

(NIE)ERGONOMICZNE WARUNKI PRACY RATOWNIKA W AMBULANSIE MEDYCZNYM

(UN)ERGONOMIC WORKING CONDITIONS FOR A PARAMEDIC
IN A MEDICAL AMBULANCE

Sylwia Bęczkowska¹, Daniel Celiński², Iwona Grabarek¹, Katarzyna Grzybowska¹, Zuzanna Zysk¹

¹ Politechnika Warszawska / Warsaw University of Technology, Warsaw, Poland
Wydział Transportu / Faculty of Transport

² Warszawski Uniwersytet Medyczny / Medical University of Warsaw, Warsaw, Poland
Zakład Ratownictwa Medycznego / Department of Emergency Medicine

STRESZCZENIE

Wstęp: Praca ratownika medycznego ze względu na ograniczoną przestrzeń ambulansu, skomplikowane procedury medyczne, presję czasu, stres i konieczność przyjmowania wymuszonych pozycji podczas pracy charakteryzuje się – jak wykazano w wielu badaniach – wysokim ryzykiem obrażeń. Czynniki ryzyka występującymi w pracy ratownika medycznego są czynniki ergonomiczne, psychologiczne i biomechaniczne. Zapewnienie ergonomicznych warunków pracy ratownika medycznego jest działaniem priorytetowym i wymaga – zarówno w procesie projektowania, jak i w czasie eksploatacji karetki – przeprowadzenia diagnozy stanu faktycznego w celu przedstawienia niezbędnych zaleceń modernizacyjnych. Identyfikacja obciążeń umożliwi zaprojektowanie ergonomicznego wnętrza ambulansu, które zapewni komfort i niezawodność pracy członkom zespołu ratownictwa medycznego, a tym samym zmniejszy ryzyko obrażeń. **Materiał i metody:** Autorzy artykułu opracowali kompleksową metodykę oceny uciążliwości występujących podczas pracy ratownika medycznego, która wymagała przeprowadzenia specjalistycznych badań wstępnych. Obejmowały one pomiar i analizę kinematyki ruchu ratownika medycznego podczas typowych zabiegów medycznych, zarówno na postoju, jak i podczas jazdy ambulansem. Do analizy kinematyki ruchu wykorzystano nieinwazyjną metodę z zastosowaniem systemu myoMotion, a badanie przeprowadzono w ambulansie marki Mercedes. **Wyniki:** Artykuł zawiera wstępne wyniki dotyczące oceny kinematyki ruchu. Wykazano konieczność przyjmowania przez ratownika pozycji wymuszonych podczas wykonywania zabiegów medycznych. Zakresy ruchu poszczególnych części ciała odbiegały od przyjętych norm, co powodowało przeciążenia układu mięśniowo-szkieletowego. **Wnioski:** Uzyskana wiedza stanowi podstawę dokładnej analizy czynności wykonywanych w ramach każdej procedury z perspektywy struktury przestrzennej ambulansu, rozmieszczenia w nim sprzętu i zaopatrzenia medycznego, ich dostępności podczas pracy oraz organizacji samej pracy w ambulansie. Dodatkowa identyfikacja obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego ratownika, jego źródła, a także sformułowanie zaleceń dotyczących modyfikacji wnętrza ambulansu pozwoli zapewnić komfort i niezawodność pracy członkom zespołów ratownictwa medycznego, zmniejszając tym samym ryzyko urazów przy pracy. *Med Pr Work Health Saf.* 2024;75(1):31–44

Słowa kluczowe: ratownik medyczny, ergonomia, obciążenie pracą, ambulans, kinematyka ruchu ciała, badania myoMotion

ABSTRACT

Background: The work of a paramedic, is characterised by a high risk of injury. Ergonomic, psychological, and biomechanical factors are considered risk factors in the profession of emergency medical technicians. Ensuring ergonomic working conditions for emergency medical technicians is a priority and requires a thorough assessment both in the design process and during the operation of the ambulance, to provide a diagnosis of the current state and present necessary recommendations for modernization. Identifying stressors will enable the design of an ergonomic interior for the ambulance, ensuring comfort and reliability for members of the emergency medical team, thereby reducing the risk of injuries. **Material and Methods:** The authors of this article developed a comprehensive methodology for assessing the nuisances occurring during the paramedic's work, which required specialised preliminary research. The research included the measurement and analysis of the paramedic's movement kinematics during typical medical procedures, both at a standstill and while driving the ambulance. For the analysis of motion kinematics, a non-invasive method called myoMotion was employed, and the study was conducted in a Mercedes ambulance. **Results:** This article contains preliminary results on the evaluation of movement kinematics. These demonstrated the necessity for the paramedic to adopt forced positions when performing medical procedures. The ranges of movement of the individual body parts of the paramedic deviated from accepted norms, resulting in musculoskeletal overload. **Conclusions:** The acquired knowledge forms the basis for a detailed analysis of tasks performed within each procedure from the perspective of the spatial structure of the ambulance, the arrangement of equipment and medical supplies, their accessibility during work, and the organization of work within the ambulance. Additional identification of musculoskeletal system stress, its sources, and the formulation of modification recommendations for the ambulance interior will enable ensuring the comfort and reliability of the work for emergency medical teams, thereby reducing the risk of injuries in the workplace. *Med Pr Work Health Saf.* 2024;75(1):31–44

Key words: paramedic, ergonomics, workload, ambulance, body movement kinematics, research myoMotion

Autorka do korespondencji / Corresponding author: Sylwia Bęczkowska, Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, e-mail: sylwia.beczowska@pw.edu.pl
Nadesłano: 25 września 2023, zatwierdzono: 7 grudnia 2023

WSTĘP

Ratownik medyczny to z definicji osoba wykonująca zawód medyczny, uprawniona w szczególności do udzielania świadczeń zdrowotnych w sytuacji bezpośredniego, nagłego stanu zagrożenia życia lub zdrowia człowieka [1–3]. Udzielając pomocy, ratownik medyczny jest narażony na zagrożenia, które w różnym stopniu wpływają na ryzyko zawodowe. W pracy ratownika medycznego występują czynniki ryzyka: fizyczne, chemiczne, biologiczne i psychospołeczne. Niektórzy badacze wymieniają także czynniki ergonomiczne, takie jak: obciążenie psychiczne, wysiłek fizyczny, materialne środowisko pracy, praca o zmiennych porach dnia i ograniczona struktura przestrzenna karetki [2].

