формы ПОМ – это обычно простые рисунки в виде геометрических фигур и их комбинаций; цифры; буквы, реже буквенно-цифровые комбинации. Ограничения на «сложность формы» ПОМ определяются требованиями систем РИ, которые должны осуществлять распознавание при различной

ориентации ПОМ. Варианты ПОМ типа «упрощенных штрих-кодов» практически не используются. Применение разных рисунков (форм) ПОМ позволяет уменьшить вероятность ошибок их идентификации при перекрещивании траекторий» (см. выше). Более того, такие ПОМ могут даже надолго полностью «уходить» из поля зрения видеокамер. Однако при разных рисунках ПОМ усложняется работа ПО РИ и повышается вероятность ошибок их распознавания 1-го и 2-го родов.

Отметим, что ИД на основе анализа видеоизображений с ПОМ может осуществляться как в он-лайнном режиме (это требует достаточно мощного компьютерного оборудования), так и в офф-лайнном (по видеозаписям). В принципе ПОМ с разным рисунком могут применяться и как средство «указания» ЧТЧ, контура которых затем определяются ПО РИ.

**Бесконтактные методы, основанные на использовании активных объектов-маркеров.** Под активными объектами-маркерами (АОМ) будем понимать такие, которые излучают энергию (обычно – видимый свет). При этом излучение обычно должно носить «ненаправленный» характер, так как ЧТЧ, на котором укреплен АОМ, может перемещаться/поворачиваться в пространстве (при этом излучение должно быть доступным для видеокамер или иных фотоприемников). Как недостаток АОМ отметим возможность попадания их излучения (в том числе и в виде отблесков от различных предметов) в глаза испытуемых и исследователей при движениях ЧТЧ. Для испытуемых этот недостаток снимается, если движения выполняются с «повязкой на глазах», т.е. без зрительного контроля. Использование в АОМ светодиодов (СД) «ближнего» инфракрасного диапазона исключает «дополнительную нагрузку» на зрение, но требует специальных видеокамер.

Для АОМ с непрерывным излучением из соображений энергоэффективности (особенно при длительных исследованиях) целесообразно использование именно СД. Их миниатюрность позволяет проводить детальные ИД ЧТЧ, вплоть до мелкой моторики кистей и пальцев рук. Для высокой яркости АОМ могут применяться миниатюрные ксеноновые лампы.

Определение положений АОМ на изображениях можно осуществлять по превышению заданного «порога яркости» соответствующего участка изображения. Особенно просто это делать в случае единственного АОМ.

Если количество АОМ невелико, то их «дифференциацию» можно осуществлять за счет использования СД разных цветов. При этом ПО РИ может выявлять такие СД на изображениях при наличии естественного или искусственного «белого» освещения. Для повышения надежности распознавания таких СД целесообразно, чтобы их цвета не повторялись в интерьере комнаты и/или одежде испытуемого (впрочем, фильтрация изображений по «порогу яркости» позволяет это требование ослабить/снять).

Отметим, что СД могут использоваться и при «задней подсветке» элементов АОМ – для получения светящихся объектов разной формы.

Применение АОМ, излучающих свет в импульсном режиме, может быть реализовано с использованием серий тактовых импульсов, последовательно (разновремененно) выдаваемых микропроцессором на разные СД. Синхронно с каждым таким импульсом на все фотоприемники (видеокамеры) также выдаются «стробирующие» импульсы, обеспечивающие возможность приема изображений. При этом используется малая инерционность СД, позволяющая обеспечить такую технологию для достаточно коротких по времени импульсов. Каждый кадр изображения с любой видеокамеры (фотоприемника), соответствующий стробимпульсу, потенциально может содержать максимум один светящийся СД. Какой именно ЧТЧ соответствует этот СД, определяется порядковым номером тактового импульса в серии импульсов (см. выше). Однако соответствующий СД может находиться и вне зоны видимости конкретной видеокамеры – тогда его на изображении вообще не будет видно.

Привязка единственных «ярко светящихся СД» на синхронных по времени кадрах с разных видеокамер может осуществляться специализированным ПО. При этом координаты конкретных АОМ в пространстве (аналогично ПОМ) определяются с использованием известных пространственных положений видеокамер и их ориентаций. Для АОМ (аналогично ПОМ) для определения «векторов направленности движений» можно использовать разницы «пар» их координат для «смежных» точек по времени.

**Другие бесконтактные методы.** Отметим, прежде всего, использование сенсоров, размещенных на некотором удалении от тела человека и реагирующих на изменения магнитного поля, создаваемые «магнитными элементами» (МЭ), укрепленными на движущихся ЧТЧ. При использовании нескольких таких сенсоров и соответствующего ПО, могут изучаться пространственные движения ЧТЧ. Однако в целом возможности таких подходов ограничены.

