



WPŁYW SŁUŻBY WOJSKOWEJ W WARUNKACH EKSTREMALNYCH NA UKŁAD SERCOWO-NACZYNIOWY: PRZEGLĄD NARRACYJNY

The cardiovascular effects of military service under extreme conditions: a narrative review



Aleksandra Owczarska, Hubert Bigajski, Aleksandra Banaś, Piotr Widera, Dominika Sarna, Maciej Michalik, Marta Handschuh, Olga Bilczewska, Justyna Jurczyk, Wiktoria Janik

Wydział Nauk Medycznych w Katowicach, Śląski Uniwersytet Medyczny, Polska

Aleksandra Owczarska – 0009-0001-3537-4235

Hubert Bigajski – 0009-0007-0570-5367

Aleksandra Banaś – 0009-0009-5584-5944

Piotr Widera – 0009-0008-7518-2482

Dominika Sarna – 0009-0001-4849-8093

Maciej Michalik – 0009-0007-9778-8736

Marta Handschuh – 0009-0005-1539-8589

Olga Bilczewska – 0009-0006-7097-1226

Justyna Jurczyk – 0009-0003-5657-2569

Wiktoria Janik – 0009-0006-8406-3309

Streszczenie

Wstęp: Służba wojskowa wiąże się z ekspozycją na intensywny stres fizyczny i psychiczny, który wpływa na układ sercowo-naczyniowy. Wysiłek fizyczny, stres operacyjny oraz ekstremalne warunki środowiskowe mogą prowadzić do zaburzeń rytmu serca i nadciśnienia. **Materiały i metody:** Przeprowadzono przegląd literatury naukowej, obejmujący badania dotyczące wpływu wysiłku, stresu i warunków środowiskowych na układ sercowo-naczyniowy u żołnierzy. Przeszukano bazy PubMed i Google Scholar. **Stan wiedzy:** Długotrwały wysiłek prowadzi do adaptacji serca, lecz przy nadmiernym obciążeniu może wystąpić przemijające upośledzenie funkcji mięśnia sercowego po wysiłku. Stres psychiczny aktywuje układ współczulny i oś podwzgórze–przysadka–nadnercza, zwiększając ciśnienie tętnicze oraz częstość akcji serca. Wysoka temperatura i odwodnienie nasilają ryzyko zaburzeń rytmu oraz uszkodzenia mięśnia sercowego. **Wnioski:** Służba wojskowa wiąże się ze zwiększonym obciążeniem układu sercowo-naczyniowego. Konieczne jest wdrażanie profilaktyki obejmującej regularne badania, kontrolę czynników ryzyka i programy adaptacyjne. Dalsze badania powinny określić skuteczne strategie ochrony zdrowia sercowo-naczyniowego żołnierzy.

Abstract

Introduction: Military service is associated with exposure to intense physical and mental stress, which affects the cardiovascular system. It remains unclear whether the combination of exertion, operational stress, and extreme environmental conditions can lead to cardiac arrhythmias and hypertension. **Materials and methods:** A review of the scientific literature was conducted, including studies on the effects of exertion, stress, and environmental conditions on the circulatory system in soldiers. Sources included PubMed and Google Scholar. **State of knowledge:** Prolonged exercise leads to cardiac adaptation, whereas excessive exercise may give rise to exercise-induced cardiac fatigue. Mental stress activates the sympathetic nervous system and the hypothalamic–pituitary–adrenal axis, thereby increasing blood pressure and heart rate. High ambient temperature and dehydration increase the risk of arrhythmias and myocardial damage. **Conclusions:** Military service places considerable strain on the circulatory system. Preventive measures, including regular medical screening, risk factor control, and adaptation programmes, are essential. Further research is needed to identify effective strategies for safeguarding the cardiovascular health of military personnel.

Słowa kluczowe: układ sercowo-naczyniowy; profilaktyka chorób układu krążenia; służba wojskowa; warunki ekstremalne; medycyna wojskowa

Keywords: cardiovascular system; prevention of cardiovascular diseases; military service; military medicine; extreme conditions

DOI 10.53301/lw/214451

Praca wpłynęła do Redakcji: 06.11.2025

Zaakceptowano do druku: 19.11.2025

Opublikowano: 30.06.2026

Autor do korespondencji:

Aleksandra Owczarska
Wydział Nauk Medycznych w Katowicach,
Śląski Uniwersytet Medyczny, Katowice
e-mail: olkaa9743@gmail.com

Wstęp

Służba wojskowa wiąże się z ekspozycją na ekstremalne warunki fizyczne i psychologiczne, co wymusza mobilizację rezerw adaptacyjnych organizmu [1]. Wymagania współczesnego pola walki, intensywne treningi oraz misje w zróżnicowanych strefach klimatycznych stanowią znaczące obciążenie dla organizmu żołnierza [1]. Układ sercowo-naczyniowy odgrywa kluczową rolę w utrzymaniu homeostazy w tych warunkach. Ekspozycja na wieloczynnikowe stresory (intensywny wysiłek fizyczny, deprywacja snu, ekstremalne temperatury, stres bojowy) inicjuje kaskadę reakcji neurohormonalnych [2]. Obejmują one aktywację osi podwzgórze–przysadka–nadnerzca (ang. *hypothalamic-pituitary-adrenal axis*, HPA) oraz układu współczulnego (wzrost stężenia katecholamin i kortyzolu) [2, 3]. Choć mechanizmy te są niezbędne dla krótkoterminowej adaptacji, ich przewlekła aktywacja może prowadzić do dysregulacji układu sercowo-naczyniowego [2]. Coraz więcej badań wskazuje na związek między służbą wojskową a ryzykiem sercowo-naczyniowym, szczególnie u weteranów [4] oraz osób z zespołem stresu pourazowego (ang. *post-traumatic stress disorder*, PTSD) [5]. Obserwacje kliniczne wskazują na zwiększoną częstość ostrych incydentów kardiologicznych (nagłe zatrzymanie krążenia [6], kardiomiopatia Takotsubo [7]) oraz odległych następstw, jak nadciśnienie tętnicze [5], choroba niedokrwienna serca czy insulinooporność [8]. Zrozumienie tych interakcji jest fundamentalne dla medycyny wojskowej w celu opracowania skutecznych strategii prewencyjnych. Niniejszy artykuł stanowi przegląd aktualnego stanu wiedzy na temat wpływu ekstremalnych warunków służby wojskowej na układ sercowo-naczyniowy.