Ze względu na charakter wykonywanej pracy ratownicy medyczni narażeni są także na czynniki, które mogą mieć bezpośredni lub pośredni wpływ na ryzyko wypadku przy pracy [4,5]. W Stanach Zjednoczonych wykazano, że pracownicy ratownictwa medycznego są bardziej narażeni na wypadki niż pracownicy innych sektorów gospodarki [5]. Na podstawie danych można stwierdzić, że ratownicy medyczni stanowią grupę zawodową o podwyższonym ryzyku wypadków przy pracy. W Australii ryzyko to było sześciokrotnie wyższe niż w innych grupach zawodowych, a w Stanach Zjednoczonych wskaźnik śmiertelności wśród ratowników medycznych podczas wykonywania procedur medycznych był ponaddwukrotnie wyższy niż we wszystkich innych zawodach [4].

Zadaniem ratownika medycznego jest przeprowadzanie zabiegów medycznych na pacjencie, podejmowanie szybkich i rzetelnych decyzji ratujących jego życie oraz współpraca z zespołem. Zapewnienie ratownikom ergonomicznych warunków pracy i zminimalizowanie czynników mogących mieć wpływ ich na zmęczenie zwiększa ich bezpieczeństwo i komfort. W niektórych publikacjach pisano o wysokim wskaźniku urazów wśród personelu medycznego udzielającego pomocy w zespołach ratownictwa medycznego [5–8]. Częstość występowania urazów spowodowanych np. podniesieniem pacjentów lub sprzętu medycznego jest wysoka i stanowi istotny problem [9,10].

W związku z obowiązkami zawodowymi ratownicy często doświadczają także przeciążeń układu mięśniowo-szkieletowego. Skutkują one dolegliwościami ze strony układu mięśniowo-szkieletowego, które są jedną z najczęstszych przyczyn absencji w pracy [11–16]. Dolegliwości narządu ruchu podczas zabiegów medycznych wynikają najczęściej z długotrwałego utrzymywania niewłaściwych, bardzo stresujących, statycznych pozycji

ciała. Wielogodzinne utrzymywanie ciała w wymuszonej pozycji podczas pracy może skutkować bólem, złym samopoczuciem i zwiększoną podatnością na kontuzje [17]. Może także prowadzić do mikrourazów kręgosłupa z późniejszymi powikłaniami w postaci jego przeciążeń i zmian zwyrodnieniowych [18]. Wyniki badania ankietowego przeprowadzonego wśród 120 ratowników medycznych zatrudnionych w stacjach pogotowia ratunkowego na Lubelszczyźnie od czerwca do września 2014 r. wskazują, że ból pleców (11,7%) jest główną przyczyną zgłaszania się do lekarza [19]. Wyniki ankiet przeprowadzonych wśród 70 ratowników medycznych w wieku 24–56 lat, pracujących zmianowo na terenie Wielkopolski, również potwierdzają występowanie dolegliwości bólowych kręgosłupa. Większość ratowników (62%) zadeklarowała, że ból występuje nawet kilka razy w miesiącu, 17% ankietowanych skarżyła się na dolegliwości ze strony kręgosłupa nie częściej niż raz w tygodniu, a u 13% badanych ból zlokalizowany w odcinku lędźwiowo-krzyżowym, szyjnym i piersiowym występował nawet kilka razy w tygodniu. Warto zaznaczyć, że przed podjęciem pracy w zawodzie ratownika zdecydowana większość badanych (94%) nie odczuwała żadnych dolegliwości bólowych kręgosłupa. Jako główną przyczynę pogorszenia stanu zdrowia respondenci podali m.in. dźwiganie (31%), utrzymywanie wymuszonej pozycji (23%), skłony tułowia w przód (16%) i długotrwałe stanie (21%) [18].

W badaniu przeprowadzonym w Arabii Saudyjskiej, w którym zastosowano kwestionariusz dotyczący zaburzeń mięśniowo-szkieletowych *Nordic Musculoskeletal Questionnaire* (NMQ), oceniano poziom bólu mięśniowo-szkieletowego wśród 360 ratowników medycznych. Ból dolnej części pleców odczuwało 63% respondentów, kolana – 41,4%, szyi – 40,3%, górnej części pleców – 40%, a bioder/uda – 10,3% [9]. W wynikach innego badania, przeprowadzonego także w Arabii Saudyjskiej (również zastosowano NMQ), obejmującego 740 pracowników służby zdrowia, w tym ratowników medycznych, wskazywano głównie na ból dolnej części pleców (74% respondentów) [20].

Warto zauważyć, że ratowników medycznych brakuje na całym świecie. W Stanach Zjednoczonych roczna rotacja personelu wynosiła prawie 10% [21,22]. W niedawno przeprowadzonym w Niemczech badaniu wykazano podobne, niepokojąco wysokie wartości [23]. Aż 54% niemieckich ratowników medycznych rozważało opuszczenie stanowiska pracy w zespołach ratownictwa medycznego w 2022 r., a 46% z nich było niezadowolonych ze swojej pracy [24].

Ratownictwo medyczne uznawane jest za zawód, w którym pracownicy są regularnie narażeni na wysiłek fizyczny i niebezpieczeństwa o różnym charakterze [24]. Minimalizacja negatywnych skutków pracy jest możliwa: konieczne jest dostosowanie stanowiska pracy do potrzeb i możliwości psychofizjologicznych pracowników. Można to osiągnąć, stosując zasady ergonomii w procesie projektowania wnętrza karetki lub podczas działań modernizacyjnych. Zapewnienie ergonomicznych warunków pracy powinno być priorytetem, ponieważ mają one wpływ na niezawodność pracy, a tym samym minimalizują prawdopodobieństwo wystąpienia błędów medycznych. Takie działania wpływają również na zmniejszenie częstości występowania urazów i dolegliwości narządu ruchu ratowników medycznych, co w efekcie zwiększa bezpieczeństwo ich pracy.

