

А.М. Герегей¹, А.С. Ковалёв¹, О.В. Ветряков²,
И.С. Малахова¹, Э.М. Мавренков²

Современные методы оценки функционального состояния организма и физической работоспособности военнослужащего при решении научно-исследовательских задач биомедицинской направленности

¹Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной медицины, Санкт-Петербург

²Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург

Резюме. Рассмотрены основные вопросы, связанные с оценкой функционального состояния организма и физической работоспособности военнослужащего. Представлен обзор современных методов оценки функционального состояния и физической работоспособности человека в спортивной медицине и физиологии военного труда как в России, так и за её пределами. Обоснован выбор методов, позволяющих унифицировать подходы к оценке военно-профессиональной работоспособности в стационарных и полевых условиях. Установлено, что в научно-исследовательской практике военно-медицинских специалистов целесообразно оценивать функциональное состояние организма военнослужащего и его физическую работоспособность при нагрузках, связанных как с динамической, так и со статической работой мышц. Определено, что эргоспирометрия является наиболее приемлемым методом оценки функционального состояния организма и физической работоспособности военнослужащих в процессе выполнения динамической работы. Отмечено, что с помощью эргоспирометрического тестирования представляется возможность прогнозировать физическую работоспособность военнослужащего и продолжительность её сохранения на заданном уровне, заменяя или дополняя большинство стандартных нагрузочных проб, что является весомым аргументом в пользу её выбора в качестве «золотого стандарта». Установлено, что для оценки функционального состояния организма и физической работоспособности военнослужащих в процессе выполнения статической работы основным методом является стабилметрия. Значительное число имеющихся стабилметрических методик, в том числе с использованием биологической обратной связи, значительно расширяет возможности диагностики функционального состояния организма военного специалиста. Определено, что наиболее приемлемой методикой оценки влияния динамических нагрузок на опорно-двигательный аппарат военнослужащего является использование технологии «захвата движений». Раскрыты основные преимущества и недостатки современных средств и методов изучения функционального состояния и физической работоспособности человека. Перечислены современные аппаратно-программные комплексы, применяемые для решения научно-исследовательских задач биомедицинской направленности.

Ключевые слова: функциональное состояние организма, физическая работоспособность, военно-профессиональная работоспособность, физические нагрузки, эргоспирометрия, кардиореспираторные нагрузочные пробы, стабилметрия, видеозахват движений, инерциальные системы захвата движений.

Введение. В настоящее время профессиональная деятельность военного специалиста зачастую остаётся насыщенной элементами физического труда, при этом физические нагрузки связаны с динамической и статической работой мышц. Следствием выполнения продолжительных интенсивных физических нагрузок является развитие утомления, что негативно отражается на качестве и скорости выполняемой работы.

Для оценки влияния физического труда на организм военнослужащего медицинские специалисты ориентируются на исследование отдельных, наиболее значимых показателей функционального состояния (ФС) той или иной системы организма, задействованной при решении конкретной военно-профессиональной задачи. По мнению некоторых исследователей, эффективность профессиональной деятельности большинства категорий военнос-

лужащих во многом зависит от их психологического состояния, степени физической подготовленности, состояния здоровья и уровня профессиональной подготовки [9]. Главенствующую роль при этом играет ФС организма военнослужащего, которое, в свою очередь, определяется условиями деятельности и индивидуальными особенностями личности. Поэтому для специалистов, изучающих вопросы биомедицинской направленности, ФС организма военнослужащего и его физическая работоспособность (ФР) являются основными критериями, характеризующими эффективность военно-профессиональной деятельности.