Cel pracy

Głównym celem pracy jest synteza i krytyczna analiza piśmiennictwa dotyczącego wpływu służby wojskowej w warunkach ekstremalnych na układ sercowo-naczyniowy. Artykuł ma charakter przeglądu narracyjnego. Cele szczegółowe obejmują:

- analizę kluczowych mechanizmów patofizjologicznych reakcji sercowo-naczyniowej na stresory fizyczne i psychologiczne;
- charakterystykę ostrych objawów klinicznych i incydentów kardiologicznych podczas ekspozycji na warunki ekstremalne;
- ocenę długofalowych następstw zdrowotnych służby wojskowej dla układu sercowo-naczyniowego, w tym ryzyka rozwoju chorób przewlekłych;
- przegląd dostępnych strategii profilaktyki, monitorowania oraz interwencji mających na celu ochronę zdrowia kardiologicznego żołnierzy.

Materiały i metody

W niniejszej pracy zastosowano metodykę przeglądu literatury (z wykorzystaniem baz PubMed, Google Scholar) w celu analizy wpływu służby wojskowej na układ sercowo-naczyniowy. Przeanalizowano publikacje dotyczące fizjologicznych i patologicznych zmian w układzie sercowo-naczyniowym pod wpływem stresu, warunków środowiskowych, mechanizmów adaptacyjnych oraz działań profilaktycznych.

Stan wiedzy

Mechanizmy wpływu warunków ekstremalnych na układ sercowo-naczyniowy

Odpowiedź autonomiczna oraz rola stresu i hormonów

Autonomiczny układ nerwowy (AUN) utrzymuje homeostazę dzięki współdziałaniu układu współczulnego (WUN) i przywspółczulnego (PUN) [9, 10]. W warunkach służby wojskowej równowaga przesuwana jest w stronę dominacji WUN (wzrost częstości akcji serca i ciśnienia tętniczego) przy jednoczesnym hamowaniu PUN. Przejawem tego jest zmniejszona zmienność rytmu serca (ang. *heart rate variability*, HRV), potwierdzająca przewagę aktywacji współczulnej i obniżoną zdolność adaptacyjną [9, 10]. Reakcja AUN jest związana z hormonami stresu (kortyzol, katecholaminy) [11]. Podczas długotrwałego stresu związanego ze służbą wojskową ich podwyższone stężenie zwiększa ciśnienie tętnicze i tętno. Badania poligonowe wykazały korelację wzrostu stężenia kortyzolu z pogorszeniem wydolności fizycznej i obniżeniem HRV, szczególnie przy deprywacji snu. Poziomy te normalizują się po regeneracji [11].

Zmiany hemodynamiczne i metaboliczne oraz stres oksydacyjny

W warunkach ekstremalnych obserwuje się zmiany hemodynamiczne, takie jak zmniejszona objętość krwi krążącej i obniżony powrót żylny (redukcja preload) [12]. Duże obciążenia fizyczne prowadzą do wzrostu częstości akcji serca i ciśnienia tętniczego, zwiększając obciążenie serca [12]. Zmiany te są powiązane z zaburzeniami metabolicznymi i stresem oksydacyjnym (wzrost lipolizy, utleniania kwasów tłuszczowych) [13]. Stres oksydacyjny, wynikający z przewagi wolnych rodników nad mechanizmami obronnymi, może prowadzić do uszkodzeń komórkowych i pogorszenia funkcji układu sercowo-naczyniowego [13]. Odwodnienie, niedobór snu i energii nasilają przewlekłą aktywację współczulną i zaburzenia hemodynamiczno-metaboliczne [12, 13]. Adaptacja obejmuje wzrost efektywności metabolizmu i mechanizmów antyoksydacyjnych. Monitorowanie parametrów hemodynamicznych i metabolicznych jest kluczowe, gdyż ich niewyrównane zmiany mogą prowadzić do dysfunkcji mięśnia sercowego. Interwencje treningowe i żywieniowe mogą przyczynić się do poprawy wydolności i zdrowia żołnierzy [13].

Zapalenie i odpowiedź immunologiczna

Ekspozycja na skrajne warunki (hipoksja, hipertermia, stres oksydacyjny, wysiłek fizyczny) wywołuje silną aktywację układu immunologicznego i mechanizmów zapalnych. Dochodzi do zwiększonej produkcji prozapalnych cytokin (IL-6, TNF- α), aktywacji NF- κ B i migracji komórek odpornościowych do śródbłonna naczyń [14]. Taka sterylna odpowiedź zapalna sprzyja dysfunkcji śródbłonna, nasila stres oksydacyjny i może obniżyć próg podatności na uszkodzenie mięśnia sercowego oraz naczyń krwionośnych [14].