Zadania ratownika medycznego obejmują szeroki zakres obowiązków i bardzo trudno jest wskazać jedno konkretne miejsce jego pracy: działa on wszędzie tam, gdzie potrzebna jest jego pomoc. Wyniki badań prowadzonych w wielu krajach pokazują, że czas spędzony w kabinie ambulansu podczas wykonywania zabiegów medycznych stanowi ok. 44% czynnej pracy poświęconej pomocy pacjentowi [25]. Według definicji karetka (ambulans) to środek transportu wysyłany na miejsce nagłego zachorowania albo wypadku, przeznaczony do udzielania pomocy oraz przewozu chorych lub rannych z miejsca zdarzenia do szpitala, często służący również do transportów medycznych i międzyszpitalnych. Ambulanse są obsługiwane przez specjalnie przeszkolone zespoły ratownicze i stanowią część systemu reagowania kryzysowego [26].

Biorąc pod uwagę, że większość zabiegów ratownicy medyczni wykonują w ambulansie, autorzy niniejszego artykułu ograniczyli swoje rozważania wyłącznie do tego miejsca pracy [27–29]. Jak wspomniano, przyczyną rozwoju dolegliwości narządu ruchu ratowników medycznych jest zmęczenie mięśni związane z wykonywaniem różnych zabiegów medycznych w wymuszonej, nienaturalnej pozycji ciała [30–32]. Oznacza to, że zmniejszenie tego obciążenia może pomóc wyeliminować lub ograniczyć występujące dolegliwości narządu ruchu. Dlatego istotne jest opracowanie kompleksowej oceny obciążenia ratownika medycznego pracą i właściwy dobór metod uzyskiwania danych do diagnozy stanu faktycznego [11].

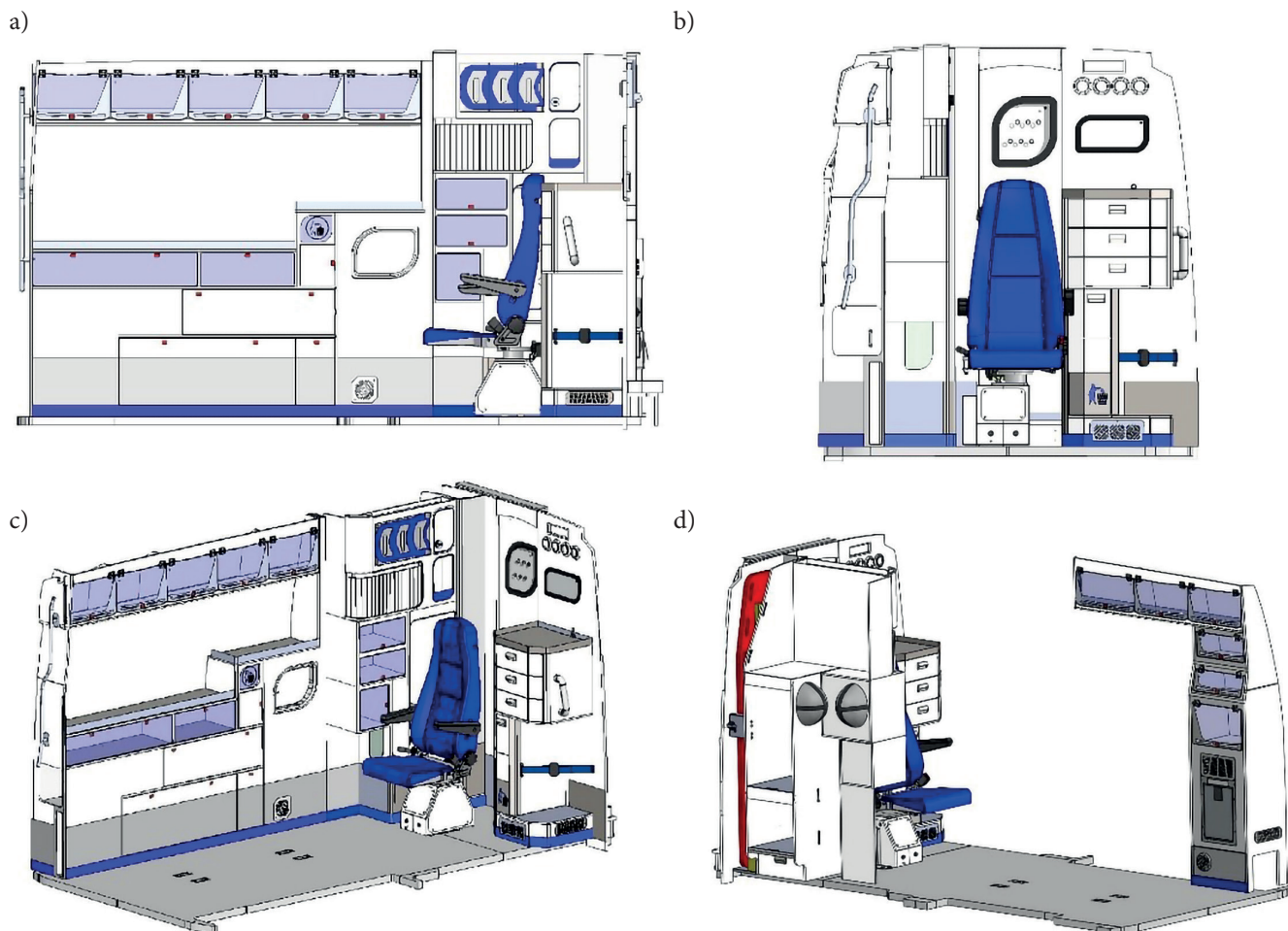
Dotychczasowe doświadczenia autorów niniejszej pracy pozwoliły na opracowanie kompleksowej metody oceny analizowanego stanowiska [33]. Warto podkreślić, że metody zastosowane w przeprowadzonym

badaniu nie były wcześniej stosowane w ocenie obciążenia pracą w zawodzie ratownika medycznego. Wstępne badania zrealizowano w rzeczywistych warunkach pracy ratownika. W okresie pandemii występowały trudności związane z udostępnieniem ambulansu medycznego z zespołem ratowników medycznych. Mimo to badanie przeprowadzono, korzystając z pomocy Samodzielnego Publicznego Zakładu Opieki Zdrowotnej „RM-MEDITRANS” w Siedlcach. Dyspozycyjność ambulansów była uzależniona od intensywności odbieranych wezwań wymagających interwencji medycznej, ponieważ oddelegowani do badania ratownicy medyczni pełnili dyżur, co w oczywisty sposób świadczyło o ich ewentualnej gotowości do udziału w akcji ratowniczej w razie konieczności.

