

<https://doi.org/10.70265/CNUD7260>

ПРИЛОЖЕНИЕ НА ПРЕНОСИМИ СЕНЗОРИ ЗА МОНИТОРИНГ НА ЖИЗНЕНИ ФУНКЦИИ ВЪВ ВОЕННАТА МЕДИЦИНА

Боряна Ралчева, Марияна Иванова, Иван Попиванов

INTERGARION OF WEARABLE SENSORS FOR MONITORING VITAL FUNCTIONS IN MILITARY MEDICINE

Boryana Ralcheva, Maryana Ivanova, Ivan Popivanov

Резюме: Преносимите сензори представляват съвременна технология за непрекъснат мониторинг на жизнени функции, която постепенно намира приложение в сферите медицина, сигурност и отбрана, включително и във военната медицина. Тези устройства позволяват наблюдение на ключови физиологични показатели като сърдечна честота, вариабилност на сърдечния ритъм, дихателна честота и др. в реално време, дори в отдалечени или полеви условия, което увеличава безопасността на личния състав и оперативната ефективност на военните операции/мисии.

Ключови думи: преносими сензори, жизнени функции, сърдечно-съдова система, мониторинг на здравето, бойна обстановка

Abstract: Wearable sensors are a modern technology for continuous monitoring of vital functions, which is gradually finding application in the fields of medicine, security and defense, including military medicine. These devices allow monitoring of key physiological indicators such as heart rate, heart rate variability, respiratory rate, etc. in real time, even in remote or field conditions, which increases the safety of personnel and the operational effectiveness of military operations/missions.

Keywords: wearable sensors, vital signs, cardiovascular system, health monitoring, combat environment

УВОД

Задача на съвременната военномедицинска наука и практика е осигуряването на здравето и боеспособността на военнослужещите. Физическите и психологически натоварвания, на които е подложен личният състав по време на обучение или бойни операции, могат да доведат до остри или хронични здравословни проблеми, които в ранните си етапи да останат незабелязани със стандартните, интермитентни измервания на жизнените параметри. За разлика от тях, преносимите телесни сензори, които се носят върху тялото, представляват възможност за непрекъснато проследяване на физиологични параметри, което има потенциал да улесни ранната диагностика, да подобри триажа и да подпомогне медицинските решения както в мирно, така и във военно време.

Във военно-оперативен контекст използването на преносими сензори предоставя редица предимства. На първо място, те позволяват ранно откриване на опасни състояния, като травма, топлинен удар, хипоксия, преумора, шок и пр., което улеснява превантивната намеса и намалява риска от смъртни случаи и трайни увреждания. Второ, интеграцията на данните с командни и медицински информационни системи подпомага вземането на оперативни решения, оптимизира тренировъчния процес и подобрява готовността на подразделенията. Не на последно място, събраните физиологични данни могат да бъдат анализирани чрез алгоритми за машинно обучение или изкуствен интелект, което позволява идентифициране на конкретни модели на стрес, умора и здравни рискове на индивидуално или на групово ниво.

Според актуален обзор, преносимите сензори имат широк спектър от приложение за военнослужещите, младшия медицински състав и лекарите офицери, посредством измерване на физическата активност, сърдечна честота, SpO₂, температура и други параметри, което подпомага оперативните медицински цели и медицинското осигуряване на войските (Hegarty-Craver, 2024). С развитието на микроелектрониката и безжичните комуникации, тези технологии стават все по-компактни, енергийно ефективни и пригодни за неблагоприятните условия на бойната обстановка.

ЦЕЛ

Целта на настоящата статия е да обобщи и да анализира международния опит по темата, както и възможностите за въвеждане и използване на преносими сензори за мониторинг на жизнени функции във военномедицинската практика. За нуждите на изследването

идентифицирахме наличните основни видове технологични решения и измерваните от тях жизнени параметри; проучихме приложенията на тези технологии във военномедицински контекст; съпоставихме предимствата и ограниченията при използването им и очертахме перспективите за използване от Въоръжените сили (ВС).

МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ

Настоящата статия представлява систематичен преглед на литературата и анализ на съвременни достъпни научни източници, публикувани в последните три години (2022г. - 2025г.). Разгледани са публикации, включително научни статии, доклади и обзори, които касаят въпросите по: технологични характеристики, приложения в клинични и извънболнични условия, специфични сценарии за военномедицинско приложение-условия на бойна среда, полеви мисии и масови инциденти, както и перспективни анализи за интегрирани системи за наблюдение върху здравето на военнослужещи (de Vries, 2025).

ИЗЛОЖЕНИЕ

Прегледът на достъпната научна литература по темата, публикувана през последните три години показва, че съвременните преносими сензори, използвани в медицината и военното дело, могат да бъдат класифицирани в няколко основни групи според типа измервани жизнени показатели. Те се внедряват в различни аксесоари-пръстени, часовници, фитнес гривни, гръдни колани и прочие (Ates, 2022). Най-често срещаните устройства са сензори за мониторинг на сърдечна честота и вариабилност на сърдечния ритъм (Dobosz, 2025), които предоставят обективна количествена информация за състоянието на сърдечно-съдовата система, физическото натоварване, умората и автономната нервна регулация на организма. Значителна част от системите включват и датчици за измерване на телесна температура, които предоставят обективна информация за терморегулаторния статус на организма и са ключов индикатор за метаболитна активност, възпалителни процеси и физиологичен стрес и позволяват продължителен и в реално време мониторинг както в клинична, така и в оперативна среда.

Наблюдава се все по-широко приложение и на комбинирани мултисензорни платформи, които едновременно измерват дихателна честота, кислородна сатурация (SpO₂), физическа активност и позиция/активност на тялото. Тези устройства позволяват комплексна

оценка на един или няколко военнослужещи в реално време, като данните могат да се предават безжично към медицинските екипи или командни пунктове (Benny, 2025).

По отношение на приложенията на тези технологии резултатите от анализа на научната литература показват, че преносимите сензори се използват в широк спектър от военномедицински сценарии (Descorte, 2025; DeLoach, 2025). В мирновременен контекст те се използват в практиката основно за мониторинг по време на обучение, физическа подготовка и мисии с повишен риск (Gahtan, 2024), като подпомагат превенцията на пренапрежение, дехидратация и остри медицински събития. Във военно време тези технологии имат ключова роля при полево медицинско осигуряване, като позволяват дистанционно наблюдение на ранените и болните, по-ефективно провеждане на полеви медицински триаж и оказване на първа помощ от младши медицински състав.

Установено е, че системите за непрекъснат мониторинг подпомагат ранното разпознаване на животозастрашаващи състояния и улесняват вземането на адекватни и навременни решения за медицинската евакуация. Данните от телесните сензори допринасят за по-точна оценка на състоянието на военнослужещите в условия на ограничен достъп до медицинска помощ (Krygier, 2024; Li, 2023).

При извършения анализ се затвърди становището, че основните предимства на преносимите сензори включват възможността за непрекъснат мониторинг, ранно откриване на физиологични или патологични отклонения и превенция на травмите, което е критично за оценка на готовността и безопасността на личния състав в полеви условия. Устройствата осигуряват обективни данни, които подпомагат клиничните решения и намаляват субективния фактор при оценка на здравословното състояние. В същото време анализът разкрива и редица ограничения, свързани с точността на измерванията при екстремни условия, ограничената автономност на батериите, необходимост от надеждна комуникационна инфраструктура и очертават необходимостта от стриктна защита на медицинските данни. Акцентира се и върху необходимостта от обучение на медицинския и командния състав за правилна интерпретация на получената от датчиците информация. Тези въпроси се разглеждат критично сред научната област и индустрията, за да се гарантира надеждността и степента на интеграция на технологиите на бойното поле (Gathright, 2024).

Български научни колективи вече обсъждат определени възможности за разработване, тестване и интегриране на компактна многосензорна система, предназначена за непрекъснат мониторинг на здравословното състояние на организма, която функционира изцяло локално, без необходимост от облачна инфраструктура. Акцентът е поставен върху сравнението между PPG и ECG измерванията, извличането на параметри като вариабилност на сърдечната честота (HRV), както и възможностите за автоматично известяване при отклонения (Georgieva-Tsaneva, 2025).