В настоящее время в арсенале военно-медицинских специалистов имеется широкий набор средств и методов оценки ФС организма и ФР военнослужащего как в стационарных, так и полевых условиях. Многие из них используются на протяже-

нии нескольких десятилетий и зарекомендовали себя как простые, надежные и объективные [9]. Несмотря на это, одной из главных задач исследователей всегда будет оставаться поиск наиболее эффективных средств и методов изучения ФС организма человека и его ФР с учетом появления более современных подходов к их оценке и новой аппаратуры. В связи с активным развитием спорта высших достижений, постоянно возрастающим уровнем конкуренции, совершенствованием лабораторной базы в спортивной медицине появляются новые компактные аппаратные средства, позволяющие как в стационарных, так и полевых условиях оперативно получать необходимую информацию о предъявляемой нагрузке и реакции организма на неё. Современные приборы обеспечивают высокую точность регистрации данных, что позволяет исследователям с достаточной степенью достоверности интерпретировать полученные результаты [1].

Исходя из этого, представляется актуальным рассмотреть современные подходы к оценке ФС организма человека и его ФР, а также определить средства и методы, позволяющие совершенствовать материально-техническую базу научно-исследовательских организаций, занимающихся изучением вопросов биомедицинской направленности.

Цель исследования. Провести обзор современных средств и методов исследования ФС организма человека и его ФР, наиболее приемлемых для использования в физиологии военного труда.

Материалы и методы исследования. Проведён анализ современных средств и методов оценки ФС организма и ФР человека, применяемых в физиологии военного труда и спортивной медицине в России и за её пределами. Обоснован выбор современных методов оценки ФС организма военнослужащего и его ФР, наиболее приемлемых для использования в стационарных и полевых условиях.

Результаты и их обсуждение. Одной из основных задач исследователей, занимающихся изучением вопросов медико-биологического сопровождения разработки новых образцов военной техники, боевой экипировки и средств коррекции боеспособности, является оценка ФС организма и ФР военнослужащего в процессе профессиональной деятельности. При этом важно исследовать ФС основных систем организма, определяющее успешность выполнения учебно-боевых задач.

Физические нагрузки, связанные с динамической и/или статической работой мышц, сопровождаются изменением физиологических систем организма, тем большими, чем больше объем выполняемой работы. Динамика показателей основных физиологических систем организма военнослужащего и степень его утомления являются основными критериями эффективности его военно-профессиональной деятельности, что лежит

в основе выбора методов оценки ФС организма и ФР военнослужащего при решении научно-исследовательских задач биомедицинской направленности. При этом наиболее приоритетными задачами являются изучение основных физиологических показателей систем дыхания и кровообращения, обмена веществ и основного обмена при выполнении динамической работы, а также оценка ФС системы постурального контроля в процессе выполнения статической работы. Неотъемлемой частью биомедицинских исследований в области эргономики является изучение биомеханических характеристик движений военнослужащего в процессе профессиональной деятельности.

В настоящее время для оценки у военнослужащих ФС систем дыхания и кровообращения, а также определения ФР в физиологии военного труда зачастую используют отдельные функциональные пробы (PWC₁₇₀, степ-тест, пробы Руфье, Летунова, Мартинета, Штанге, Генча, Розенталя, Шафрановского и др.) или блоки нагрузочных проб, выбор которых во многом определяется первостепенными целями и задачами исследования, а также спецификой контингента, которая формируется с учётом половой принадлежности, возраста, уровня физической подготовленности, состояния здоровья и т. д. [9]. В основе выбора данных проб лежит прежде всего то, что они непродолжительны по времени, просты в освоении, не требуют дорогостоящего оборудования и высококвалифицированного персонала для их проведения. При этом зачастую невозможность стандартизировать характер предъявляемой нагрузки и низкий уровень её количественной оценки зачастую придают интерпретации результатов субъективный характер.

В спортивной медицине для оценки ФС систем дыхания и кровообращения организма и ФР спортсменов, как правило, применяют кардиореспираторную нагрузочную пробу – эргоспирометрию [3]. При проведении эргоспирометрического исследования все показатели ФР в совокупности с регистрацией электрокардиограммы, артериального давления, сатурации крови отображаются непосредственно на экране монитора, что позволяет исследователю в режиме реального времени количественно и качественно оценивать характер предъявляемой нагрузки и реакцию систем дыхания и кровообращения на неё, скорость и качество восстановительных процессов и функциональные резервы организма [8]. В основе выбора методики лежит, прежде всего, её универсальность, неинвазивность и высокая диагностическая достоверность. Помимо количественного определения ключевых показателей ФР, таких как максимальное потребление кислорода, порог анаэробного обмена, дыхательный коэффициент, кислородный пульс нагрузки и др., эргоспирометрия позволяет определять метаболический эквивалент нагрузки, регистрировать основные показатели функции

внешнего дыхания, такие как жизненная ёмкость лёгких, минутный объём дыхания, форсированная жизненная ёмкость и др.