Pomiarów dokonano w ambulansie marki Mercedes. Warto podkreślić, że wybór marki pojazdu nie był przypadkowy. Ambulanse różnych marek mają różne wymiary przestrzeni roboczej. Na podstawie wywiadów z ratownikami stwierdzono, że w tej marce przestrzeń robocza jest większa i wygodniejsza niż w innych pojazdach. Ponadto w Polsce najpopularniejsze jako karetki są furgony takie jak Mercedes Sprinter. Widok wnętrza ambulansu w kilku płaszczyznach przedstawia rycina 1.

W ramach opracowanej metody kompleksowej oceny stanowiska pracy ratownika medycznego pod kątem poziomu ergonomii założono następujące sposoby uzyskiwania danych:

- wykorzystanie autorskiej ankiety / listy kontrolnej identyfikującej niedogodności towarzyszące ratownikowi podczas udzielania pomocy pacjentowi w trakcie transportu do szpitala i przeprowadzania badania na reprezentatywnej grupie ratowników;
- pomiar zakresów ruchu ciała ratownika medycznego za pomocą czujnika inercyjnego (myoMotion, Noraxon, Arizona, USA) rejestrującego kinematykę ruchu;
- identyfikacja najbardziej zaangażowanych mięśni i poziomu ich aktywności w zadanej konfiguracji kabiny ambulansu – pomiary napięcia mięśni metodą elektromiografii powierzchniowej (EMG) podczas wykonywania typowych procedur medycznych na fantomach;
- rejestracja i analiza rzeczywistej pracy ratownika medycznego w celu oceny ryzyka obciążeń układu mięśniowo-szkieletowego (*Rapid Entire Body Assessment* – REBA);
- weryfikacja antropometryczna przedziału medycznego ambulansu na podstawie dostępnych pakietów symulacyjnych.



Rycina / Figure: Daniel Celiński

Rycina 1. Widok wnętrza ambulansu w różnych przekrojach i rzutach: a) rzut boczny, b) rzut z przodu, c–d) rzut ukośny
Figure 1. View of the interior of the ambulance in different sections and projections: a) side view, b) front view, c–d) oblique view

W artykule przedstawiono tylko analizę wyników uzyskanych techniką pomiarową myoMotion dla wybranych procedur medycznych. Już wstępne wyniki wykazały znaczne odchylenia zakresów ruchu stawów od wartości przyjętych za normalne, określonych w obowiązujących normach (tabela 1) [34].

MATERIAŁ I METODY

Głównym problemem w procesie uzyskiwania danych odzwierciedlających obciążenie i zmęczenie układu mięśniowo-szkieletowego oraz danych o pozycji przy pracy podczas czynności medycznych jest konieczność ograniczania się do metod nieinwazyjnych, czyli takich, które nie ingerują w ciało badanego. Metody te powinny także umożliwiać pomiary w czasie rzeczywistym, nie ograniczając możliwości wykonywania pracy. W przypadku przedstawianych badań za odpowiednią metodę uznano rejestrację kinematyki ruchu poszczególnych

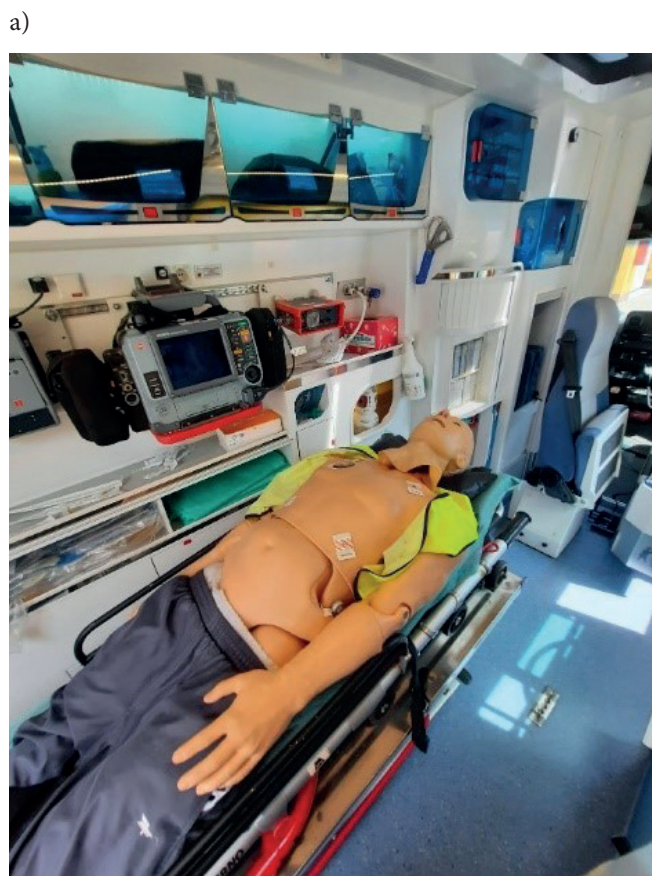
segmentów ciała podczas czynności medycznych, pozwalającą ocenić stopień wymuszenia pozycji ciała pracownika. Pomiary kinematyki ruchu wykonywano na postoju, a obciążenie mięśniowe – podczas przejazdu ambulansu ulicami miasta. Podejście to odzwierciedlało rzeczywiste warunki pracy.