Zaburzenia krzepliwości i ryzyko zakrzepicy

Warunki ekstremalne wpływają na równowagę hemostatyczną prozakrzepowo. Przy hipertermii (udar cieplny)

dochodzi do aktywacji układu krzepnięcia (uwalnianie czynnika tkankowego, agregacja płytek, zahamowanie fibrynolizy), co zwiększa ryzyko mikrozakrzepów i zespołu rozsianego wykrzepiania wewnątrznaczyniowego (ang. *disseminated intravascular coagulation*, DIC) [15]. Odwodnienie i hemokoncentracja zwiększają lepkość krwi, co sprzyja rozwojowi przepływu turbulentnego, uszkodzeniu śródbłonna oraz zastoju krwi, przesuwając hemostazę w stronę stanu prozakrzepowego [16].

Wpływ czynników indywidualnych, takich jak wiek, choroby przewlekłe, styl życia

Starszy wiek wiąże się z mniejszą rezerwą adaptacyjną układu sercowo-naczyniowego i upośledzoną termoregulacją, co zwiększa podatność na niewydolność krążeniową przy obciążeniach cieplnych. W badaniach populacyjnych wykazano, że każdy wzrost temperatury otoczenia o 1°C powyżej wartości optymalnej zwiększa ryzyko zgonu z przyczyn sercowo-naczyniowych o około 2,1% (RR = 1,021; 95% CI: 1,020–1,023), a u osób powyżej 65. roku życia krótkotrwały wzrost temperatury o 1°C może zwiększać ryzyko wystąpienia incydentu sercowo-naczyniowego aż o 33% [17]. U osób z chorobami przewlekłymi (np. nadciśnieniem, cukrzycą) już występuje przewlekła aktywacja stanów zapalnych, więc dodatkowy stres środowiskowy może doprowadzić do dekomensacji. W badaniach obejmujących ekspozycję wojskowych na toksyczne środowisko (np. dym z pożarów szybów naftowych) ryzyko rozwoju choroby niedokrwiennej serca było prawie trzykrotnie wyższe (OR = 2,95; CI: 1,40–6,19) w porównaniu z grupą nieeksponowaną [14]. Styl życia (np. przewlekły niedobór snu, palenie tytoniu) również sprzyja przewadze profilu prozapalnego i prozakrzepowego, osłabiając zdolność adaptacyjną. W badaniach kohortowych wykazano, że osoby pijące ≥ 5 szklanek wody dziennie miały ponad dwukrotnie niższe ryzyko zgonu z powodu choroby wieńcowej w porównaniu z osobami pijącymi ≤ 2 szklanki [18]. Profil indywidualny jest podstawą do stratyfikacji ryzyka.

Ostre następstwa kliniczne

Służba w warunkach ekstremalnych wiąże się ze złożonym stresem fizycznym, psychicznym i środowiskowym, prowadzącym do dynamicznych zaburzeń w układzie sercowo-naczyniowym (arytmii, incydentów wieńcowych, kardiomiopatii). Kluczowym mechanizmem jest nadmierna aktywacja osi HPA i układu współczulnego [2].

Arytmie i nagłe zatrzymanie krążenia

Zaburzenia rytmu i nagły zgon sercowy (NZS) to poważne ostre następstwa obciążeń związanych ze służbą wojskową. W 25-letnim badaniu rekrutów NZS był najczęstszą przyczyną zgonu (42%) niezwiązaną z urazem, z czego 33% wynikało z kardiomiopatii przerostowej, 20% z zapalenia mięśnia sercowego [6]. Intensywny wysiłek i stres psychiczny zwiększają aktywność współczulną i stężenie katecholamin, co zwiększa ryzyko arytmii komorowych [2]. Badania neuroendokrynne wykazały zmiany stężeń kortyzolu i DHEA-S, które korelują z reakcją na stres i mogą modulować podatność na arytmie [3]. Ciągłe monitorowanie parametrów fizjologicznych po-

twierdziło, że ekstremalne warunki (temperatura, odwodnienie) prowadzą do klinicznie istotnych wahań rytmu serca [1].

Ostre incydenty wieńcowe (w tym zawał mięśnia sercowego)

Stres i przeciążenie fizyczne mogą wywoływać ostre incydenty wieńcowe. Metaanaliza Padhi i wsp. wykazała, że PTSD zwiększa ryzyko zawału mięśnia sercowego o około 30% [5]. Weterani z PTSD częściej spełniają kryteria zespołu metabolicznego (otyłość, dyslipidemia, nadciśnienie), co zwiększa ryzyko chorób sercowo-naczyniowych [8]. Ostro stres może także prowadzić do przejściowego skurczu naczyń wieńcowych oraz dysproporcji między podażą a zapotrzebowaniem na tlen (zawał mięśnia sercowego typu II) [2].

Ostra niewydolność serca oraz kardiomiopatia wywołana stresem (zespół takotsubo)

Zespół takotsubo jest częstym powikłaniem ostrego stresu. Badanie Kahili i wsp., obejmujące 3248 pacjentów, wykazało wzrost liczby przypadków tego zespołu w okresach wzmożonego stresu społecznego (np. konflikty zbrojne) o 38% [7]. Mechanizm zespołu takotsubo obejmuje gwałtowne uwolnienie katecholamin, prowadzące do przejściowej dysfunkcji skurczowej lewej komory, z obrazem klinicznym przypominającym zawał, lecz bez istotnych zwężeń tętnic wieńcowych [2].

Zaburzenia ciśnienia tętniczego w sytuacjach ekstremalnych

Wahania ciśnienia tętniczego są częste u żołnierzy. Dane z Veterans Health Administration wskazują, że nadciśnienie tętnicze jest jednym z najczęstszych schorzeń przewlekłych w tej grupie (71%) [4]. W badaniach terenowych dokumentowano zarówno epizody przejściowego nadciśnienia (aktywacja współczulna), jak i hipotensję (odwodnienie, hipertermia). Ciągłe monitorowanie parametrów fizjologicznych pozwala na wczesne wykrycie przeciążenia układu sercowo-naczyniowego [1].