Несомненным преимуществом эргоспирометрии является возможность расчёта энергозатрат в процессе выполнения конкретной функциональной пробы или на определенной степени нагрузки с использованием данных ДК и калорического эквивалента по кислороду. Использование эргоспирометрии в полевых условиях открывает широкие возможности перед исследователем при оценке энергозатрат в процессе выполнения конкретной задачи, что позволяет прогнозировать успешность профессиональной деятельности.

За рубежом на протяжении многих лет успешно применяют эргоспирометрию для решения научно-исследовательских задач в области военной медицины. Так, специалисты Организации оборонных исследований и разработок (Defence Research and Development Organisation – DRDO), базирующейся в г. Дели (Индия), показали информативность эргоспирометрии для оценки влияния нагрузок, связанных с переноской груза, на ФС организма и ФР военнослужащего. Для этого регистрировали пульс, частоту дыхательных движений, максимальное потребление кислорода при выполнении нагрузки в различных вариантах экипировки на различных природных поверхностях, оценивали корреляцию между уровнем ФР и когнитивными функциями [25]. Другие исследователи из DRDO регистрировали эргоспирометрические параметры у добровольцев с целью изучения влияния условий высокогорья на ФС организма и ФР военнослужащих при выполнении работы различной интенсивности [14]. Польские ученые из отдела кардиологии и внутренних болезней военного института медицины доказали информативность эргоспирометрии для оценки ФС систем дыхания и кровообращения организма военнослужащих, в том числе для клинической диагностики преморбидных состояний систем дыхания и кровообращения [19]. Австралийские ученые использовали эргоспирометрию для установления корреляции между энергозатратами военнослужащего и распределением груза на поверхности его тела [16].

Заметим, что указанная методика не лишена и некоторых недостатков, таких как высокая цена оборудования и расходных материалов для проведения исследования, нуждаемость в квалифицированном медицинском персонале. В связи с тем, что кардиореспираторная нагрузочная проба зачастую сопровождается предъявлением максимальных и субмаксимальных нагрузок для испытуемого, имеется риск возникновения состояний, требующих оказания неотложной медицинской помощи.

В настоящее время для оценки ФС организма военнослужащего и его ФР существует возможность использования современных эргоспирометрических комплексов, в том числе: «MetaLyzer 3B»

фирмы «Cortex» (Германия), «Quark CPET» фирмы «Cosmed» (Италия), «Cardiovit CS-200 Ergo-spiro» фирмы «Schiller AG» (Германия) и др. Возможность применения специализированного оборудования, основанного на беспроводной передаче данных, такого как «MetaMax 3B» фирмы «Cortex» (Германия), «OxiconPro Mobile» фирмы «Jaeger» (Германия) и др., позволяет регистрировать все ключевые физиологические показатели непосредственно в полевых условиях.

Наиболее распространенной методикой изучения влияния статических нагрузок на организм человека является стабилметрия. С учётом опыта её применения в спортивной медицине появляется возможность адаптировать имеющиеся методики применительно к профессиональной деятельности военнослужащих.

Стабилметрия включает в себя широкий набор методик, среди которых наибольшее распространение получили пробы Ромберга, лимита стабильности, оптокинетическая проба и др. [10]. Помимо классических методик, стабилметрия может включать в себя пробы с биологической обратной связью по опорной реакции, что позволяет использовать их в качестве тренажерных устройств, направленных на совершенствование функции равновесия, координационных способностей, психологической устойчивости, грамотного тактического мышления, повышение роли отдельных сенсорных каналов при управлении движениями.