Autorzy w artykule ograniczyli się do przedstawienia wyników badań dotyczących pozycji ciała, jakie ratownicy muszą przyjmować podczas wykonywania procedur medycznych. Opierając się na wcześniejszych doświadczeniach, zdecydowano się wykorzystać nieinwazyjną metodę z zastosowaniem systemu myoMotion [33]. Przed przeprowadzeniem pomiarów wybrano procedury medyczne najczęściej wykonywane w ambulansach z udziałem ratowników medycznych. W rezultacie w pracy badawczej dokonano analizy 17 procedur, które trwały 2–5 min. Procedury te wykonywał instruktor – ratownik medyczny, zgodnie z przyjętymi zasadami medycznymi. Został on wyposażony w czujniki

Tabela 1. Normalne zakresy ruchu według Międzynarodowego Standardu Pomiaru Ortopedycznego (International Standard of Orthopedic Measurement – ISOM)
Table 1. Normal ranges of motion according to International Standard of Orthopedic Measurement (ISOM)

Staw/segment i płaszczyzna ruchu Joint/segment and plane of motion	Rodzaj ruchu Type of motion		Norma wg ISOM ISOM norm [degree]
	(-)	(+)	
Kręgosłup szyjny / Cervical spine			
strzałkowa / sagittal	wyprost / extension	0 zgięcie / flexion	40–0–40
czołowa / frontal	zgięcie boczne w lewo / left lateral bending	0 zgięcie boczne w prawo / right lateral bending	45–0–45
rotacja / rotation	rotacja osiowa w lewo / left axial rotation	0 rotacja osiowa w prawo / right axial rotation	50–0–50
Kręgosłup piersiowy / Thoracic spine			
strzałkowa / sagittal	wyprost / extension	0 zgięcie / flexion	25–0–35
czołowa / frontal	zgięcie boczne w lewo / left lateral bending	0 zgięcie boczne w prawo / right lateral bending	25–0–25
rotacja / rotation	rotacja osiowa w lewo / left axial rotation	0 rotacja osiowa w prawo / right axial rotation	30–0–30
Kręgosłup lędźwiowy / Lumbar spine			
strzałkowa / sagittal	wyprost / extension	0 zgięcie / flexion	15–0–50
czołowa / frontal	zgięcie boczne w lewo / left lateral bending	0 zgięcie boczne w prawo / right lateral bending	20–0–20
rotacja / rotation	rotacja osiowa w lewo / left axial rotation	0 rotacja osiowa w prawo / right axial rotation	5–0–5
Kręgosłup lędźwiowo-piersiowy / / Lumbar-thoracic spine			
strzałkowa / sagittal	wyprost / extension	0 zgięcie / flexion	30–0–85 (35–0–85) ^a
czołowa / frontal	zgięcie boczne w lewo / left lateral bending	0 zgięcie boczne w prawo / right lateral bending	30–0–30 (45–0–45) ^a
rotacja / rotation	rotacja osiowa w lewo / left axial rotation	0 rotacja osiowa w prawo / right axial rotation	45–0–45 (35–0–35) ^a
Biodro / Hip			
strzałkowa / sagittal	wyprost / extension	0 zgięcie / flexion	15–0–125
czołowa / frontal	odwodzenie / abduction	0 przywodzenie / adduction	45–0–25
rotacja / rotation	rotacja zewnętrzna / external rotation	0 rotacja wewnętrzna / internal rotation	45–0–40

^a Przyjęto z / Adopted from: Ferguson [34].



Zdjęcia / Photo: Sylwia Bęczkowska

Rycina 2. Stanowisko badawcze: a) wnętrze ambulansu z pełnym wyposażeniem medycznym, b) ratownik wykonujący procedurę medyczną na symulatorze medycznym

Figure 2. Test site: a) the interior of an ambulance with full medical equipment, b) a paramedic performing a medical procedure on a medical simulator

rozmeszczone w precyzyjnie określonych miejscach, dzięki czemu była możliwa rejestracja wartości wybranych parametrów. Należy jeszcze raz podkreślić, że badania te miały charakter wstępny, a ich celem było zidentyfikowanie pozycji ciała przyjmowanych przez ratownika medycznego podczas zabiegów oraz stopnia ich odchylenia od pozycji uznawanych za normalne (fizjologiczne).

W pracy przedstawiono wyniki tylko 5 z 17 procedur: unieruchomienia kończyny dolnej (P1), unieruchomienia kończyny górnej (P2), przeprowadzania badania EKG (P3), wentylacji pacjenta (P4) i farmakoterapii pacjenta (P5), ponieważ w ich przypadku stwierdzono największe przekroczenia zakresów ruchu względem obowiązujących norm (tabela 1), co oznaczało konieczność przyjmowania podczas pracy wymuszonych pozycji [34].

Stanowisko badawcze znajdowało się w ambulansie, a procedury wykonywane przez doświadczonego ratownika medycznego na symulatorze medycznym od-

grywającym rolę pacjenta były identyczne jak zabiegi wykonywane w warunkach rzeczywistych (rycina 2).

Procedury medyczne

Procedury medyczne, takie jak unieruchomienie kończyny dolnej oraz unieruchomienie kończyny górnej, zostały wykonane w podobny sposób. Ratownik medyczny wykonał czynności w pozycji stojącej i często przyjmował pozycję pochyloną. W celu unieruchomienia kończyn zastosował specjalne druciane szyny, tzw. szyny Kramera. Szyny zostały ściśle zabandażowane. Unieruchomienie obejmowało co najmniej 2 sąsiadujące stawy, poniżej i powyżej miejsca złamania, bez próby nastawienia złamania. Działanie to zapobiega przemieszczaniu odłamów kostnych względem siebie oraz zmniejsza dolegliwości bólowe w miejscu złamania [35].

Kolejną analizowaną procedurą medyczną było badanie elektrokardiograficzne (EKG). Ratownik wykonywał je również w pozycji stojącej, umieszczając zgodnie z procedurą na klatce piersiowej symulatora medycznego

elektrody, które zbierały informacje o elektrycznej pracy serca. W badaniu zastosowano defibrylator Lifepak 15 (Physio-Control, Redmond, USA) będący na wyposażeniu zespołu ratownictwa medycznego [36].

Kolejną analizowaną procedurą była wentylacja pacjenta za pomocą worka samorozprężalnego. Ratownik wykonywał ją w pozycji stojącej. Użył rurki ustno-gardłowej. Wentylacja polegała na uciskaniu worka samorozprężalnego z zachowaniem szczelności i utrzymywaniu drożnych dróg oddechowych.