Ekstremalne warunki środowiskowe

Żołnierze są narażeni na dynamiczne zmiany temperatury, ciśnienia atmosferycznego i stężenia tlenu. Adaptacja wymaga intensywnej aktywacji układów regulacyjnych (oś HPA, układ współczulny), co długofalowo może sprzyjać patologiom krążeniowym [2].

Wysoka temperatura i odwodnienie organizmu

Wysoka temperatura wymusza redystrybucję krwi do skóry i nasila utratę płynów, prowadząc do hipowolemii oraz zwiększonego obciążenia serca [1]. Odwodnienie nasila tachykardię i może prowadzić do zapaści krążeniowej. Aktywacja osi HPA w odpowiedzi na stres cieplny (wzrost stężenia kortyzolu i katecholamin) może sprzyjać arytmii [2]. Przewlekła ekspozycja wiąże się z ryzykiem zespołów przeciążenia cieplnego [1]. W 25-letnim przeglądzie wyników autopsji rekrutów wojskowych stwierdzono 126 nieurazowych nagłych zgonów, u 51% zmarłych wykryto strukturalną wadę serca: najczęściej anomalie tętnicy wieńcowej (61% wykrytych wad), zapa-

lenie mięśnia sercowego (20%) lub kardiomiopatię przerostową (13%) [6]. Hipertermia i odwodnienie są czynnikami sprzyjającymi nagłym zgonom sercowym u osób z nierozpoznanymi wadami serca [6].

Niska temperatura

Ekspozycja na zimno powoduje obkurczanie naczyń skórných i wzrost oporu obwodowego, zwiększając ciśnienie tętnicze i obciążenie lewej komory serca, co jest groźne dla osób z nadciśnieniem [4]. Zimno jest silnym stresorem pobudzającym układ współczulny i może prowadzić, podobnie jak stres emocjonalny, do zespołu takotsubo [7]. W skrajnie niskich temperaturach może dojść do zmniejszenia przepływu wieńcowego i zaburzeń repolaryzacji, co sprzyja arytmiom i dysfunkcji śródbrzońki [5].

Wysokość nad poziomem morza i hipoksja

Warunki hipobaryczne prowadzą do hipoksji tkankowej. Wczesną odpowiedzią jest wzrost tętna i pojemności minutowej. Długotrwała ekspozycja skutkuje wzrostem hematokrytu i lepkości krwi (ryzyko zakrzepicy i nadciśnienia płucnego). Stres hipoksyjny aktywuje oś HPA (wzrost stężenia kortyzolu) [2] oraz wpływa na poziom DHEA-S, co może pełnić funkcję adaptacyjną [3]. W badaniu Morgana i wsp. stwierdzono wzrost stężenia DHEA-S z 27,8 µg/dL ($\pm 11,1$) do 60,1 µg/dL ($\pm 26,2$), a kortyzolu z 8,6 µg/dL ($\pm 3,8$) do 31,1 µg/dL ($\pm 5,8$) podczas ekspozycji na silny stres militarno-przetrwaniowy. Wyższy stosunek DHEA-S do kortyzolu w tej sytuacji korelował z lepszą wydajnością zadaniową ($r = 0,61$) i mniejszym nasileniem dysocjacji ($r = -0,63$) [3]. Monitorowanie parametrów fizjologicznych w czasie rzeczywistym pozwala na wczesne wykrycie zaburzeń adaptacyjnych w warunkach hipoksji [1].

Długofalowe konsekwencje służby wojskowej

Rozwój nadciśnienia tętniczego, choroby wieńcowej, niewydolności serca

Długotrwała ekspozycja na stres prowadzi do aktywacji osi HPA i układu współczulnego, skutkując hiperaktywacją stresową i zaburzeniem homeostazy. Przewlekły wzrost poziomu kortyzolu i katecholamin jest przyczyną podwyższonego ciśnienia i remodelingu naczyń [2]. U weteranów wojennych obserwuje się większą częstość występowania nadciśnienia tętniczego w porównaniu z populacją ogólną [4], a ekspozycja na traumę bojową zwiększa ryzyko choroby wieńcowej i niewydolności serca. W metaanalizie obejmującej ponad 335 tysięcy uczestników wykazano, że obecność PTSD wiąże się ze znaczącym podwyższonym ryzykiem schorzeń układu sercowo-naczyniowego (HR = 1,417; 95% CI: 1,313–1,522), w tym zawału mięśnia sercowego (HR = 1,415; 95% CI: 1,331–1,500) oraz udaru mózgu (HR = 2,074; 95% CI: 1,165–2,982) [5].

Zmiany remodelingowe serca

Długotrwały wpływ służby na remodeling serca jest przedmiotem intensywnych badań. Obserwuje się zmiany (np. przerost lewej komory) jako odpowiedź na obciążenie hemodynamiczne i neurohormonalne [19]. W badaniu przeprowadzonym w 2021 roku przez Charton

i wsp. uczestniczyło 20 żołnierzy jednostek specjalnych oraz 38 podchorążych z jednostki nieelitarniej. U żołnierzy sił specjalnych po intensywnym wysiłku fizycznym zaobserwowano istotne zmiany w morfologii oraz funkcji wszystkich czterech jam serca, obejmujące przejściowe obniżenie funkcji skurczowej komór i przedsionków, ocenianej metodą 2D-strain – zaawansowaną metodą echokardiograficzną, oceniającą odkształcenie mięśnia sercowego w fazie skurczu i rozkurczu na podstawie analizy obrazu 2D.

