

ФИЗИЧЕСКАЯ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ И ЭНЕРГОТРАТЫ ВОЕННОСЛУЖАЩИХ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БРОНЕЖИЛЕТА В УСЛОВИЯХ СУБМАКСИМАЛЬНЫХ НАГРУЗОК

¹ Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова (Россия, Санкт-Петербург, ул. Акад. Лебедева, д. 6);

² Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной медицины (Россия, Санкт-Петербург, ул. Лесопарковая, д. 4)

Установлен доленой вклад средств индивидуальной бронезащиты (СИБ) у 10 военнослужащих в формирование тяжести и напряженности военного труда. Проведенные исследования показали, что бронезащита в составе экипировки вызывает снижение объема выполненной работы, увеличивает энергозатраты и нагрузку на сердечно-сосудистую систему организма военнослужащих. Показана информативность уровня лактата в крови, как одного из маркеров при моделировании дозированного утомления. Установлено, что масса бронезащиты оказывает существенное влияние не только на время выполнения учебно-боевой задачи, но и на функциональное состояние организма военнослужащих. Сформулированы концептуальные подходы и перспективные направления совершенствования эргономических, медико-технических характеристик СИБ, а также их вклад в сохранение здоровья и повышение работоспособности (боеготовности) при выполнении учебно-боевых задач в чрезвычайных ситуациях.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, военная медицина, средства индивидуальной бронезащиты, физическая работоспособность, энергозатраты.

Введение

Средства индивидуальной бронезащиты (СИБ) существенно снижают санитарные и безвозвратные потери личного состава, что подтверждается опытом их применения, масштабами разработок, производства и использования в современных армиях мира [4]. Между тем, выявлены и негативные последствия применения СИБ. Экранирование туловища многослойным пакетом ткани (бронезащитой) в условиях повышенной температуры окружающей среды неизбежно приводит к ухудшению теплового состояния пользователя преимущественно за счет снижения теплоотдачи с поверхности тела путем испарения выделившегося пота. Вследствие этого значительно сокращается возможность выполнения физической работы из-за опасности получения тепловых поражений.

Относительно большая масса бронезащиты в сочетании с ограничением свободы движений в суставах и позвоночнике приводит к увеличению энергозатрат военнослужащих при решении учебно-боевых задач, а также снижению возможности преодоления препят-

ствий. Следствием этого является, во-первых, увеличение нагрузки на сердечно-сосудистую систему, во-вторых, ухудшение временных и точностных показателей деятельности [1–3].

В настоящее время большинство исследователей придерживаются того мнения, что при конструировании индивидуальной бронезащиты должен быть достигнут некий компромисс между уровнем и площадью защиты тела человека, с одной стороны, и мобильностью военнослужащего – с другой. Мало того, некоторые авторы рассматривают способность быстро совершать те или иные действия как своеобразную форму защиты от пуль и осколков [5].

Цель исследования – оценить физическую работоспособность и энергозатраты военнослужащих при использовании бронезащиты в условиях субмаксимальных нагрузок.

Материал и методы

В исследовании принимали участие 10 военнослужащих – практически здоровых мужчин, возраст которых составлял (31 ± 2) года, рост – $(176,1 \pm 1,5)$ см, мас-

Рагузин Евгений Вячеславович – адъюнкт каф. общ. и воен. гигиены с курсом воен.-мор. и радиац. гигиены Воен.-мед. акад. им. С.М. Кирова (Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Акад. Лебедева, д. 6), e-mail: evgeny.raguzin@yandex.ru;

Гергей Андрей Михайлович – нач. науч.-исслед. отд. Гос. науч.-исслед. испыт. ин-та воен. медицины (Россия, 195043, Санкт-Петербург, ул. Лесопарковая, д. 4), e-mail: geregei@mail.ru;

Григорьев Степан Григорьевич – д-р мед. наук проф., ст. науч. сотр. науч.-исслед. центра Воен.-мед. акад. им. С.М. Кирова (Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Акад. Лебедева, д. 6), e-mail: gsg_rj@mail.ru;

Логаткин Станислав Михайлович – д-р мед. наук, ст. науч. сотр. Гос. науч.-исслед. испыт. ин-та воен. медицины (Россия, 195043, Санкт-Петербург, ул. Лесопарковая, д. 4), e-mail: logatkin.stanislav@yandex.ru.

са тела – $(73,2 \pm 2,5)$ кг, индекс массы тела – $(23,6 \pm 0,5)$ кг/м².