Похожие подходы могут быть реализованы и с применением «емкостных» сенсоров, реагирующих на приближение-удаление ЧТЧ (при этом размещение специальных объектов на ЧТЧ не является строго обязательным). Однако возможности таких подходов еще более ограничены.

При ИД кистей и пальцев рук (включая исследования тремора – без нагрузки и с нагрузкой) может быть эффективным использование укрепляемых на них «лазерных указок» [25] в сочетании с фотоприемниками (ФП) и коллиматорами. По изменениям освещенностей ФП при больших расстояниях от них до указок могут быть оценены очень мелкие элементы движений кистей/пальцев, которые иными методами изучать трудно.

Для исследования трехмерных движений ЧТЧ как альтернатива использованию системы видеокамер в сочетании с ПОМ или АОМ представляется перспективным метод на основе использования ультразвука (УЗ). Пусть мы имеем несколько излучателей УЗ (ИУЗ) ненаправленного действия, размещенных на ЧТЧ и работающих в импульсном режиме. Моменты излучения для каждого ИУЗ управляются приходом соответствующего этому излучателю импульса в серии импульсов, выдаваемой микропроцессором (т.е. из всей серии на один ИУЗ приходит только один импульс). Одновременно (синхронно) с ИУЗ тактовые импульсы выдаются и на все приемники УЗ (ПУЗ), охватывающие исследуемый объект с разных сторон и расположенные аналогично системе видеокамер для «трехмерных исследований» - см. выше. Приход тактового импульса на каждый из ПУЗ запускает таймер – он работает вплоть до прихода импульса с ИУЗ. Если такой импульс не приходит (когда ИУЗ находится вне «зоны видимости» ПУЗ), то по истечении «максимально возможного времени» (МВВ) счетчик соответствующего таймера «сбрасывается». После истечения МВВ со всех «не сброшенных» таймеров со всех таймеров снимаются показания, соответствующие временам задержки прихода импульсов с ИУЗ по отношению к поступлению тактового импульса. Положение в пространстве очередного ИУЗ (соответствующего тактовому импульсу в серии) может быть определено по разнице задержек по времени звуковых сигналов, приходящих с очередного ИУЗ на совокупность ПУЗ, а также известных координат ПУЗ. Минимально сигнал должен быть получен на трех ПУЗ, с разными пространственными координатами. Если сигнал получен на большем числе ПУЗ, то положение ИУЗ определяется по методу наименьших квадратов.

Перед выдачей тактового импульса на следующий ИУЗ в серии таймеры всех ПУЗ принудительно «сбрасываются».

Для снижения зависимости результатов измерений от температуры, влажности и давления воздуха (они влияют на скорость распространения ультразвука) параллельно с «рабочими» ИУЗ и ПУЗ целесообразно использовать оперативный «калибровочный канал» в виде дополнительной пары ИУЗ-ПУЗ, расположенной на фиксированном расстоянии. Кроме

того, для каждой пары «ИУЗ-ПУЗ» может однократно калиброваться дополнительно – в связи с разбросом параметров радиоэлектронных компонентов.

Для повышения надежности распознавания прихода сигнала на ПУЗ вместо единственного УЗ-импульса может использоваться кодовая последовательность импульсов (по типу комбинаций «1» и «0»), но это несколько усложняет схему детектирования сигнала.

Преимущество метода – не нужно проводить распознавание изображений с использованием видеокамер, сложного ПО и пр. Недостаток – быстрое затухание УЗ в воздухе ограничивает размеры зоны исследований даже в случае достаточно мощного УЗ-сигнала с УЗИ.

**Влияние развития ИКТ на методы исследования ЧТЧ.** Направлений такого влияния несколько. В отношении получения (сбора) информации развитие ИКТ позволяет улучшить следующие возможности: точности получения значений параметров (характеристик); дискретность по времени съема информации (это может быть важно для анализа динамики движений); оперативность получения результатов; предварительную фильтрацию данных, в том числе по частоте и амплитуде; пространственное разрешение для «точек получения информации» – например, на изображениях; дифференциацию цветов на изображениях и пр.

Увеличение скорости обработки данных во многих случаях обеспечивает возможности динамического отображения результатов ИД на мониторах, их использования в цепочках БОС.

Очень большое влияние развитие ИКТ оказывает на структуризацию и накопление информации по ИД. При этом могут использоваться как совокупности автономных «файлов с цифровыми данными» (ФЦД), так и базы данных (БД) по экспериментам, связанным с ИД. В рамках реляционных БД используются совокупности взаимосвязанных таблиц с данными. При этом в специальных полях таблиц таких БД могут содержаться ссылки на ФЦД (храняемые отдельно); файлы с изображениями (фото) испытуемых и частей их тел – в том числе при наличии видимых следов травм, бандажей, лангеток и пр.; аудиовидеоролики экспериментов по ИД и пр.