Przewlekła ekspozycja na czynniki obciążające, w tym deprywację snu, może skutkować dysfunkcją mięśnia sercowego w zakresie zarówno funkcji skurczowej, jak i rozkurczowej [19].

Insulinooporność jako mediator w związku między PTSD a chorobami metabolicznymi

Kluczowym mechanizmem pośredniczącym są zmiany metaboliczne, w tym insulinooporność. Przewlekła aktywacja osi HPA prowadzi do wzrostu stężenia kortyzolu i glukozy oraz odkładania tłuszczu trzewnego. Weterani z PTSD częściej spełniają kryteria rozpoznania zespołu metabolicznego [8]. W analizie obejmującej 253 weteranów (kobiet i mężczyzn) oceniano pięć głównych czynników diagnostycznych zespołu metabolicznego, w tym ciśnienie tętnicze, wskaźnik talia-biodra oraz stężenie HDL, trójglicerydów i glukozy na czczo. Stwierdzono, że 40% badanych spełniało kryteria zespołu metabolicznego, przy czym w grupie z PTSD odsetek ten wynosił 43%. Wyniki modelu regresji logistycznej wykazały istotną zależność pomiędzy nasileniem objawów PTSD a częstością występowania zespołu metabolicznego ($p = 0,03$), co sugeruje, że długotrwała aktywacja mechanizmów stresowych może odgrywać kluczową rolę w rozwoju zaburzeń metabolicznych w tej populacji [8]. Insulinooporność jest mediatorem między zaburzeniami neurohormonalnymi a uszkodzeniem śródbrzońki i progresją choroby wieńcowej [20]. Zmiany poziomu DHEA-S i kortyzolu u osób po ekspozycji na stres bojowy są skorelowane z zaburzeniami gospodarki glukozowej [3], co długofalowo zwiększa ryzyko sercowo-naczyniowe.

Zmiany czynników ryzyka związane ze służbą wojskową

Podczas służby wojskowej obserwowano zmiany w zakresie czynników ryzyka metaboliczno-kardiologicznego. Niskie spożycie błonnika korelowało z wyższym stężeniem cholesterolu całkowitego i frakcji LDL, co potwierdziła istotna dodatnia zależność między zmianą spożycia błonnika a zmianą stężenia cholesterolu całkowitego ($r = -0,36$, $p = 0,033$) oraz LDL ($r = -0,39$, $p = 0,019$).

W badaniu wykazano ponadto, że procentowa zawartość tkanki tłuszczowej (BF%) oraz masa tłuszczowa były dodatnio skorelowane ze stężeniem cholesterolu całkowitego ($r = 0,51$; $p = 0,002$) i LDL ($r = 0,53$; $p = 0,001$). Średnie stężenie cholesterolu całkowitego wynosiło 4,64–4,71 mmol/l, a LDL 2,27–2,87 mmol/l podczas sześciomiesięcznej obserwacji, przy stabilnej zawartości tkanki tłuszczowej na poziomie ok. 13,5%. Wyniki te podkreślają rolę diety i składu ciała w kształtowaniu ryzyka sercowo-naczyniowego podczas służby wojskowej [21].

Profilaktyka i monitorowanie układu sercowo-naczyniowego u żołnierzy

Selekcja i badania przesiewowe

Przed wystąpieniem żołnierzy do działań w warunkach ekstremalnych konieczne jest przeprowadzenie badań przesiewowych (wywiad, badanie fizykalne). Żołnierze planowani do działań w warunkach wysokogórskich, pustynnych lub polarnych wymagają rozszerzonej diagnostyki, w tym badania EKG. Współczesne kryteria interpretacji EKG, takie jak kryteria Seattle, opracowano w celu zwiększenia dokładności diagnostycznej u osób o wysokiej aktywności fizycznej, w tym żołnierzy [22]. Kryteria te pozwalają odróżnić zmiany fizjologiczne charakterystyczne dla adaptacji treningowych i niewymagające dalszej diagnostyki, takie jak bradykardia zatokowa ≥ 30 /min, blok przedsionkowo-komorowy I stopnia (PR ≤ 400 ms) czy niezupełny blok prawej odnogi (QRS < 120 ms), od rzeczywistych patologii mogących prowadzić do nagłego zatrzymania krążenia, m.in. obniżenia odcinka ST $\geq 0,5$ mm, patologicznych załamków Q (> 40 ms lub ≥ 3 mm), odwrócenia załamka T w co najmniej dwóch sąsiadujących odprowadzeniach czy wydłużenia QTc $\geq 470/480$ ms [23]. Zastosowanie kryteriów Seattle oraz opartych na nich algorytmów automatycznej analizy EKG znacząco ograniczyło odsetek wyników fałszywie dodatnich (do 3,7%), przy jednoczesnym zachowaniu 100-procentowej czułości w wykrywaniu stanów zagrażających życiu [22]. Takie podejście ma szczególne znaczenie w populacji wojskowej, w której szybka i wiarygodna ocena kardiologiczna jest kluczowa dla bezpieczeństwa personelu. Rozszerzona diagnostyka (echokardiografia, test wysiłkowy) jest niezbędna u żołnierzy z grupy ryzyka (dodatni wywiad rodzinny, omdlenia, nadciśnienie, cukrzyca itp.) [22]. Szczególnej uwagi wymagają również żołnierze powyżej 35. roku życia oraz osoby powracające do służby po dłuższej przerwie, ze względu na zwiększone prawdopodobieństwo bezobjawowej choroby wieńcowej. Ekspozycja na warunki ekstremalne może bowiem ujawnić wcześniej nierozpoznane zaburzenia układu sercowo-naczyniowego.