Procedurę farmakoterapii, czyli podania leków drogą dożylną, ratownik medyczny wykonywał w 2 pozycjach – stojącej i siedzącej. Dożylne podanie leku odbywało się w pozycji siedzącej, a podłączenie tzw. kroplówki w pozycji stojącej: ratownik zawiesił ją na specjalnym mocowaniu umieszczonym w podsufitce ambulansu.

Rejestracja kinematyki ruchu podczas czynności medycznych

Badane zakresy ruchu

anatomicznych kątów elementów (stawów) ciała

Badaniami eksperymentalnymi objęto 31 kątów anatomicznych elementów ciała (stawów), zarówno po lewej, jak i po prawej stronie ciała. W artykule przeanalizowano 15 z nich. Badane kąty wskazano w tabeli 2.

Aparatura pomiarowa

W badaniach wykorzystano system myoMotion łączący technologię bezprzewodowej transmisji danych i inercyjnych czujników (*inertial measurement unit* – IMU) umożliwiających ocenę dowolnego ruchu w 3D. System składa się z zestawu czujników i akcesoriów oraz z oprogramowania umożliwiającego zarówno rejestrację danych, jak i ich kompleksową analizę. Jego dokładne parametry opisano w instrukcji [37,38].

Wybór systemu myoMotion został poprzedzony analizą jego zastosowań. Najczęściej jest on wykorzystywany w badaniach sportowców (do opracowania skutecznego programu treningowego) lub w medycynie (do oceny kinematyki ruchu kończyn dolnych lub górnych po zabiegach medycznych) [33]. System ten wykorzystano także na Akademii Wychowania Fizycznego w Poznaniu w badaniu weryfikującym i wykazano zasadność naukową oraz jego wysoką dokładność w wyznaczaniu kątów anatomicznych ($\pm 0,4^\circ$ dla analizy statycznej i $\pm 1,2^\circ$ dla analizy dynamicznej). System umożliwia także dokonywanie pomiarów podczas wykonywania pracy na rzeczywistych stanowiskach pracy, nie ograniczając przy tym pracy pracownika, ani nie ingerując w jego ciało [38].

Tabela 2. Zestawienie badanych kątów anatomicznych segmentów ciała

Table 2. Summary of studied anatomical angles of body segments

Kąt anatomiczny segmentów ciała	Anatomical angle of body segments
Odcinek szyjny / Cervical segment	
1) zgięcie	flexion
2) zgięcie boczne	lateral RT
3) rotacja	axial RT
Odcinek lędźwiowy / Lumbar segment	
4) zgięcie	flexion
5) zgięcie boczne	lateral RT
6) rotacja	axial RT
Odcinek piersiowy / Thoracic segment	
7) zgięcie	flexion
8) zgięcie boczne	lateral RT
9) rotacja	axial RT
Staw biodrowy / Hip	
zgięcie	flexion
10) lewy	LT
11) prawy	RT
odwodzenie	abduction
12) lewy	LT
13) prawy	RT
rotacja zewnętrzna	external rotation
14) lewy	out LT
15) prawy	out RT

LT – skręt w lewo / left turn, RT – skręt w prawo / right turn.

Procedura badawcza

Określenie kątów anatomicznych odbyło się zgodnie z zasadami medycznej metody neutralnej/zerowej. Zakłada się, że u człowieka stojącego w pozycji wyprostowanej wszystkie stawy znajdują się w pozycji zerowej, nawet jeżeli ma miejsce odstępstwo od geometrycznego kąta zerowego (np. geometryczny kąt w stawie skokowym wynosi 90° , a anatomiczny 0°).

Każdy czujnik ma etykietę osi X, Y i Z. Wszystkie czujniki zostały umieszczone na segmentach ciała w taki sposób, aby w pozycji stojącej wektor osi X na etykietce czujnika był skierowany pionowo wzdłuż osi działania siły grawitacji. Na ciele badanego ratownika medycznego umieszczono czujniki IMU, które rejestrowały przyspieszenia zgodnie z protokołem myoMotion opisanym w instrukcji obsługi [38].



Zdjęcia / Photo: Sylwia Bęczkowska

A – ramię / arm, B – przedramię / forearm, C – udo / thigh, D – łydka / calf, E – miednica / pelvis, F – dolny odcinek kręgosłupa / lower spine, G – górny odcinek kręgosłupa / upper spine.

Badanie wykonane za pomocą oprogramowania MR.10 (Noraxon, Arizona, USA)

Rycina 3. Rozmieszczenie czujników na badanym ratowniku medycznym

Figure 3. Placement of sensors on the tested paramedic

W przypadku realizowanego badania czujniki umieszczono na 11 segmentach ciała, zgodnie z instrukcją oprogramowania MR3 (Noraxon, Arizona, USA). Zostały zamocowane symetrycznie po prawej i lewej stronie ciała. W przypadku kończyn górnych czujniki umieszczano na ramionach (przyczep boczny w środku kości ramiennej) i przedramionach (przyczep boczny w środku kości ramiennej). Na kończynach dolnych mocowano je w dolnej części nogi (przednia powierzchnia kości piszczelowej), na udzie (przyczep przedni do mięśnia czworogłowego dolnego, nieco powyżej rzepki w miejscu najmniejszego przemieszczenia brzośca mięśnia podczas ruchu) oraz na kręgosłupie lędźwiowym i krzyżowym. Jeden czujnik umieszczono także z tyłu głowy. Rozmieszczenie czujników IMU pokazano na rycinie 3.