С позиций методологий использования БД и «хранилищ данных» (ХД) отметим такие формализуемые характеристики результатов ИД: дата/время проведения ИД; цель исследования; вид (направление) исследований; методика ИД; тип места проведения ИД; возраст испытуемого (пациента); его пол; вид основного заболевания/травмы и др. Эти характеристики могут применяться и для построения «гиперкуба данных», соответствующего ХД.

Для исследовательских целей целесообразна «деперсонализация данных» БД или ХД, позволяющая, с одной стороны, «не раскрывать» персональные данные пациентов, а с другой – обеспечить их доступность.

Селективное извлечение информации из БД осуществляется обычно на основе «поисковых запросов», включающих фильтры по одной или большему числу полей в записях БД. Технологии построения (реализации) таких запросов сейчас хорошо разработаны.

Основные аспекты влияния развития ИКТ на анализ данных по ИД: расширение возможностей (углубление) анализа за счет разработки новых методов, алгоритмов и программных средств, расширения функциональности существующих пакетов прикладных программ; возможность вычислительной обработки очень больших объемов данных, в том числе в форме последовательных изображений, временных рядов и пр.; в некоторых случаях – доступность через Интернет дистанционных программных средств анализа/обработки данных; малая известность (особенно для специалистов-медиков) относительно новых видов компьютерного анализа информации.

Также ИКТ резко улучшило возможности наглядного представления результатов анализа данных ИД, включая использование различных диаграмм и графиков; комбинирование/наложение изображений друг с другом; «наложение» на изображения диа-

грамм/графиков, числового материала; представление результатов в квазитрехмерной и трехмерной форме – для рассмотрения с использованием стереочков.

Таким образом, исходя из всего вышесказанного, можно сделать следующие **выводы**.

1. Расширение использования ИКТ для ИД ЧТЧ позволило не только значительно расширить возможности существующих методов, но и предложить принципиально новые подходы, реализация которых ранее была невозможна (или крайне затруднена).

2. В классе контактных методов ИД продолжается «информатизация» существующего оборудования (что потенциально обеспечивает возможности их сопряжения с ПЭВМ – в том числе и по беспроводным каналам), а также разработка сложных роботизированных комплексов анализа/тренинга движений ЧТЧ.

3. В классе бесконтактных методов ИД наиболее перспективными можно считать два направления: программный анализ/реконструкция движений ЧТЧ на основе компьютеризованных систем стереоскопического зрения (с использованием устройств типа уже выпускаемых «игровых приставок»); акселерометрические подходы с он-лайнной и оф-лайнной обработкой получаемых данных.

4. Развитие ИКТ приводит не только к расширению возможностей существующих методов, но и появлению принципиально новых подходов к ИД, которые ранее реализовать было нельзя.

#### Список литературы

1. Аксенова Ю. Ю. Анализ возможностей методов исследования движений конечностей человека в рамках диагностики и тренинга / Ю. Ю. Аксенова, Ю. М. Брумштейн, Ю. Н. Неживая // Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине – 2013 : мат-лы ежегодной Всерос. науч. школы-семинара / под ред. Д. А. Усанова. – Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2013. – С. 160–163.

2. Алексанян З. А. Треморграфическая система для измерения формы и амплитуды колебаний подвижных звеньев конечностей человека / З. А. Алексанян, П. Н. Буренев, О. Б. Кострова, Н. Н. Разин, С. П. Романов // Нейробиотелеком-2012 : сб. науч. тр. V Междунар. науч. конгр. – Санкт-Петербург : Политехника, 2012. – С. 197–200.

3. Алюшин М. В. Электронные системы анализа движения глаз человека / М. В. Алюшин, А. В. Алюшин, Л. В. Колобашкина // Датчики и системы. – 2010. – № 4. – С. 28–32.

4. Беляев Р. В. Исследование особенностей восприятия видеoinформации при помощи фрактального анализа траектории движения глаз / Р. В. Беляев, В. В. Колесов, Г. Я. Меньшикова, А. М. Попов, В. И. Рябенков // Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии. – 2011. – Т. 3, № 1. – С. 56–68.

5. Бирюкова Е. В. Биомеханический анализ движений пальцев травмированной кисти как метод функциональной диагностики / Е. В. Бирюкова, А. А. Фролов, И. В. Гринягин, В. Ф. Коршунов, С. Ю. Романов, И. А. Смирнитская // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. – 2010. – № 2. – С. 70–77.

6. Воротников С. А. Биометрическая система управления протезом руки / С. А. Воротников, В. С. Струнин, Н. А. Выборнов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2013. – № 3 (23). – С. 147–162.

7. Брумштейн Ю. М. Компьютеризированные методы исследования скорости реакций и точности моторики пальцев рук / Ю. М. Брумштейн, Ю. Ю. Аксенова // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 9. – С. 77–83.