Szkolenia adaptacyjne i aklimatyzacja – upał, wysokość

Aklimatyzacja do ciepła jest fundamentalną strategią redukcji zagrożeń kardiologicznych. Dwutygodniowy program progresywnych treningów w warunkach wysokiej temperatury (wg wytycznych NATO) zmniejsza konieczność kompensacyjnego wzrostu rzutu serca [24]. Wykazano, że izotermiczne uwarunkowanie prowadzi do bardziej znaczących adaptacji kardiologicznych (średnia redukcja tętna o 11 uderzeń/min) niż tradycyjny trening (redukcja o 4 uderzenia/min) [25]. Aklimatyzacja na wysokości (powyżej 1500 m) to adaptacja do hipoksji hipobarycznej. Ekspozycja na niskie ciśnienie parcjalne tlenu (PO_2) inicjuje aktywację układu współczulnego (wzrost tętna) [26]. Ostra choroba góraska (ang. *acute mountain sickness*, AMS) jest głównym zagrożeniem (zachorowalność 38% na wysokości 3500 m). Profilaktyka obejmuje stopniowe wznoszenie się (limit wysokości noclegu < 305 m na dobę) oraz etapowanie (aklimatyzacja na pośrednich wysokościach) [26].

Zarządzanie ryzykiem: nawodnienie, suplementacja

Utrata masy ciała przekraczająca 2% w wyniku odwodnienia prowadzi do spadku wydolności fizycznej o 5–10%, dlatego właściwe nawodnienie jest kluczowe [24]. Wytyczne rekomendują napoje (20–30 mEq/L sodu, 2–5 mEq/L potasu, 5–10% węglowodanów) dla zapobiegania utracie płynów, elektrolitów i glikogenu. Sód jest istotny dla absorpcji wody i kompensacji strat w pocie [27].

Procedury poekspozycyjne (rehabilitacja, monitorowanie po zdarzeniach)

Powrót do służby po incydencie kardiologicznym wymaga indywidualnej oceny (testy wysiłkowe, parametry hemodynamiczne) pod nadzorem kardiologicznym. Wykazano, że kompleksowa rehabilitacja kardiologiczna redukuje śmiertelność o 20–30% oraz zwiększa tolerancję wysiłku o 25–35% [28].

Interwencje psychologiczne redukujące stres i nasilenie objawów PTSD

Metaanalizy wskazują, że interwencje psychologiczne, takie jak terapia poznawczo-behawioralna ukierunkowana na traumę (ang. *trauma-focused cognitive behavioral therapy*, TF-CBT) oraz terapia odwracania i przetwarzania za pomocą ruchu gałek ocznych (EMDR) skutecznie zmniejszają nasilenie objawów PTSD u weteranów, choć efekt ten jest mniejszy i mniej trwały niż w populacji ogólnej [29].

Aspekty szczególne

Różnice płci

Kobiety w wojsku (szczególnie rekrutki) podczas intensywnych ćwiczeń narażone są na większe obciążenie układu sercowo-naczyniowego niż mężczyźni, co przejawia się wyższym tętnem i ciśnieniem podczas marszów z obciążeniem [30]. W badaniach terenowych wykazano, że różnice te są szczególnie widoczne podczas długotrwałych marszów (powyżej 8 km), co wskazuje na konieczność dostosowania programów treningowych, stopniowania obciążenia oraz stałego monitorowania parametrów fizjologicznych u rekrutek [30].

W grupie 60 rekrutów (30 kobiet i 30 mężczyzn, średni wiek 20 ± 2 lata) u kobiet obserwowano średnio o 12–15 uderzeń/min wyższe tętno oraz o 6–8 mmHg wyższe ciśnienie skurczowe podczas marszów z obciążeniem 8–10 km, co potwierdza większe obciążenie układu sercowo-naczyniowego w tej grupie [30].

Wiek – młodzi rekruci a starsi weterani

Badanie MIL-SCORE, obejmujące 6487 polskich żołnierzy zawodowych (średni wiek 38 ± 9 lat, 7,8% kobiet), wykazało, że wiek jest jednym z kluczowych czynników różnicujących profil zdrowotny personelu wojskowego [31]. Starsi weterani (> 50 . r.ż.) charakteryzują się znacznie wyższą częstością nadciśnienia (45,2%) i otyłości (58,7%) w porównaniu z młodymi rekrutami (< 35 . r.ż.),

u których częstość tych zaburzeń wynosiła odpowiednio 18,9% i 21,4% [31]. Wyniki te podkreślają potrzebę wdrażania profilaktyki kardiometabolicznej już od wczesnych etapów służby wojskowej [31].

Specyfika misji międzynarodowych w porównaniu z ćwiczeniami krajowymi

Żołnierze uczestniczący w misjach zagranicznych narażeni są na znacznie większe obciążenia środowiskowe i psychofizyczne niż podczas ćwiczeń krajowych [32]. Do najczęściej wymienianych czynników należą stres operacyjny, długotrwała ekspozycja na skrajne temperatury, niedobór snu oraz ograniczone możliwości regeneracji organizmu [32].

W badaniach dotyczących polskich żołnierzy wykazano, że duża częstość występowania czynników ryzyka sercowo-naczyniowego (m.in. nadciśnienia, otyłości i hipercholesterolemii) może zwiększać podatność na negatywne skutki tych warunków [31]. Analizy obejmujące 82 341 żołnierzy USA (średni wiek 27 ± 6 lat) wykazały, że częstość nowych przypadków nadciśnienia była wyższa o 27%, a hipercholesterolemii o 19% u żołnierzy odbywających misje zagraniczne w porównaniu z uczestnikami ćwiczeń krajowych [32]. Z tego względu zaleca się wdrażanie programów prewencyjnych i monitorujących, dostosowanych do specyfiki misji i klimatu rejonu operacyjnego [32].