При проведении исследования применяли непрерывную нагрузку со ступенеобразным увеличением мощности: бег добровольца с повышением скорости (без элевации дорожного полотна) до отказа от выполнения нагрузки вследствие физического утомления (при условии отсутствия медицинских показаний для досрочного прекращения исследования). Начальная скорость составляла 5 км/ч и далее повышалась на 1,5 км/ч каждые 2 мин. В каждом случае критерием остановки дорожного полотна являлись жалобы добровольца на плохое самочувствие или увеличение частоты сердечных сокращений выше показателей «220 минус возраст добровольца».

Физическую нагрузку моделировали путем бега на тредмиле «Т-2100» производства компании «GeneralElectric» (Германия). Оценку показателей, характеризующих функциональное состояние организма добровольцев, производили с использованием эргоспирометрической системы «Metalyzer 3B» (Германия) и автоматического анализатора для определения лактата в пробах «Super GL Easy» (Германия).

В ходе исследований каждый из добровольцев трижды выполнял физическую нагрузку в различных вариантах одежды:

- 2С (спортивная) – трусы, футболка, спортивная обувь. Полученные результаты при этой экипировки использовали как контрольные;
- 3В (повседневная) – брюки, куртка, поясной ремень ослаблен, ботинки с высоким берцем, без головного убора, воротник расстегнут;
- 3ВБЖ – повседневная форма (3В) с единым общевойсковым бронежилетом 6Б45 массой 7,8 кг.

Размер каждого элемента экипировки строго соответствовал антропометрическим характеристикам добровольца. Перед каждым тестированием проводили подгонку бронежилета по росту и объему туловища добровольца. Масса комплекта 2С составляла $(1,3 \pm 0,4)$ кг, 3В – $(4,2 \pm 0,4)$ кг и 3ВБЖ – $(12,0 \pm 0,3)$ кг.

В процессе тестирования оценивали:

- динамику концентрации лактата в капиллярной крови (перед нагрузкой, на 3-й и 8-й минутах после нагрузки, ммоль/л);
- удельную работу, выполненную в ходе тестирования (Дж/кг);
- энерготраты организма (ккал).

Расчет энерготрат организма при выполнении физической нагрузки проводили мето-

дом непрямой калориметрии с полным газовым анализом Дугласа–Холдена. Количество энергии, освобождающееся при потреблении организмом 1 л кислорода (калорический эквивалент кислорода, КЭК), рассчитывали, учитывая значение дыхательного коэффициента (ДК) и объема поглощенного кислорода (VO_2). При расчете КЭК использовали результаты взаимосвязи КЭК и ДК (таблица).

Взаимосвязь значений показателей КЭК и ДК (ккал O_2)

ДК	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1,0
КЭК	4,69	4,74	4,80	4,86	4,92	4,98	5,05

По данным таблицы, для представления общей закономерности изменения КЭК построили полиномиальную зависимость с величиной достоверности аппроксимации $R^2 = 0,95$. С целью минимизации погрешностей КЭК рассчитывали каждые 10 с нагрузки, используя полученное регрессионное уравнение: $КЭК = 3,8 + 1,2 \cdot ДК$.

Расчет энерготрат организма производили в процессе нагрузки каждые 10 с по формуле:

$$E = VO_2 \times КЭК / 6,$$

где E – энерготраты организма, ккал;

VO_2 – объем поглощенного кислорода за 60 с, л/мин;

КЭК – калорический эквивалент кислорода, ккал O_2 .

Учитывая, что распределение полученных значений параметров соответствует нормальному закону, для оценки статистической значимости различий использовали LSD-test (least significant difference, наименьшая значимая разница) из модуля дисперсионного анализа. В статье представлены средние арифметические величины и ошибки средней величины ($M \pm m$).

Результаты и их анализ

Проведенные исследования показали, что при ступенчатом увеличении удельной мощности нагрузки до 10,6 Вт/кг (скорость движения до 11 км/ч) все добровольцы справились с заданием вне зависимости от варианта экипировки (рис. 1).

Увеличение удельной мощности нагрузки до 11,4 Вт/кг (скорость – 12,5 км/ч) привело к отказу от продолжения тестирования у 40 % добровольцев в каждой группе. 20 % добровольцев, использовавших экипировку 3ВБЖ, смогли выполнить задание с нагрузкой с мощностью 12,6 Вт/кг (скорость – 14 км/ч),

а с нагрузкой с мощностью 14,1 Вт/кг (скорость – 15,5 км/ч) – только 30 % добровольцев, одетых в спортивную форму одежды.