Стабилметрическое исследование не имеет альтернатив по комфорту и малому времени исследования, обладает высокой чувствительностью к малейшим изменениям ФС организма человека, позволяет производить анализ текущего состояния исследуемого, отследить первые признаки состояния переутомления [6].

В России выполнен ряд работ, посвященных изучению влияния статических нагрузок на ФС организма военнослужащих. При участии специалистов Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова была показана информативность стабилметрии для оценки ФС организма военнослужащих из числа летного состава Воздушно-космических сил России при статокINETической нагрузке. Для этого в работе регистрировали площадь статокINETИОграммы, вычисляли средний радиус отклонения центра давления, среднюю скорость его перемещения, качество функции равновесия и показатели спектра стабилограммы. При этом была установлена взаимосвязь стабилметрических показателей с показателями variability сердечного ритма после статокINETических нагрузок. Было показано, что анализ стабилметрических показателей, как и анализ variability сердечного ритма, даёт возможность для индивидуальной оценки ФС организма летчиков при воздействии на него неблагоприятных факторов лётного труда [4]. В других работах изучали стабилметрические показатели у

моряков и членов экспедиции, впервые вышедших в арктический рейс. Регистрировали площадь стабиллограммы, вычисляли энерго- и стабиллоиндекс, коэффициент Ромберга. Было доказано, что стабиллометрические показатели могут быть рассмотрены в качестве критериев оценки реактивности организма в экстремальных условиях [7].

За рубежом исследования в области постурологии относятся к категории работ, имеющих чрезвычайно высокую актуальность. В частности, военно-медицинских специалистов интересуют вопросы, связанные с оценкой влияния переносимых грузов на ФС организма военнослужащих. Учёными из исследовательского центра изучения снаряжения армии Соединенных Штатов Америки (США) была проведена научная работа по исследованию влияния нагрузки и нагрузочных конфигураций на постуральную активность военнослужащих. С использованием стабиллометрических методик исследования было доказано, что увеличение веса груза и изменение веса рюкзака меняют статокINETическую устойчивость военнослужащих. По мнению авторов работы, оценка постуральной активности человека дополняет анализ ходьбы с переносом груза, позволяя быстро и эффективно определять влияние переносимых грузов на биомеханику двигательных действий военнослужащих [17]. Исследователи Департамента ортопедии медицинского университета г. Росток (Германия) с помощью стабиллографических методик исследования изучали влияние постепенно увеличивающейся нагрузки на опорно-двигательный аппарат. Оценивая статокINETическую устойчивость и мышечную активность военнослужащих, эксплуатирующих боевую экипировку, было показано, что неравномерное распределение нагрузки может привести к деформации костно-мышечной системы [22].

Помимо выше перечисленных преимуществ, стабиллометрия обладает и рядом недостатков, таких как недостаточная информативность некоторых параметров, неточные представления о границах их нормальных значений, необходимость соблюдения стандартных условий проведения исследования, что очень сильно затрудняет использование данной методики в полевых условиях [1].

В качестве оборудования могут быть использованы стабиллометрические комплексы «Стабилан-01-2» опытно-конструкторского бюро «РИТМ» (Россия), «Траст-М» общества с ограниченной ответственностью «Неврокор» (Россия), «ST-150» фирмы «БиоМера» (Россия), «Biodex Balance System Sd» фирмы «Biodex Medical Systems Inc.» (США), «Balance Master» фирмы «Neurocom» (США) и др., позволяющие регистрировать прямые (среднее положение общего центра давления во фронтальной и сагиттальной плоскостях и среднюю массу тела) и расчетные (вычисленные на основе прямых измерений, в том числе программным обеспечением стабиллоплатформы) показатели.

В настоящее время при физиолого-гигиенической оценке влияния конструктивно-механических свойств элементов экипировки на амплитуду максимально возможных активных движений в крупных суставах верхних и нижних конечностей и позвоночнике применяют гониометрию [10]. Однако использование гониометрии при оценке влияния «габаритных» элементов экипировки на биомеханические характеристики движений военнослужащих затруднительно ввиду невозможности привязки положения гониометра к анатомическим ориентирам.