Perspektywa wojsk polskich

Polskie badania epidemiologiczne potwierdzają narastający problem ryzyka sercowo-naczyniowego zarówno wśród rekrutów, jak i weteranów [31]. W analizach populacji wojskowej stwierdzono, że nadciśnienie, nadwaga oraz nieprawidłowy profil lipidowy należą do najczęstszych czynników ryzyka [31]. Równocześnie badania międzynarodowe pokazują, że podobne tendencje obserwuje się również w armiach innych państw NATO, co potwierdza globalny charakter problemu zdrowia sercowo-naczyniowego wśród żołnierzy zawodowych [32].

Dane z programów krajowych i międzynarodowych wskazują, że ponad 40% żołnierzy zawodowych w badanych armiach spełnia kryteria przynajmniej jednego głównego czynnika ryzyka sercowo-naczyniowego (nadciśnienie, otyłość lub dyslipidemia) [31, 32]. Wskazuje to na konieczność systematycznych badań przesiewowych, edukacji zdrowotnej i wdrażania kompleksowych działań profilaktycznych, zwłaszcza u osób powracających z misji zagranicznych [31, 32].

Wnioski

Służba wojskowa stanowi ekstremalne obciążenie fizjologiczne i psychospołeczne. Wieloczynnikowy stres (bojowy, fizyczny, termiczny, deprywacja snu) aktywuje oś HPA i układ współczulny. Reakcje te, choć adaptacyjne w krótkim okresie, przy przewlekłej aktywacji prowadzą do dysregulacji hemodynamicznej, zaburzeń rytmu i wzrostu ryzyka chorób sercowo-naczyniowych. Nadmierne pobudzenie neurohormonalne, stres oksydacyjny i procesy zapalne przyczyniają się do uszkodzenia

śródbłonna, dysfunkcji naczyniowej i przebudowy serca. Ekstremalne warunki środowiskowe (temperatura, hipoksja, odwodnienie) nasilają ten proces, zwiększając ryzyko ostrych incydentów sercowo-naczyniowych, w tym NZS. W populacji wojskowej obserwuje się zarówno ostre reakcje (zaburzenia rytmu serca, dysfunkcja skurczowa lewej komory), jak i następstwa długoterminowe (nadciśnienie tętnicze, choroba niedokrwienna serca, zaburzenia metaboliczne). Na intensywność zmian wpływają czynniki osobnicze (uwarunkowania genetyczne, poziom wytrenowania oraz zdolności adaptacyjne organizmu), które modulują indywidualną odporność na obciążenia. Kluczowa jest wczesna identyfikacja ryzyka i kompleksowa prewencja (przesiewowa ocena kardiologiczna, monitorowanie wydolności fizycznej, kontrola metaboliczna, adaptacja cieplna, nawodnienie, regeneracja). Niezbędne są dalsze badania w celu opracowania spersonalizowanych modeli diagnostyki i prewencji w populacjach narażonych na skrajne obciążenia.

Piśmiennictwo

1. Friedl KE. Military applications of soldier physiological monitoring. *J Sci Med Sport*, 2018; 21(11): 1147–1153. doi: 10.1016/j.jsams.2018.06.004
2. Chrousos GP. Stress and disorders of the stress system. *Nat Rev Endocrinol*, 2009; 5(7): 374–381. doi: 10.1038/nrendo.2009.106
3. Morgan CA 3rd, Southwick S, Hazlett G, et al. Relationships among plasma dehydroepiandrosterone sulfate and cortisol levels, symptoms of dissociation, and objective performance in humans exposed to acute stress. *Arch Gen Psychiatry*, 2004; 61(8): 819–825. doi: 10.1001/archpsyc.61.8.819
4. Yamada M, Wachsmuth J, Sambharia M, et al. The prevalence and treatment of hypertension in Veterans Health Administration, assessing the impact of the updated clinical guidelines. *J Hypertens*, 2023; 41(6): 995–1002. doi: 10.1097/hjh.0000000000003424
5. Padhi BK, Khatib MN, Serhan HA, et al. Cardiovascular impact of post-traumatic stress disorder: A systematic review and meta-analysis. *Curr Probl Cardiol*, 2024; 49(8): 102632. doi: 10.1016/j.cpcardiol.2024.102632
6. Eckart RE, Scoville SL, Campbell CL, et al. Sudden death in young adults: a 25-year review of autopsies in military recruits. *Ann Intern Med*, 2004; 141(11): 829–834. doi: 10.7326/0003-4819-141-11-200412070-00005
7. Kahila Y, Barel MS, Bruoha S, et al. The effect of national stress events on the incidence of Takotsubo syndrome. *IJC Heart Vasc*, 2025; 59: 101697. doi: 10.1016/j.ijcha.2025.101697
8. Heppner PS, Crawford EF, Haji UA, et al. The association of posttraumatic stress disorder and metabolic syndrome: a study of increased health risk in veterans. *BMC Med*, 2009; 7: 1. doi: 10.1186/1741-7015-7-1
9. Bustamante-Sánchez A, Tornero-Aguilera JF, Fernández-Elías VE, et al. Effect of stress on autonomic cardiovascular response to stress in military populations: A systematic review. *Cardiol Res Pract*, 2020; 2020: 7986249. doi: 10.1155/2020/7986249
10. Stephenson MD, Thompson AG, Merrigan JJ, et al. Applying heart rate variability to monitor health and performance in tactical personnel: A narrative review. *Int J Environ Res Public Health*, 2021; 18(15): 8143. doi: 10.3390/ijerph18158143