Umieszczając poszczególne czujniki na 2 sąsiednich segmentach ciała, można ocenić zakres ruchu (*range of motion* – ROM) stawu leżącego pomiędzy tymi segmentami. Tę zasadę działania można łatwo rozszerzyć: od pomiaru ruchu pojedynczego stawu do jednoczesnego pomiaru ruchu całego ciała we wszystkich badanych stawach. Częstotliwość próbkowania czujników inercyjnych ustalono na 200 Hz. Poszczególne czujniki mają identyczną funkcjonalność, jednak są identyfikowane w systemie poprzez unikalny numer seryjny. Czujniki myoMotion przesyłają dane o ruchu ciała człowieka bezpośrednio do odbiornika, którego moduł zapewnia bezprzewodową komunikację z IMU na częstotliwości 2,4 GHz i ma typowy zasięg działania 30 m. System myoMotion jest całkowicie bezprzewodowy [38]. Dzięki temu rejestracja wartości parametrów odbywała się w kabinie obok kierowcy, bez ograniczania przestrzeni pracy ratownika medycznego wykonującego procedury medyczne. Wszystkie czujniki były przymocowane do ciała specjalnymi pasami. Po umieszczeniu czujników w odpowiednich miejscach następowała ich kalibracja. W trakcie kalibracji badany ratownik musiał stać nieruchomo we wskazanej pozycji (pozycja wyprostowana, stopy na szerokości bioder, ręce wzdłuż ciała na szerokości ramion). Po kalibracji ratownik przystąpił do wykonania 5 procedur medycznych na symulatorze medycznym umieszczonym w opisanym ambulansie.

Kryteria oceny

Zakres ruchu to zdolność stawu do wykonywania pełnego spektrum ruchów. Zakres ruchu stawu może być bierny lub aktywny. Każdy staw ma określoną normalną wartość ROM – różną dla różnych osób.

W artykule przedstawiono wyniki dotyczące 15 ROM kręgosłupa (szyjnego, piersiowego, lędźwiowego) oraz bioder. Tabela 2 przedstawia ogólnie przyjęte wartości normalnych zakresów ruchu dla każdego z tych stawów [34].

WYNIKI

Zmierzono wartości zakresów kątowych analizowanych ruchów oraz wartości przekroczeń zakresów normalnych dla wykonywanych procedur medycznych przedstawiono w tabeli 3.

Większość uzyskanych wartości zakresów ruchu nie mieści się w fizjologicznych zakresach podanych w normach przedstawionych w tabeli 2.

Na rycinie 4 wskazano stawy najbardziej obciążone wymuszoną pozycją ciała podczas wykonywania procedur medycznych.

Tabela 3. Wartości zmierzonych zakresów analizowanych ruchów oraz wartości przekroczeń zakresów normalnych dla poszczególnych procedur medycznych
Table 3. Values of measured ranges of analyzed movements and values of exceeded normal range for individual medical procedures

Segment ciała i rodzaj ruchu Body segment and type of movement	Zakres ruchu Range of motion [degree]									
	P1		P2		P3		P4		P5	
	ZW	P	ZW	P	ZW	P	ZW	P	ZW	P
Odcinek szyjny / Cervical segment										
1) zgięcie / flexion	33,32	-	35,37	-	79,86	7,36 (+)	36,72	-	54,26	0,34 (+)
2) zgięcie boczne / lateral flexion	49,34	-	40,03	-	103,8	54,62 (-)	35,3	-	60,67	-
3) rotacja / rotation	84,45	-	89,41	3,51 (+)	144,1	69,68 (-)	85,32	-	126,8	52,33 (-)
Odcinek lędźwiowy / Lumbar segment										
4) zgięcie / flexion	56,29	5,06 (+)	53,55	1,85 (+)	44,08	-	73,98	5,96 (+), 3,02 (-)	41,01	-
5) zgięcie boczne / lateral flexion	30,09	1,97 (-)	55,71	1,45 (+), 1,427 (-)	27,3	-	47,17	0,56 (+), 6,61 (-)	30,15	-
6) rotacja / rotation	27,87	11,47 (+), 6,39 (-)	105,5	96,43 (-)	24,39	14,71 (-)	40,99	10,99 (+), 20,02 (-)	58,39	22,58 (+), 25,81 (-)
Odcinek piersiowy / Thoracic segment										
7) zgięcie / flexion	57,89	0,98 (-)	44,03	-	61,76	13,34 (+)	115,5	54,87 (+), 10,61 (-)	45,62	-
8) zgięcie boczne / lateral flexion	71,92	2,55 (+), 19,36 (-)	57,26	9,11 (+)	48,29	15,35 (-)	96,99	41,62 (+), 5,37 (-)	42,5	3,0 (-)
9) rotacja / rotation	68,92	9,79 (-)	78,16	24,17 (+)	80,42	32,55 (-)	150,2	110,53 (+)	83,6	24,22 (-)
Staw biodrowy / Hip										
zgięcie / flexion										
10) lewy / left	101	61,63 (-)	67,6	-	74,64	-	168,7	105,7 (-)	68,02	34,45 (-)
11) prawy / right	115,4	50,51 (-)	79,81	0,8 (-)	74,52	-	103,3	28,66 (-)	55,76	3,29 (-)
odwodzenie / abduction										
12) lewy / left	84,87	5,23 (+), 9,64 (-)	51,16	8,3 (+)	35,18	-	123,3	27,23 (+), 24,02 (-)	43,31	4,79 (+)
13) prawy / right	100,2	20,79 (+), 9,46 (-)	65,57	-	45,46	-	145,8	45,62 (+), 30,22 (-)	47,88	-
rotacja zewnętrzna / external rotation										
14) lewy / left	137,1	64,76 (+)	49,32	1,22 (+)	63,2	-	85,89	10,98 (+)	212,8	101,9 (+), 25,87 (-)
15) prawy / right	230,9	-	49,91	-	101,8	38,98 (-)	50,96	-	111	-