8. Брумштейн Ю. М. О некоторых возможностях использования ПЭВМ для контроля/тренинга мелкой моторики пальцев рук и времени реакций / Ю. М. Брумштейн, Ю. Ю. Аксенова, В. Ю. Аксенов, Е. С. Вдовина // Инновационные технологии в управлении, образовании, промышленности «Астинтех-2010» : мат-лы междунар. науч. конф. – Астрахань : Изд. дом «Астраханский университет», 2010. – С. 3–4.

9. Брумштейн Ю. М. Анализ методов исследования процессов, описываемых взаимосвязанными временными рядами / Ю. М. Брумштейн, М. В. Иванова // Известия Волгоградского государст-

венного технического университета. Серия. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. – 2011. – Вып. 10. – № 3 (76). – С. 45–51.

10. Брумштейн Ю. М. Одно- и многомерные временные ряды: анализ возможных методов оптимизации отсчетов и оценки характеристик / Ю. М. Брумштейн, М. В. Иванова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2012. – № 4. – С. 34–43.

11. Брумштейн Ю. М. Исследование характеристик реакций на различные стимулы на основе движений кистей и пальцев рук / Ю. М. Брумштейн, Е. С. Травова, Ю. Ю. Аксенова, Ю. Н. Неживая, М. В. Иванова // Инфокоммуникационные технологии в инновациях, медико-биологических и технических науках : сб. науч. тр. Пятого междунар. науч. конгр. «Нейробиотелеком-2012». – Санкт-Петербург : Политехника, 2012. – С. 242–247.

12. Восков Л. С. Проблема беспроводного захвата движения и система для ее решения на основе программно-аппаратной платформы беспроводной сенсорной сети / Л. С. Восков, А. Н. Вабищевич // Качество. Инновации. Образование. – 2013. – № 1 (92). – С. 84–91.

13. Дик С. К. Разработка системы видеорегистрации тремора конечностей человека / С. К. Дик, А. С. Терех, А. В. Смирнов, В. К. Конопелько // Проблемы физики, математики и техники. – 2013. – № 3 (16). – С. 93–96.

14. Ефимов А. П. Информативность биомеханических параметров походки для оценки патологии нижних конечностей / А. П. Ефимов // Российский журнал биомеханики. – 2012. – Т. 16, № 1. – С. 80–88.

15. Заболевая-Зотова А. В. Определение эмоционального состояния человека по его движениям с использованием нейросетей / А. В. Заболевая-Зотова, Ю. А. Орлова, В. Л. Розалиев, О. С. Федоров // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2011. – № 3. – С. 80–86.

16. Колесник К. В. Особенности применения GSM/GPRS-СВЯЗИ в телемедицинском скрининге / К. В. Колесник, М. А. Шишкин, А. В. Кипенский, Е. И. Сокол // Современные информационные и электронные технологии. – 2014. – Т. 1, № 15. – С. 199–200.

17. Кузнецов А. О. Оценка параметров движения нижних конечностей человека с помощью акселерометров / А. О. Кузнецов, А. А. Красковский, С. А. Тараканов, В. И. Кузнецов // Биотехносфера. – 2013. – № 5 (29). – С. 21–26.

18. Неживая Ю. Н. Системный анализ проблематики управления процессами реабилитации кистей и пальцев рук / Ю. Н. Неживая, Е. С. Травова, А. Е. Водопьянов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2013. – № 3. – С. 85–99.

19. Перфильева Н. П., Лукьянова Е. В. Развитие мелкой моторики пальцев рук будущих электромонтажников / Н. П. Перфильева, Е. В. Лукьянова // Педагогико-психологические и медико-биологические проблемы физической культуры и спорта. – 2014. – Т. 30, № 1 (30). – С. 125–129.

20. Потоп В. А. Биомеханические показатели узловых элементов спортивной техники гимнастических упражнений / В. А. Потоп, Р. Град, В. Н. Болобан // Педагогика, психология и медико-биологические проблемы физического воспитания и спорта. – 2013. – № 9. – С. 59–72.

21. Скворцов Д. В. Клиническая биомеханика – определение и фактические разделы / Д. В. Скворцов // Российский журнал биомеханики. – 1999. – Т. 3, № 2. – С. 103–104.

22. Скрипкина А. А. Анализ методов распознавания движений человека / А. А. Скрипкина // Новый университет. Серия: Технические науки. – 2013. – № 1 (11). – С. 28–32.

23. Романов С. П. Особенность активности нервной системы при управлении движением / С. П. Романов, З. А. Алексанян // Информационно-управляющие системы. – 2012. – № 5. – С. 57–68.

24. Слива С. С. Уровень развития и возможности отечественной компьютерной стабиллографии / С. С. Слива // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2002. – Т. 28, № 5. – С. 73–81.

25. Травова Е. С. Анализ возможностей использования лазерных указок для медико-диагностических целей / Е. С. Травова, Ю. М. Брумштейн, Ю. Ю. Аксенова // Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине : мат-лы Всерос. молодеж. конф. / под ред. проф. Д. А. Усанова. – Саратов : Изд-во Саратовского ун-та, 2012. – С. 201–204.