Сокращение времени выполнения ступенчато нарастающей физической нагрузки в повседневной одежде и одежде с бронежилетом по сравнению с контролем (в спортивной форме одежды) значимо ($p < 0,05$) повлияло на выполнение заданной работы. Средние значения в экипировках 2С, 3В и 3ВБЖ были ($184,2 \pm 7,2$), ($159,1 \pm 6,5$) и ($136,6 \pm 7,1$) Дж/кг соответственно.

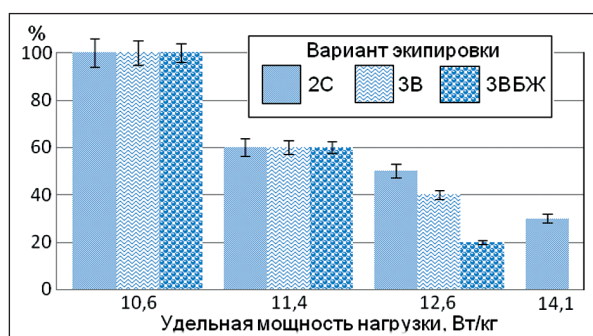


Рис. 1. Доля лиц, выполнивших задание с заданной нагрузкой.

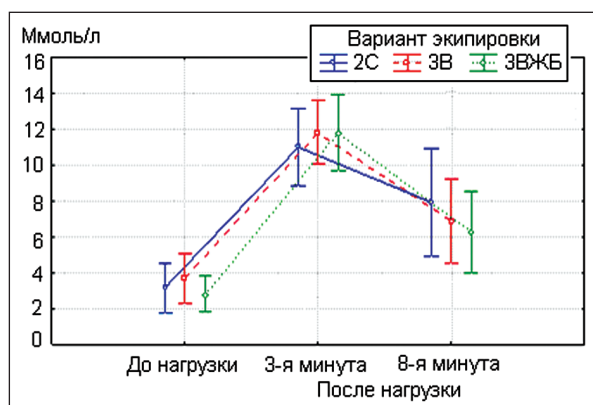


Рис. 2. Концентрация лактата в крови.

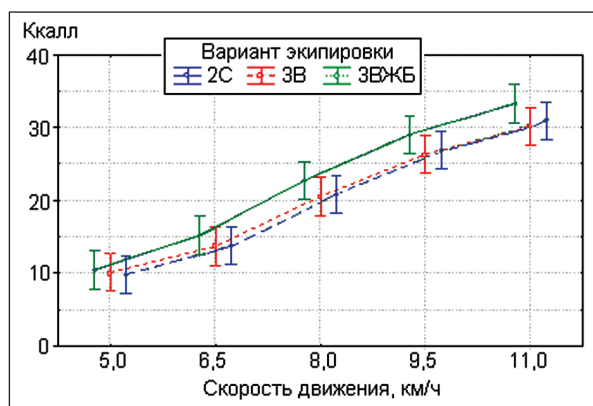


Рис. 3. Энерготраты в зависимости от скорости движения дорожного полотна тренажера.

К моменту завершения тестовой нагрузки частота сердечных сокращений во всех случаях достигла предельных значений и составила, в среднем, (186 ± 3) уд/мин.

Анализ показателей концентрации лактата в капиллярной крови не показал статистически значимых различий в группах как до нагрузки, так и после ее окончания (на 3-ю и 8-ю минуту). Концентрация лактата до нагрузки у добровольцев в группах 2С, 3В и 3ВБЖ составила ($3,2 \pm 0,6$), ($3,7 \pm 0,6$) и ($2,8 \pm 0,4$) ммоль/л соответственно. Через 3 мин после нагрузки отмечено увеличение концентрации лактата по сравнению с исходной до 11,0–11,8 ммоль/л, а через 8 мин его содержание снизилось до 6,3–7,9 ммоль/л (рис. 2).

Отсутствие статистически значимых различий концентрации лактата между группами характеризует практически одинаковый уровень утомления у добровольцев. Это может послужить поводом к использованию данного показателя как одного из маркеров при моделировании дозированного утомления.

Динамика энерготрат в зависимости от скорости движения представлена на рис. 3, из которого следует, что тип экипировки статистически достоверного влияния на уровень энерготрат не оказывает.

Наибольшее приращение энерготрат в экипировке 3ВБЖ отмечено при скорости движения 11 км/ч. В этих условиях энерготраты составили ($33,0 \pm 1,3$) ккал и были на 10 % выше, чем в экипировке 2С.