В последнее время активно развивающиеся технологии микроэлектромеханических систем (МЭМС) сделали доступным применение инерциальных датчиков и систем регистрации параметров движения в недорогих массовых устройствах [25]. Устройства имеют преимущества в размерах, энергопотреблении, решают задачи трехмерного ориентирования, позиционирования, измерения скорости и ускорений по трем осям, а также имеют широкий набор информационных интерфейсов [2]. МЭМС-датчики нашли своё применение в спортивной медицине, эргономике и биомеханике. Инерциальные МЭМС-датчики могут регистрировать линейное и угловое ускорения, угловую скорость и магнитное поле вектора в собственной трехмерной системе координат.

Наиболее известным представителем, предлагающим использование МЭМС-датчиков для отслеживания движений человека, является голландская компания «Xsens Technologies». Датчики Xsens фиксируются на различных частях тела человека для оценки их пространственного положения при движении, в результате чего аккумулируются данные о движениях, имеющих шесть степеней свободы по отношению к системе координат, не привязанной к телу. Информация, поступающая с сенсоров (акселерометров, гироскопов, магнитометров), обрабатывается с помощью инерциальных цифровых сигнальных процессоров, находящихся в корпусе датчика, или с помощью внешних компьютерных устройств, после чего анализируется с помощью специальных алгоритмов.

Для повышения точности данных о движении или о его отношении к инерциальной системе координат в систему датчиков интегрируются различные типы вспомогательных сенсоров, таких как магнитные датчики, приемники глобальной системы позиционирования, высокочастотные датчики местоположения, барометр, фотокамера, а также датчики давления и/или силы [11]. Среди разработок компании имеется специальный костюм с интегрированными в него датчиками – «Xsens MVN (Moving)» (Нидерланды).

Датчики Xsens, позволяющие оценивать объем движений, имеют большой потенциал в предоставлении объективной оценки средств индивидуальной защиты, применяемых в военных целях.

Xsens-технологии применяли для описания определенных двигательных действий, выполняемых добровольцами в том или ином обмундировании. Исследователи из Института авиационной медицины (г. Варшава, Польша) включили инерциальные датчики в структуру экзоскелета, разрабатываемого для транспортировки средств индивидуальной экипировки и обеспечения поддержки при выполнении базовых двигательных задач [13]. Венгерские ученые факультета прикладной механики Университета технологии и экономики на базе лаборатории анализа движений разработали механическую модель оценки движения, позволяющую рассматривать особенности пространственного перемещения военнослужащего [18]. Количественная биомеханическая оценка движения верхних конечностей и мышечной активности военнослужащих являлась основной методикой исследования у специалистов Управления перспективных исследовательских проектов США при разработке модели удлиненного бронезилета [25]. О высокой эффективности применения МЭМС-технологий свидетельствуют результаты исследований, представленные в публикациях немецкими и корейскими учеными [23, 24].

Существенным недостатком применения инерциальных датчиков является то, что они регистрируют углы Эйлера, отражающие местоположение датчика в пространстве, а не в проекции двоичных систем координат, в системе измерения которых заложены принятые за стандарты значения в ортопедии и травматологии. Это составляет определенную трудность для интерпретации полученных результатов. Помимо этого, стоимость систем инерциальных датчиков высока, работа с ними требует высококвалифицированного персонала и специализированного инженерного обслуживания.

В спортивной биомеханике наиболее распространенным способом регистрации биомеханических параметров человека является видеонализ (видеозахват) движений [23]. Способ основан на регистрации сигналов, поступающих от пассивных маркеров (светоотражателей), закрепленных на костных выступах человека. Наиболее известным производителем таких систем является компания «Vicon» (Великобритания). Программно-аппаратные комплексы вышеуказанной компании способны регистрировать биомеханические характеристики высокоамплитудных и самых незначительных по амплитуде движений всего тела человека или его сегментов, благодаря чему находят широкое применение в биомеханике и реабилитационной медицине.