26. Финогеев А. Г. Анализ данных в системе диспетчеризации городского теплоснабжения / А. Г. Финогеев, И. С. Нефедова, Е. А. Финогеев, Куанг Винь Тхай, В. А. Камаев, С. В. Шевченко, А. А. Финогеев // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2014. – № 2 (26). – С. 182–196.

27. Шалманов А. Оперативный и текущий биомеханический контроль в спорте (проблемы и пути решения) / А. Шалманов, В. Скотников, Я. Ланка // Наука в олимпийском спорте. – 2013. – № 4. – С. 40–45.

28. Ширко А. А. Автоматизация построения векторной модели тела человека / А. А. Ширко, В. Л. Розалиев, Ю. А. Орлова, А. В. Алексеев // Известия ВолГТУ. Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. – 2013. – Вып. 14 (117). – С. 67–71.

29. Charles S. K. Dynamics of wrist rotations / S. K. Charles, N. Hogan // Journal of Biomechanics. – 2011. – Vol. 44, no. 4, pp. 614–621.

30. Crane E. A. Effect of registration on cyclical kinematic data / E. A. Crane, G. E. Gerstner, R. B. Cassidy, E. D. Rothman // Journal of Biomechanics. – 2010. – Vol. 43, № 12. – P. 2444–2447.

31. Halsey L. G. Assessing the development and application of the accelerometry technique for estimating energy expenditure / L. G. Halsey, E. L. C. Shepard, R. P. Wilson // Comparative Biochemistry and Physiology. Part A: Molecular & Integrative Physiology. – 2011. – Vol. 158, № 3. – P. 305–314.

32. Hoshino R. Real-time human motion analysis based on analysis of silhouette contour and color blob / R. Hoshino, D. Arita, S. Yonemoto, R. I. Taniguchi // Lecture Notes in Computer Science. – 2002. – Vol. 2492. – P. 92–103.

33. Eikermann M. Predictive value of mechanomyography and accelerometry for pulmonary function in partially paralyzed volunteers / M. Eikermann, H. Groeben, J. Husing, J. Peters // Acta Anaesthesiologica Scandinavica. – 2004. – Vol. 48, № 3. – P. 365–370.

34. Eisenmann J. C. Validity of uniaxial accelerometry during activities of daily living in children / J. C. Eisenmann, S. J. Strath, D. Shadrick, P. Rigsby, N. Hirsch, L. Jacobson // European Journal of Applied Physiology. – 2004. – Vol. 91, № 2–3. – P. 259–263.

35. Kashima T. Analysis of a muscular control system in human movements / T. Kashima, Y. Isurugi, M. Shima // Biological Cybernetics. – 2000. – Vol. 82, № 2. – P. 0123–0131.

36. Mathie M. J. Accelerometry: providing an integrated, practical method for long-term, ambulatory monitoring of human movement / M. J. Mathie, A. C. F. Coster, N. H. Lovell, B. G. Celler // Physiological Measurement. – 2004. – Vol. 25, № 2. – P. R1–R20.

37. Mosa A. S. M. A systematic review of healthcare applications for smartphones / A. S. M. Mosa, I. Yoo, L. Sheets // BMC Medical Informatics and Decision Making. – 2012. – Vol. 12, № 67. (doi:10.1186/1472-6947-12-67). – Available at: <http://www.biomedcentral.com/1472-6947/12/67> (accessed 03.09.2014).

38. Rosaliev V. L. Detailed Analysis of Postures and Gestures for the Identification of Human Emotional Reactions / V. L. Rosaliev, A. S. Bobkov, U. A. Orlova, A. V. Zaboleeva-Zotova, A. S. Dmitriev // World Applied Sciences Journal (WASJ). – 2013. – Vol. 24, spec. issue 24: Information Technologies in Modern Industry, Education & Society. – P. 151–158.

39. Yang X. Study of quality evaluation of upper limb movements based on 3D acceleration information / X. Yang, C. Wang, L. Pan, Z. Ma, Y. Sun // Chinese Journal of Sensors and Actuators. – 2010. – Vol. 23, № 12. – P. 1709–1712.

### References

1. Aksenova Yu. Yu., Brumshhteyn Yu. M., Nezhivaya Yu. N. Analiz vozmozhnostey metodov issledovaniya dvizheniy konechnostey cheloveka v ramkah diagnostiki i treninga [The analysis of methods opportunities for research of person's extremities movements within diagnostics and trainings]. *Metody kompyuternoy diagnostiki v biologii i medicine-2013: materialy ezhegodnoy Vserossiyskoy nauchnoy shkoly-seminara* [Methods of computer diagnostics in biology and medicine-2013: Proceedings of the Annual All-Russian Scientific School Seminar]. Saratov, Saratov University Publ., 2013, pp. 160–163.