Преносимите сензори за мониторинг на жизнени функции представляват една от най-перспективните технологии в областта на медицинския и оперативния мониторинг на военнослужещи. Те имат потенциал да подобрят здравната сигурност, физическата готовност и оперативната ефективност на личния състав чрез непрекъснато наблюдение в реално време. Съществуващите международни изследвания демонстрират, че интегрирането на сензори може да доведе до значителни ползи - от ранно откриване на физиологични отклонения до оптимизиране на тренировъчните режими и превенция на травми (Sipos, 2025).

В контекста на българската армия, въпреки ограниченото досега научно внимание към преносимите сензори, стратегическото внедряване на тези технологии може значително да подобри както оперативната, така и медицинската подготовка. За постигане на това е необходимо да се предприемат систематични действия, включващи научни изследвания, пилотно внедряване, обучение на персонала и разработване на стандартизирана рамка за обработка на данни.

От първостепенно значение е стимулирането на научно-изследователски проекти, насочени към преносими сензори и физиологичен мониторинг в контекста на военната служба, посредством интердисциплинарни изследователски групи и участие в международни научни мрежи. След изграждане на научната основа е необходимо да се проследи практическата приложимост чрез пилотни проекти като се разработят протоколи за тестване в полеви условия и се оцени ефективността от мониторинга с измерими индикатори. Необходимо е пилотните проекти да включват сравнение между данните от преносими сензори и тези от традиционните медицински измервания с цел валидиране на точността и надеждността, както е показано в други научни изследвания до момента (Sipos, 2025). В публикуваната научна литература по проблема като основно предизвикателство се сочи обработката, анализът и интерпретацията на

голям обем данни. С цел да се гарантира, че събраната информация ще бъде полезна и оперативно приложима, във ВС предварително трябва да бъде изградена единна рамка за събиране и съхранение на данни, алгоритми за предварителната им обработка директно от устройството и аналитични модели с възможности за визуализация и предупреждения при критични състояния.

На базата на изследваните данни се установява, че внедряването на преносими сензори във военната медицина следва да бъде поетапно и съобразено със специфичните нужди на военните формирования. Препоръчва се провеждането на пилотни проекти в контролирани условия, последвано от разширяване на приложението в реални оперативни сценарии. Необходимо е да бъдат разработени национални военномедицински стандарти за използване на преносими технологии, както и интеграцията им със съществуващите системи за телемедицина и медицинска евакуация. Особено внимание следва да се отдели на киберсигурността и защитата на личните медицински данни, което изисква ясни етични и правни рамки.

ОБСЪЖДАНЕ

Преносимите сензори за мониторинг на жизнени функции представляват високотехнологичен инструмент с оперативна ефективност във военномедицинската практика. Анализът на съвременните международни публикации показва, че тези технологии позволяват непрекъснато измерване на ключови физиологични показатели, включително сърдечна честота, вариабилност на сърдечния ритъм, телесна температура, кислородна сатурация, кръвно налягане, дихателна честота и биохимични параметри като глюкоза, лактат и хемоглобин.

Събраните данни показват, че интеграцията на преносими сензори във военномедицински условия подобрява ранната диагностика на критични състояния, като травматичен хеморагичен шок, топлинен стрес и остри инфекциозни процеси. Например, съвременни биорадарни и фотоплетизмографски системи позволяват безконтактно и в реално време наблюдение на сърдечната и дихателната функция, което е особено ценно при масови инциденти или бойни операции, където класическата клинична апаратура е непрактична.

Въпреки многобройните предимства, анализът на публикуваните изследвания показва и ограничения, свързани с прецизността на измерванията при екстремни условия, необходимостта от калибриране

на устройствата и стандартизирани протоколи за използване в полеви условия. Освен това, ефективното внедряване на преносими сензори изисква обучение на персонала, интеграция с вече съществуващи медицински информационни системи и оценка на етичните аспекти при непрекъснато наблюдение на военнослужещи.