Заключение

Таким образом, наличие бронежилета в составе экипировки снижает способность военнослужащего совершать интенсивную мышечную работу, что в условиях ступенчато нарастающей скорости бега приводит к отказу от продолжения исследования. Уровень лактата в крови может использоваться как один из маркеров при моделировании дозированного утомления.

Быстрый бег в бронежилете даже без подъема на высоту становится невозможен, что связано с увеличением уровня энерготрат и нагрузки на сердечно-сосудистую систему. Не подлежит сомнению, что передвижение военнослужащих в бронежилете по пересеченной местности и особенно в горных условиях приведет к еще большему возрастанию физической нагрузки. Во избежание отказа от применения средств индивидуальной бронезащиты необходимо улучшение их эргономических характеристик, снижение массы за счет

использования новых защитных материалов в конструкции изделий, а также повышение физической тренированности и выносливости личного состава. В противном случае применение средств индивидуальной бронезащиты, в частности бронежилетов, вследствие ухудшения показателей физической работоспособности ожидаемого эффекта не окажет.

Литература

1. Александров В.Н. Физиолого-гигиенические аспекты войсковой эксплуатации бронежилетов : автореф. дис. ... канд. мед. наук. Л., 1986. 23 с.
2. Байдак В.И., Блинов О.Ф., Знахурко В.А., Логаткин С.М. Концептуальные основы создания средств индивидуальной защиты / под общ. ред. В.Г. Михеева. М. : Вооружение. Политика. Конверсия, 2003. Ч. I : Бронежилеты. 340 с.

3. Логаткин С.М., Сокуров А.В. К проблеме выбора оптимального решения между защитными свойствами средств индивидуальной бронезащиты и их массовыми характеристиками // Актуальные проблемы защиты и безопасности : тр. XII всерос. науч.-практ. конф. Рос. акад. ракетных и артиллерийских наук. СПб. : НПО спецматериалов, 2009. Т. 1: Технические средства противодействия терроризму и оружие нелетального действия. С. 407–408.

4. Осыко М.В. Проблемы и перспективы создания высокоэффективных средств индивидуальной бронезащиты для вооруженных сил // Новейшие тенденции в области конструирования и применения баллистических материалов и средств защиты : материалы XIV междунар. науч.-практ. конф. Ялта, 2015. С. 9–12.

5. Vlasman B. Ballistic protection for the soldier; a dutch study // Proceedings of Personal Armour Systems Symposium (PASS 2004). Hague, Netherlands, 2004. 4 p.

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией статьи. Поступила 13.10.2016 г.

Для цитирования. Рагузин Е.В., Герегей А.М., Григорьев С.Г., Логаткин С.М. Физическая работоспособность и энерготраты военнослужащих при использовании бронежилета в условиях субмаксимальных нагрузок // Мед.-биол. и соц.-психол. пробл. безопасности в чрезв. ситуациях. 2016. № 4. С. 104–108. DOI 10.25016/2541-7487-2016-0-4-104-108

Physical performance and energy expenditures in military wearing bulletproof vest during submaximal exercises

Raguzin E.V.¹, Geregey A.M.², Grigoriev S.G.¹, Logatkin S.M.²

¹Kirov Military Medical Academy (Academic Lebedev Str., 6, St. Petersburg, 194044, Russia)

²State Scientific Research Test Institute of the military medicine (Lesoparkovaja Str., 4, St. Petersburg, 195043, Russia)

✉ Evgenii Vyacheslavovich Raguzin – PhD Student, Kirov Military Medical Academy (Academic Lebedev Str., 6, St. Petersburg, 194044, Russia), e-mail: evgeny.raguzin@yandex.ru;

Andrey Michailovich Geregey – Head of Department the State Scientific Research Test Institute of the military medicine (Lesoparkovaja Str., 4, St. Petersburg, 195043, Russia), e-mail: geregei@mail.ru;

Stepan Grigoryevich Grigoriev – Dr. Med. Sci. Prof., Senior Research Associate of the research center, Kirov Military Medical Academy (Academic Lebedev Str., 6, St. Petersburg, 194044, Russia), e-mail: gsg_rj@mail.ru;

Stanislav Mikhailovich Logatkin – Dr. Med. Sci. Associate Prof., Senior Research Associate of the State Scientific Research Test Institute of the military medicine (Lesoparkovaja Str., 4, St. Petersburg, 195043, Russia), e-mail: logatkin.stanislav@yandex.ru.