Существуют данные об использовании видеонализа (видеозахвата) движений для решения различных научно-исследовательских задач в области военной медицины за рубежом. Так, исследователи из Военно-морской школы постдипломного образования США использовали систему видеонализа (видеозахвата) движений для оценки и кор-

рекции навыков стрельбы у военнослужащих. Для этого применяли систему «Vicon motion capture» производства компании «Vicon» (Великобритания). В результате проведенной работы было показано, что с помощью системы видеозахвата движений возможно установить различия существующих навыков стрельбы у военнослужащих различных уровней профессиональной подготовки [21]. Корейские ученые из научно-исследовательского института электроники и телекоммуникаций предлагают использовать технологию виртуальной симуляции, основанную на видеозахвате движений, в целях повышения военно-профессиональных навыков [23]. Австралийские специалисты с помощью системы видеозахвата движений «Santa Rosa» смогли эффективно оценить влияние боевой экипировки на ФС и ФР военнослужащих в процессе военно-профессиональной деятельности [20].

Методика видеонализа движений не лишена недостатков. Во-первых, в процессе движения маркеры могут перекрываться от объектива камеры, что препятствует регистрации значений биомеханических характеристик движений. Во-вторых, зоны видеосъемки ограничены, что заставляет проводить исследование на ограниченных площадях. В-третьих, качественное проведение регистраций возможно только при низкой освещенности, что затрудняет проведение исследований в полевых условиях. Использование данного способа для оценки влияния элементов боевой экипировки на биомеханические характеристики движений ограничивает еще один существенный недостаток. Доступ к костным выступам испытуемого ограничивают элементы боевой экипировки, что требует, нарушая методику проведения измерений, устанавливать светоотражатели на поверхности экипировки. В связи с этим реальная картина положения сегментов тела в пространстве отражается недостаточно объективно, что в итоге может исказить результаты измерений [5, 10].

Из числа наиболее доступной на российском рынке аппаратуры для «захвата движений» человека наиболее известными являются продукты «Траст-М Биомеханика» общества с ограниченной ответственностью «Неврокор» (Россия), «Motion capture» и «MVN Animate» фирмы «X-Sens» (Нидерланды), 3D Motion Capture фирмы «Noraxon U.S.A. Inc.» (США), основанные на использовании инерциальных МЭМС-датчиков, а также системы видеозахвата, такие как «Motion Capture Systems» фирмы «Vicon» (Великобритания), «UltraMotion Pro Sport» и «StarTrace 2D» фирмы «Видеоанализ» (Россия) и пр.

Заключение. В научно-исследовательской практике военно-медицинских специалистов целесообразно исследовать ФС организма военнослужащего и его ФР при нагрузках, связанных как с динамической, так и со статической работой мышц.

Для определения ФС организма и ФР военнослужащего с учётом его индивидуальных особенностей наиболее перспективной методикой является эргоспирометрия. Персонализированный подход позволяет решать научно-исследовательские задачи биомедицинской направленности, оценивать ключевые показатели ФС систем дыхания и кровообращения, что имеет важное значение в диагностике предпатологических состояний. Данные, полученные с помощью эргоспирометрии, позволяют прогнозировать ФР военнослужащего и продолжительность её поддержания на заданном уровне, заменяя или дополняя большинство стандартных нагрузочных проб. Возможность использования специального беспроводного оборудования позволяет применять методику в полевых условиях. Широкий диапазон возможностей эргоспирометрии является несомненным аргументом в пользу её выбора в качестве «золотого стандарта».

Использование классических методик стабиллометрии при оценке ФС организма и ФР военнослужащего в процессе выполнения статической работы вносит значительный вклад в организацию своевременной диагностики текущего состояния военного специалиста. Применение стабиллометрических методик с биологической обратной связью является перспективным направлением при создании тренажёрных устройств для повышения эффективности профессиональной деятельности военнослужащих [12].

Для изучения влияний динамических нагрузок на опорно-двигательный аппарат военнослужащего в процессе его профессиональной деятельности наиболее приемлемым является использование технологий захвата движений (с помощью систем инерциальных датчиков или видеоанализа).