2. Aleksanyan Z. A., Burenev P. N., Kostrova O. B., Razin N. N., Romanov S. P. Tremorograficheskaya sistema dlya izmereniya formy i amplitudy kolebaniy podvizhnykh zveney konechnostey cheloveka [Tremorographic system for measurement of a form and amplitude of mobile links fluctuations of person's extremities]. *Neyrobiotelekom-2012: sbornik nauchnykh trudov V Mezhdunarodnogo nauchnogo kongressa* [Neurobiotelecom-2012: Proceedings of the V International Scientific Congress]. Saint Petersburg, Politekhnik, 2012, pp. 197–200.



3. Alyushin M. V., Alyushin A. V., Kolobashkina L. V. Elektronnye sistemy analiza dvizheniya glaz cheloveka [Electronic systems of person eyes movement analysis]. *Datchiki i sistemy* [Sensors and Systems], 2010, no. 4, pp. 28–32.

4. Belyaev R. V., Kolesov V. V., Menshikova G. Ya., Popov A. M., Ryabenkov V. I. Issledovanie osobennostey vospriyatiya videoinformatsii pri pomoshchi fraktalnogo analiza traektorii dvizheniya glaz [Research of perception features of video information by means of the fractal analysis of eyes movement trajectory]. *Radioelektronika. Nanosistemy. Informatsionnye tekhnologii* [Radioelectronics. Nanosystems. Information technologies], 2011, vol. 3, no. 1, pp. 56–68.

5. Biryukova Ye. V., Frolov A. A., Grinyagin I. V., Korshunov V. F., Romanov S. Yu., Smirnit-skaya I. A. Biomechanicheskiy analiz dvizheniy paltsev travmirovannoy kisti kak metod funktsionalnoy diagnostiki [Biomechanical analysis of fingers movements in injured brush as a method of functional diagnostics]. *Vestnik travmatologii i ortopedii imeni N.N. Priorova* [Bulletin of traumatology and orthopedics named by N. N. Priorov], 2010, no. 2, pp. 70–77.

6. Vorotnikov S. A., Strunin V. S., Vybornov N. A. Biometricheskaya sistema upravleniya protezom ruki [Biometric control system for artificial limb of hand]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2013, no. 3 (23), pp. 147–162.

7. Brumshteyn Yu. M., Aksenova Yu. Yu. Kompyuterizirovannye metody issledovaniya skorosti reaktsiy i tochnosti motoriki paltsev ruk [The computerized methods of research for speed of reactions and the accuracy of a hands fingers motility]. *Izvestiya Yuzhnogo federalnogo universiteta. Tehnicheskie nauki* [News of the Southern Federal University. Technical Sciences], 2012, no. 9, pp. 77–83.

8. Brumshteyn Yu. M., Aksenova Yu. Yu., Aksenov V. Yu., Vdovina Ye. S. O nekotorykh voz-mozhnostyakh ispolzovaniya PEVM dlya kontrolya/treninga melkoy motoriki paltsev ruk i vremeni reaktsiy [About some opportunities of PC usage for control/training for small motility of hands fingers and time reactions]. *Innovatsionnye tekhnologii v upravlenii, obrazovanii, promyshlennosti "Astintekh-2010": materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii* [Innovative technologies in management, education, industry "Astintekh-2010": Proceedings of the International Scientific Conference]. Astrakhan, Publishing House «Astrakhan University», 2010, pp. 3–4.

9. Brumshteyn Yu. M., Ivanova M. V. Analiz metodov issledovaniya protsessov, opisyvaemykh vzaimosvyazannymi vremennymi ryadami [The analysis of methods for research processes, described by interconnected temporary ranks]. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya. Aktualnye problemy upravleniya, vychislitel'noy tekhniki i informatiki v tekhnicheskikh sistemakh* [News of Volgograd State Technical University. Series. Actual problems of management, computer facilities and informatics in technical systems], 2011, issue 10, no. 3 (76), pp. 45–51.

10. Brumshteyn Yu. M., Ivanova M. V. Odno- i mnogomernye vremennye ryady: analiz voz-mozhnykh metodov optimizatsii otschetov i otsenki kharakteristik [One- and multidimensional temporary ranks: analysis of possible methods for optimization of counting and assessment of characteristics]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2012, no. 4, pp. 34–43.

11. Brumshteyn Yu. M., Travova Ye. S., Aksenova Yu. Yu., Nezhivaya Yu. N., Ivanova M. V. Issledovanie kharakteristik reaktsiy na razlichnye stimuly na osnove dvizheniy kistey i paltsev ruk [Research of reactions characteristics to various incentives on the basis of hands brushes and fingers movements]. *Infokommunikatsionnye tekhnologii v innovatsiyakh, mediko-biologicheskikh i tekhnicheskikh naukakh: sbornik nauchnykh trudov Pyatogo mezhdunarodnogo nauchnogo kongressa «Neurobiotelekom-2012»* [Infocommunication technologies in innovations, medicobiological and technical science: Proceedings of the Fifth International Scientific Congress "Neurobiotelekom-2012"]. Saint Petersburg, Politekhnik, 2012, pp. 242–247.