На базата на събраните данни може да се заключи, че преносимите сензори не само увеличават оперативната ефективност на военномедицинските екипи, но и осигуряват значимо подобрене в безопасността и здравния контрол на военнослужещите. Те позволяват ранна интервенция при критични състояния, оптимизиране на ресурсите и повишаване на боеготовността на личния състав. Перспективите за развитие включват интеграция с изкуствен интелект и системи за прогнозна оценка на риска, което ще увеличи прецизността и своевременността на медицинските решения в полеви условия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Преносимите сензори за мониторинг на жизнени функции представляват значителен технологичен напредък в отбранителния сектор и военномедицинската наука и практика. Те не само позволяват непрекъснато събиране на физиологични данни, но и дават възможност за превантивни и инициативни действия за опазване на здравето и оперативната готовност на личния състав. Чрез интегрирането на тези сензори с комуникационни системи и такива за интелигентен анализ, военните медици и командирите могат да идентифицират нарушения в здравословното състояние, преди те да станат критични; да оптимизират физическата и психическата подготовка на подразделението; да подобрят медицинската поддръжка в полеви условия и да подобрят решенията относно оперативната готовност. В заключение, международният опит и съвременните публикации ясно показват, че приложението на преносими сензори за мониторинг на жизнени функции във военномедицински контекст представлява ефективен и перспективен подход за подобряване на здравния контрол и оперативната готовност на военнослужещите.

ЛИТЕРАТУРА:

Hegarty-Craver M., Davis-Wilson H., Gaur P., Walls H. et col. Wearable sensors for service members and first responders: Considerations for using commercially available sensors in continuous monitoring. *RTI Press Occasional Paper No. OP-0090-2402.*

- de Vries HJ, van der Wal SJ, Delahaij R, et col. Real-time monitoring of military health and readiness: a perspective on future research. *Front Digit Health*. 2025 May 7;7:1542140. doi: 10.3389/fdgth.2025.1542140. PMID: 40400540; PMCID: PMC12092382.
- Ates, H. C., Nguyen, P. Q., Gonzalez-Macia, L., et col. (2022). End-to-end design of wearable sensors. *Nature Reviews Materials*, 7(11), 887–907.
- Dobosz J., Engelhardt M., Dupleich D. et col. *Vital signs monitoring with mmWave OFDM JCAS system*. *arXiv*, 2025.
- Benny J., Moudhgalya N. N., Khan M. et col. *Scalable multisubject vital sign monitoring with mmWave FMCW radar and FPGA prototyping*. *arXiv*, 2025.
- Decorte N., De Groote F., Vandebossche L., et col. (2025). Continuous monitoring of physiological and psychophysiological parameters during military basic training using wearable sensors. *Sensors*, 25(6), 1828.
- DeLoach S., Hong D., Coker R., et col. Real-time monitoring of military health and readiness, *PubMed Central*, 2025.
- Gahtan B., Funk S., Kodesh E., and col. *WearableMil: An end-to-end framework for military activity recognition and performance monitoring*. *arXiv*, 2024.
- Krygier, J., Lubkowski, P., Maslanka, K., et col. Smart Medical Evacuation Support System for the Military. *Sensors* 2024, 24, 4581.
- Li Y, Zhang X, Chen W, et col. A wearable medical sensors system for in-situ monitoring vital signs of patients with hemorrhagic shock in big disaster scenes. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2023.
- Gathright, R., Mejia, I., Gonzalez, J.M. et col. Overview of Wearable Healthcare Devices for Clinical Decision Support in the Prehospital Setting. *Sensors*. 2024;24(24):8204.
- Georgieva-Tsaneva, G., Cheshmedzhiev, K., Tsanev, Y.A., Dechev, M. (2025). “Sensor System for Research and Analysis of the Health State of the Organism”, *Science Series “Innovative STEM Education”*, volume 07, ISSN:2683-1333, 217-225, 2025.
- Sipos D, Vészi K, Bogár B, Pető D, Füredi G, Betlehem J, Pandur AA. Physiological State Monitoring in Advanced Soldiers: Precision Health Strategies for Modern Military Operations. *Sci*. 2025; 7(4):137.