Предлагаемые методики оценки ФС и ФР военнослужащих позволяют унифицировать подходы при решении научно-исследовательских задач биомедицинской направленности в процессе медико-биологического сопровождения разработки новых образцов боевой экипировки, военной техники и средств коррекции боеспособности военнослужащих.

Литература

1. Антонова, Н.Е. Применение гибридной интеллектуальной системы поддержки принятия решений в стабиллометрии / Н.Е. Антонова [и др.] // Вестн. ТГТУ. 2014. Т. 20, № 2. С. 235–242.
2. Бекмачев, А. Компания Xsens – эксперт в области систем управления движением / А. Бекмачев // Компоненты и технологии. 2013. № 4. С. 32–36.
3. Биктимирова, А.А. Применение кардиореспираторного нагрузочного тестирования в спортивной медицине / А.А. Биктимирова, Н.В. Рылова, А.С. Самойлов // Спортивная медицина. 2014. № 3. С. 50–53.
4. Благинин, А.А. Динамика показателей компьютерной стабиллографии при статокINETической нагрузке / А.А. Благинин [и др.] // Вестн. Росс. воен.-мед. акад. 2017. № 1 (57). С. 115–118.
5. Бобылев, А.Н. О двух модификациях метода наименьших квадратов в задаче восстановления утерянной информации системы видеоанализа по показаниям акселерометра / А.Н. Бобылев // Росс. журн. биомеханики. 2012. – Т. 16, № 1 (55). С. 89–101.
6. Зинурова, Н.Г. Особенности статокINETической устойчивости спортсменов разных видов спорта / Н.Г. Зинурова, М.М. Кузиков // Вестн. ЮУрГУ. Сер. Образование, здравоохранение, физическая культура. 2012. Вып. 32, № 28 (287). С. 118–120.
7. Ишеков, А.Н. Показатели вариабельности сердечного ритма и стабиллометрии у моряков в динамике арктического рейса / А.Н. Ишеков, Н.С. Ишеков // Морская медицина. 2015. Т. 1, № 2. С. 36–40.
8. Курзанов, А.Н. Клинико-физиологические аспекты диагностики функциональных резервов организма / А.Н. Курзанов, Н.В. Заболотских, А.М. Мануйлов // Кубанский научн. мед. вестн. 2015. № 6 (155). С. 73–77.
9. Пухов, В.А. Оценка функционального состояния организма военных специалистов: научно-практическое руководство / В.А. Пухов, И.В. Иванов, С.В. Чепур; под ред. И.Б. Ушакова. СПб.: СпецЛит, 2016. 312 с.
10. Скворцов, Д.В. Диагностика двигательной патологии инструментальными методами: анализ походки, стабиллометрия: монография / Д.В. Скворцов. – М.: Научно-медицинская фирма МБН, 2007. – 640 с.
11. Тузов, А. Датчики для измерения параметров движения на основе MEMS-технологии. Инерциальные датчики средней точности / А. Тузов // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2011. – № 1. – С. 45–53.
12. Шестаков, М.П. Использование стабиллометрии в спорте / М.П. Шестаков. М.: «ТВТ Дивизион», 2007. С. 10–17.
13. Bougue, R. Robotic exoskeletons: a review of recent Progress / R. Bougue // Industrial Robot – an International Journal. Vol. 42, Issue 1. 2015. P. 5–10.
14. Chatterjee, T. Electromyographic and Cardiorespiratory Responses of Load Carriage at Different High Altitudes with Varying Gradients / T. Chatterjee [et al.] // Journal of Archives in Military Medicine. 2017. Vol. 5, Issue 1. P. 11.
15. Chatterjee, T. Soldiers load carriage performance in high mountains: a physiological study / T. Chatterjee [et al.] // Military Medical Research. 2017. Vol. 4, Issue 6. P. 9.
16. Coombes, J. S. Biomechanical and physiological comparison of conventional webbing and the M83 assault vest / J.S. Coombes, C. Kingswell // Applied Ergonomics. 2005. Vol. 36, №1. P. 49–53.
17. Jeffrey, M. The Effects of Soldiers Loads on Postural Sway / M. Jeffrey [et al.] // Proceedings of the 24th US Army Science Conference. Orlando, Florida: World Scientific, 2006. P. 377–384.
18. Kocsis, L. Application of biomechanics in military sciences / L. Kocsis [et al.] // Department of Applied Mechanics. 2004. Vol. 3, Issue 3. P. 483–488.
19. Kurpaska, M. Impedance cardiography during exercise – new technology / M. Kurpaska [et al.] // Pediatr Med Rodz. 2017. Vol. 13 (3). P. 303–310.
20. Larsen, B. Body Armor, Performance and Physiology During Repeated High-Intensity Work Tasks / B. Larsen [et al.] // Military Medicine. 2012. Vol. 177. P. 1308–1319.
21. Platte, W. L. Using Motion Capture to Determine Marksmanship Shooting Profiles: Teaching Soldiers to Shoot Better Faster / W. L. Platte, J. J. Powers // Dudley Knox Library. Monterey, CA, 2008. 111 p.
22. Schulze, C. The influence in airforce Soldiers through Wearing Certain Types of Army-Issue Footwear on Muscle Activity in the Lower Extremities / C. Schulze [et al.] // The Open Orthopaedics Journal. 2011. Vol. 5. P. 219–223.
23. Sigal, L. HumanEva: synchronized video and motion capture dataset and baseline algorithm for evaluation of articulated