11. Voskov L. S., Vabishchevich A. N. Problema besprovodnogo zakhvata dvizheniya i sistema dlya ee resheniya na osnove programmno-apparatnoy platformy besprovodnoy sensornoy seti [Problem of wireless capture of the movement and system for its decision on the basis of a hardware-software platform of a wireless touch network]. *Kachestvo. Innovatsii. Obrazovanie* [Quality. Innovations. Education], 2013, no. 1 (92), pp. 84–91.

13. Dik S. K., Terekh A. S., Smirnov A. V., Konopelko V. K. Razrabotka sistemy videoregistratsii tremora konechnostey cheloveka [Development of video registration system for person's extremities tremor].

*Problemy fiziki, matematiki i tekhniki* [Problems of Physics, Mathematics and Equipment], 2013, no. 3 (16), pp. 93–96.

14. Efimov A. P. Informativnost biomekhanicheskikh parametrov pokhodki dlya otsenki patologii nizhnikh konechnostey [Informativity of biomechanical parameters of gait for an assessment of pathology of the lower extremities]. *Rossiyskiy zhurnal biomehaniki* [Russian Journal of Biomechanics], 2012, vol. 16, no. 1, pp. 80–88.

15. Zaboloeva-Zotova A. V., Orlova Yu. A., Rozaliev V. L., Fedorov O. S. Opredelenie emotsionalnogo sostoyaniya cheloveka po ego dvizheniyam s ispolzovaniem neyrosetey [Definition of persons emotional condition by his movements with use of neuronets]. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshheniya* [Bulletin of Rostov State Transport University], 2011, no. 3, pp. 80–86.

16. Kolesnik K. V., Shishkin M. A., Kipenskiy A. V., Sokol Ye. I. Osobennosti primeneniya GSM/GPRS-svyazi v telemeditsinskom skrininge [Features of GSM/GPRS-communication application in telemedical screening]. *Sovremennyye informatsionnye i elektronnyye tekhnologii* [Modern Information and Electronic Technologies], 2014, vol. 1, no. 15, pp. 199–200.

17. Kuznetsov A. O., Kraskovskiy A. A., Tarakanov S. A., Kuznetsov V. I. Otsenka parametrov dvizheniya nizhnikh konechnostey cheloveka s pomoshchyu akselerometrov [Parameters estimation for movements of the lower limbs of person by means of accelerometers]. *Biotekhnosfera* [Biotechnosphere], 2013, no. 5 (29), pp. 21–26.

18. Nezhivaya Yu. N., Travova Ye. S., Vodopyanov A. Ye. Sistemnyy analiz problematiki upravleniya protsessami reabilitatsii kistey i paltsev ruk [System analysis of a perspective of management of processes of rehabilitation of brushes and fingers of hands]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2013, no. 3, pp. 85–99.

19. Perfilova N. P., Lukyanova Ye. V. Razvitie melkoy motoriki paltsev ruk budushchikh elektromontazhnikov [Development of a small motility of fingers of hands of future construction electricians]. *Pedagogiko-psikhologicheskie i mediko-biologicheskie problemy fizicheskoy kultury i sporta* [Pedagogic and psychological and medicobiological problems of physical training and sport], 2014, vol. 30, no. 1 (30), pp. 125–129.

20. Potop V. A., Grad R., Boloban V. N. Biomekhanicheskie pokazateli uzlovykh elementov sportivnoy tekhniki gimnasticheskikh upravleniy [Biomechanical indicators of nodal elements of sports technology of gymnastic exercises]. *Pedagogika, psihologiya i mediko-biologicheskie problemy fizicheskogo vospitaniya i sporta* [Pedagogics, psychology and medicobiological problems of physical training and sport], 2013, no. 9, pp. 59–72.

21. Skvortsov D. V. Klinicheskaya biomekhanika – opredelenie i fakticheskie razdely [Clinical biomechanic – definition and the actual sections]. *Rossiyskiy zhurnal biomekhaniki* [Russian Journal of Biomechanics], 1999, vol. 3, no. 2, pp. 103–104.

22. Skripkina A. A. Analiz metodov raspoznavaniya dvizheniy cheloveka [Analysis of methods of recognition of person movements]. *Novyy universitet. Seriya: Tekhnicheskie nauki* [New University. Series: Technical sciences], 2013, no. 1 (11), pp. 28–32.

23. Romanov S. P., Aleksanyan Z. A. Osobennost aktivnosti nervnoy sistemy pri upravlenii dvizheniem [Particularity of nervous system activity at traffic control]. *Informatsionno-upravlyayushchie sistemy* [Information and Management Systems], 2012, no. 5, pp. 57–68.