11. Tait JL, Drain JR, Corrigan SL, et al. Impact of military training stress on hormone response and recovery. *PLoS One*, 2022; 17(3): e0265121. doi: 10.1371/journal.pone.0265121
12. Stein JA, Farina EK, Karl JP, et al. Biomarkers of oxidative stress, diet and exercise distinguish soldiers selected and non-selected for special forces training. *Metabolomics*, 2023; 19: 39. doi: 10.1007/s11306-023-01998-9
13. Radulescu D, Mihai FD, Trasca ET, et al. Oxidative stress in military missions-impact and strategies: A narrative analysis. *Life (Basel)*, 2024; 14(5): 567. doi: 10.3390/life14050567
14. Alfaddagh A, Martin SS, Leucker TM, et al. Inflammation and cardiovascular disease: from mechanisms to therapeutics. *Am J Prev Cardiol*, 2020; 4: 100130. doi: 10.1016/j.ajpc.2020.100130
15. Iba T, Connors JM, Levi M, Levy JH. Heatstroke-induced coagulopathy: biomarkers, mechanistic insights, and patient management. *eClinicalMedicine*, 2022; 44: 101276. doi: 10.1016/j.eclinm.2022.101276
16. Desai Y, Khraishah H, Alahmad B. Heat and the heart. *Yale J Biol Med*, 2023; 96(2): 197–203. doi: 10.59249/HGAL4894
17. Peters A, Schneider A. Cardiovascular risks of climate change. *Nat Rev Cardiol*, 2021; 18: 1–2. doi: 10.1038/s41569-020-00473-5
18. Singh N, Areal AT, Breitner S, et al. Heat and cardiovascular mortality: an epidemiological perspective. *Circ Res*, 2024; 134(9): 1098–1112. doi: 10.1161/CIRCRESAHA.123.323615
19. Charton M, Kervio G, Matelot D, et al. Exercise-induced cardiac fatigue in soldiers assessed by echocardiography. *Front Cardiovasc Med*, 2021; 8: 785869. doi: 10.3389/fcvm.2021.785869
20. Ormazabal V, Nair S, Elfeky O, et al. Association between insulin resistance and the development of cardiovascular disease. *Cardiovasc Diabetol*, 2018; 17(1): 122. doi: 10.1186/s12933-018-0762-4
21. Nykänen T, Pihlainen K, Kyröläinen H, Fogelholm M. Associations of nutrition and body composition with cardiovascular disease risk factors in soldiers during a 6-month deployment. *Int J Occup Med Environ Health*, 2020; 33(4): 457–466. doi: 10.13075/ijomh.1896.01541
22. Magee C, Haigney MC. Cardiovascular screening in the U.S. Military: Time to reconsider the electrocardiogram. *Mil Med*, 2020; 185(7–8): e1039–e1045. doi: 10.1093/milmed/usaa002
23. Drezner JA, Ackerman MJ, Anderson J, et al. Electrocardiographic interpretation in athletes: the 'Seattle Criteria'. *Br J Sports Med*, 2013; 47(3): 122–124. doi: 10.1136/bjsports-2012-092067
24. Parsons IT, Stacey MJ, Woods DR. Heat adaptation in military personnel: mitigating risk, maximizing performance. *Front Physiol*, 2019; 10: 1485. doi: 10.3389/fphys.2019.01485
25. Tan SCC, Ang WH, Lim LSX, et al. Efficacy of isothermic conditioning over military-based heat acclimatization and interval training in tropical native males. *Med Sci Sports Exerc*, 2022; 54(11): 1925–1935. doi: 10.1249/MSS.0000000000002991
26. Mallet RT, Burtscher J, Richalet JP, et al. Impact of high altitude on cardiovascular health: current perspectives. *Vasc Health Risk Manag*, 2021; 17: 317–335. doi: 10.2147/VHRM.S294121
27. Jäger R, Kerksick CM, Campbell BI, et al. International Society of Sports Nutrition Position Stand: protein and exercise. *J Int Soc Sports Nutr*, 2017; 14: 20. doi: 10.1186/s12970-017-0177-8
28. Piotrowicz R, Wolszakiewicz J. Cardiac rehabilitation following myocardial infarction. *Cardiol J*, 2008; 15(5): 481–487
29. Coventry PA, Meader N, Melton H, et al. Psychological and pharmacological interventions for posttraumatic stress disorder and comorbid mental health problems following complex traumatic events: Systematic review and component network meta-analysis. *PLoS Med*, 2020; 17(8): e1003262. doi: 10.1371/journal.pmed.1003262
30. Schram B, Orr R, Niederberger B, et al. Cardiovascular demand differences between male and female US Marine recruits during progressive loaded hikes. *J Strength Cond Res*, 2024; 38(8): e454–e458. doi: 10.1519/JSC.0000000000004816
31. Gielerak G, Krzesiński P, Piotrowicz K, et al. The prevalence of cardiovascular risk factors among Polish soldiers: The results from the MIL-SCORE Program. *Cardiol Res Pract*, 2020; 2020: 3973526. doi: 10.1155/2020/3973526
32. Vincent SR, Schlenk MA, Horan KA, Moore BA. Incidences and trends of cardiovascular determinants and diagnoses in active duty service members. *J Mil Veterans Health*, 2024; 32: 42–51. Available from: <https://jmvh.org/article/incidences-and-trends-of-cardiovascular-determinants-and-diagnoses-in-active-duty-service-members/> (access: 13.11.2025)