- human motion / L. Sigal [et al.] // International Journal of Computer Vision. – 2010. – Vol. 87, Issues 1. P 4 27.
24. Seel, T. IMU-Based Joint Angle Measurement for Gait Analysis / T. Seel [et al.] // Sensors. 2014. Vol. 14. P. 6891 6909.
25. Stevenson, J.M. Trial of Objective Biomechanical assessment of Extended Body Armour: Phase 1 / J.M. Stevenson [et al.] // Ergonomics Research Group Queen's University. Kingston, Ontario, Canada. – 2008. 89 p.
-

A.M. Geregey, A.S. Kovalev, O.V. Vetryakov, I.S. Malahova, E.M. Mavrenkov

Modern methods of the functional state assessing of the body and the physical performance of a serviceman in solving scientific research problems of biomedical direction

***Abstract.** The main issues related to the assessment of the functional state of the body and the physical performance of the serviceman are considered. The review of modern methods for assessing the functional state and physical working capacity of a person in sports medicine and the physiology of military labor both in Russia and abroad is presented. The choice of the methods allowing to unify approaches to an estimation of military-professional working capacity in stationary and field conditions is proved. It is established that in the scientific research practice of military medical specialists, it is expedient to evaluate the functional state of the serviceman's organism and its physical working capacity under loads associated with both dynamic and static muscle work. It is determined that ergospirometry is the most acceptable method of assessing the functional state of the body and the physical performance of servicemen in the process of performing dynamic work. It is noted that with the help of ergospirometric testing, it is possible to predict the physical performance of a serviceman and the duration of its preservation at a given level, replacing or supplementing most standard load tests, which is a weighty argument in favor of its choice as a «gold standard». It has been established that to evaluate the functional state of the body and the physical performance of servicemen in the process of performing static work, the main method is stabilometry. A significant number of available stabilometric techniques, including those using biofeedback, significantly expands the possibilities of diagnosing the functional state of the body of a military specialist. It is determined that the most acceptable method for assessing the impact of dynamic loads on the locomotor system of a serviceman is the use of the "motion capture" technology. The main advantages and disadvantages of modern means and methods of studying the functional state and physical working capacity of a person are revealed. The modern hardware and software complexes used to solve scientific research problems of biomedical orientation are listed.*

***Key words:** functional body state, physical performance, military-professional performance, physical activity, ergospirometry, cardiorespiratory exercise testing, stabilometry, video motion capture, motion capture inertial systems.*

Контактный телефон: 8 (812) 775-01-91; e-mail: a.geregey@mail.ru