24. Sliva S. S. Uroven razvitiya i vozmozhnosti otechestvennoy kompyuternoy stabilografii [Level of development and possibilities of a domestic computer stabilography]. *Izvestiya Yuzhnogo federalnogo universiteta. Tehnicheskie nauki* [News of Southern Federal University. Technical Sciences], 2002, vol. 28, no. 5, pp. 73–81.

25. Travova Ye. S., Brumshteyn Yu. M., Aksenova Yu. Yu. Analiz vozmozhnostey ispolzovaniya lazernykh ukazok dlya mediko-diagnosticheskikh tseley [Analysis of opportunities of use of laser pointers for the medico-diagnostic purposes]. *Metody kompyuternoy diagnostiki v biologii i medicine: materialy Vserossiyskoj molodezhnoy konferentsii* [Methods of computer diagnostics in biology and medicine: Proceedings of the All-Russian Youth Conference]. Saratov, Saratov University Publ., 2012, pp. 201–204.

26. Finogeev A. G., Nefedova I. S., Finogeev Ye. A., Kuang Vin Tkhay, Kamaev V. A., Shevchenko S. V., Finogeev A. A. Analiz dannykh v sisteme dispetcherizatsii gorodskogo teplosnabzheniya [The analysis of data in system of scheduling of city heat supply]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [The Caspian Journal: Management and High Technologies], 2014, no. 2 (26), pp. 182–196.

27. Shalmanov A., Skotnikov V., Lanka Ya. Operativnyy i tekushchiy biomechanicheskiy control v sporte (problemy i puti resheniya) [Operating and current biomechanical control in sport (problems and solutions)]. *Nauka v olimpiyskom sporte* [Science in the Olympic Sport], 2013, no. 4, pp. 40–45.
28. Shirko A. A., Rozaliev V. L., Orlova Yu. A., Alekseev A. V. Avtomatizatsiya postroeniya vektornoy modeli tela cheloveka [Automation of creation of vector model of a body of the person]. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Serya. Aktualnye problemy upravleniya, vychislitel'noy tekhniki i informatiki v tehnikeskikh sistemakh* [News of Volgograd State Technical University. Series. Actual problems of management, computer facilities and informatics in technical systems], 2013, issue 14 (117), pp. 67–71.
29. Charles S. K., Hogan N. Dynamics of wrist rotations. *Journal of Biomechanics*, 2011, vol. 44, no. 4, pp. 614–621.
30. Crane E. A., Gerstner G. E., Cassidy R. B., Rothman E. D. Effect of registration on cyclical kinematic data. *Journal of Biomechanics*, 2010, vol. 43, no. 12, pp. 2444–2447.
31. Halsey L. G., Shepard E. L. C., Wilson R. P. Assessing the development and application of the accelerometry technique for estimating energy expenditure. *Comparative Biochemistry and Physiology. Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 2011, vol. 158, no. 3, pp. 305–314.
32. Hoshino R., Arita D., Yonemoto S., Taniguchi R. I. Real-time human motion analysis based on analysis of silhouette contour and color blob. *Lecture Notes in Computer Science*, 2002, vol. 2492, pp. 92–103.
33. Eikermann M., Groeben H., Husing J., Peters J. Predictive value of mechanomyography and accelerometry for pulmonary function in partially paralyzed volunteers. *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*, 2004, vol. 48, no. 3, pp. 365–370.
34. Eisenmann J. C., Strath S. J., Shadrick D., Rigsby P., Hirsch N., Jacobson L. Validity of uniaxial accelerometry during activities of daily living in children. *European Journal of Applied Physiology*, 2004, vol. 91, no. 2–3, pp. 259–263.
35. Kashima T., Isurugi Y., Shima M. Analysis of a muscular control system in human movements. *Biological Cybernetics*, 2000, vol. 82, no. 2, pp. 0123–0131.
36. Mathie M. J., Coster A. C. F., Lovell N. H., Celler B. G. Accelerometry: providing in integrated, practical method for long-term, ambulatory monitoring of human movement. *Physiological Measurement*, 2004, vol. 25, no. 2, pp. R1–R20.
37. Mosa A. S. M., Yoo I., Sheets L. A systematic review of healthcare applications for smartphones. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 2012, vol. 12, no. 67. (doi:10.1186/1472-6947-12-67). Available at: <http://www.biomedcentral.com/1472-6947/12/67> (accessed 03.09.2014).
38. Rosaliev V. L., Bobkov A. S., Orlova U. A., Zabolieva-Zotova A. V., Dmitriev A. S. Detailed Analysis of Postures and Gestures for the Identification of Human Emotional Reactions. *World Applied Sciences Journal (WASJ)*, 2013, vol. 24, spec. issue 24: Information Technologies in Modern Industry, Education & Society, pp. 151–158.
39. Yang X., Wang C., Pan L., Ma Z., Sun Y. Study of quality evaluation of upper limb movements based on 3D acceleration information. *Chinese Journal of Sensors and Actuators*, 2010, vol. 23, no. 12, pp. 1709–1712.