Abstract

Relevance. In servicemen, performance degradation is observed during extreme activities with increased energy expenditures. It is necessary to establish a contribution of body armor to military labor characteristics.

Intention. To evaluate the physical performance and energy expenditure of the military men when using body armor during submaximal exercises.

Methods. 10 military men were examined – apparently healthy men aged (31 ± 2) years, mean height (176.1 ± 1.5) cm, body weight (73.2 ± 2.5) kg, body mass index (23.6 ± 0.5) kg/m², wearing sports and casual uniforms and body armor of the second generation battle suit. Physical exercise was simulated by running on the treadmill T-2100 (General Electric, Germany). Continuous load was used with step-like power increase until refusal from exercise due to physical fatigue.

Results and discussion. According to the study results, a body armour as part of the equipment is associated with reduced amount of work performed, as well as increased energy expenditures and load on the cardiovascular system in military personnel. The information value of blood lactate as one of the markers for modeling the dosed fatigue has been shown. It has been found that the weight of the body armor influences significantly not only duration of the training and combat tasks but also the functional state of the body. Conceptual approaches and promising areas to improve ergonomic, medical and technical characteristics of body armor were described, as well as their contribution to health maintenance and performance (combat capability) improvement when performing training and combat tasks in emergency situations.

Conclusion. It is necessary to improve the ergonomic characteristics of the body armor, to reduce weight via novel protective materials, and, last but not least, to improve the physical fitness and endurance of the military personnel.

Keywords: emergency, military medicine, military personnel, individual protection means, bulletproof vest, physical efficiency, energy expenditure.

References

1. Aleksandrov V.N. Fiziologo-gigienicheskie aspekty voiskovoi ekspluatatsii bronezhiletov [Physiological-hygienic aspects of using bulletproof vests] : Abstract dissertation PhD Med. Sci. Leningrad. 1986. 23 p. (In Russ.)
2. Baidak V.I., Blinov O.F., Znakhurko V.A., Logatkin S.M. Kontseptual'nye osnovy sozdaniya sredstv individual'noi zashchity [Conceptual framework for creating personal protection means]. Ed. V.G. Mikheev. Moskva. 2003. Pt. I: Bronezhilety. 340 p. (In Russ.)
3. Logatkin S.M., Sokurov A.V. K probleme vybora optimal'nogo resheniya mezhdu zashchitnymi svoystvami sredstv individual'noi bronezashchity i ikh massovymi kharakteristikami [The problem of choice between safety features and weight of personal body armor]. *Aktual'nye problemy zashchity i bezopasnosti* [Actual problems of protection and security] : Scientific. Conf. Proceedings : Sankt-Peterburg. 2009. Vol. 1: Tekhnicheskie sredstva protivodeistviya terrorizmu i oruzhie neletal'nogo deistviya [Technical means to counteract terrorism and non-lethal weapons]. Pp. 407–408. (In Russ.)
4. Osyko M.V. Problemy i perspektivy sozdaniya vysokoeffektivnykh sredstv individual'noi bronezashchity dlya vooruzhennykh sil [The prospects for creation of highly efficient personal body armor]. *Noveishie tendentsii v oblasti konstruirovaniya i primeneniya ballisticheskikh materialov i sredstv zashchity* [Trends in the design and application of ballistic materials and protection means] : Scientific. Conf. Proceedings. Yalta, 2015. Pp. 9–12. (In Russ.)
5. Vlasman B. Ballistic protection for the soldier; a dutch study. Proceedings of Personal Armour Systems Symposium (PASS 2004). Hague, Netherlands, 2004. 4 p.
Received 13.10.2016

For citing: Raguzin E.V., Geregei A.M., Grigor'ev S.G., Logatkin S.M. Fizicheskaya rabotosposobnost' i energotraty voennosluzhashchikh pri ispol'zovanii bronezhileta v usloviyakh submaksimal'nykh nagruzok. *Mediko-biologicheskie i sotsial'no-psikhologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychaynykh situatsiyakh*. 2016. N 4. Pp. 104–108. **(In Russ.)**

Raguzin E.V., Geregey A.M., Grigoriev S.G., Logatkin S.M. Physical performance and energy expenditures in military wearing bulletproof vest during submaximal exercises. *Medico-Biological and Socio-Psychological Problems of Safety in Emergency Situations*. 2016. N 4. Pp. 104–108. DOI 10.25016/2541-7487-2016-0-4-104-108