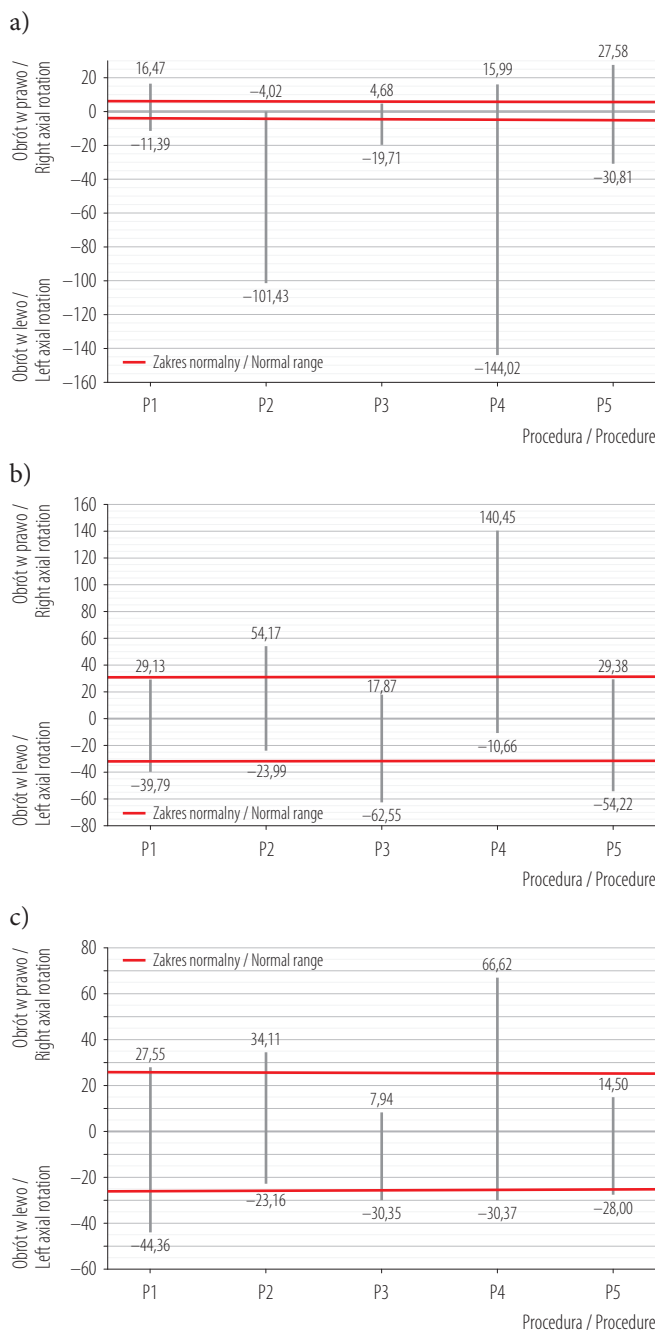
P – wartość przekroczenia zakresu normalnego / value of exceeding the normal range, ZW – wartość zmierzona / measured value.

P1 – unieruchomienie kończyny dolnej / immobilization of the lower limb, P2 – unieruchomienie kończyny górnej / immobilization of the upper limb, P3 – przeprowadzenie badania EKG / conducting EKG examination,

P4 – wentylacja pacjenta / patient ventilation, P5 – farmakoterapia / pharmacotherapy.

(+) (-) Zakres przekroczenia normy, zgięcia w lewo lub w prawo / Range of deviation from the norm in left or right flexion.

Obszary zaznaczone na szaro wskazują wartości przekraczające normalny zakres ruchu / Areas highlighted in grey indicate values exceeding the normal range of movement.



P1 – unieruchomienie kończyny dolnej / immobilization of the lower limb,
 P2 – unieruchomienie kończyny górnej / immobilization of the upper limb,
 P3 – przeprowadzenie badania EKG / conducting EKG examination,
 P4 – wentylacja pacjenta / patient ventilation, P5 – farmakoterapia / pharmacotherapy

Rycina 4. Zakresy rotacji odcinka a) lędźwiowego i b) piersiowego oraz c) zgięcia bocznego odcinka piersiowego podczas wykonywania poszczególnych procedur

Figure 4. Range of a) lumbar and b) thoracic segment rotation and c) lateral thoracic flexion during each procedure

Analiza wykresów (rycyna 4) wykazała negatywny wpływ procedur unieruchomienia kończyny górnej (P2) i wentylacji pacjenta (P4) na pozycję przy pracy: charak-

teryzuje się ona znacznym wymuszeniem wynikającym z przekroczeń normalnego zakresu ruchu w stawach.

W trakcie wykonywania procedury unieruchomienia kończyny dolnej (P1) wartości zmierzonych zakresów ruchu dla zgięcia odcinka lędźwiowego, rotacji odcinka lędźwiowego i zgięcia bocznego odcinka piersiowego (rycyna 4), odwodzenia stawu biodrowego lewego i prawego nie mieszczą się w wartościach określonych w normach (tabela 2). Najbardziej nienaturalne położenie przyjmują stawy biodrowe: są zgięte o 64° (tabela 3).

Wykonywanie procedury unieruchomienia kończyny górnej (P2) najbardziej obciąża odcinek lędźwiowy kręgosłupa, którego rotacja przekracza zakres normalny o 96° (rycyna 4).

Podczas wykonywania EKG (P3) wykazano istotne przekroczenia zakresu normalnego dla odcinka szyjnego, tzn. zgięcia bocznego i rotacji, a także rotacji odcinka piersiowego i rotacji zewnętrznej stawu biodrowego prawego (tabela 3). Wartości zmierzonych zakresów ruchu wymienionych stawów przekraczają o >50° normalne zakresy ruchu. Ta procedura w największym stopniu wpływa negatywnie na odcinek szyjny kręgosłupa.

Podczas wykonywania wentylacji (P4) tylko zakres ruchu odcinka szyjnego nie przekracza norm (tabela 3). W pozostałych stawach zakres jest przekroczony nawet o ok. 100° w przypadku rotacji odcinka piersiowego i zgięcia stawu biodrowego lewego (tabela 3).

Podczas wykonywania procedury farmakoterapii (P5) największe przekroczenia zarejestrowano podczas rotacji zewnętrznej stawu biodrowego lewego oraz rotacji odcinka szyjnego (tabela 3).

OMÓWIENIE

Prezentowane badania dotyczyły analizy kinematyki ruchu poszczególnych segmentów ciała ratownika medycznego wykonującego standardowe procedury medyczne w ambulansie na postoju. Pomiary przeprowadzono przy użyciu IMU systemu myoMotion, a celem badania było zidentyfikowanie niedogodności związanych z koniecznością przyjmowania przez ratownika medycznego podczas pracy wymuszonej pozycji ciała. Czynności związane z poszczególnymi procedurami wykonywane przez ratownika na symulatorze były identyczne z czynnościami wykonywanymi w warunkach rzeczywistych.

Analiza dostępnych publikacji wykazała powszechność zagrożeń, które mogą prowadzić do zwiększonego ryzyka wypadków. Zapewnienie bezpieczeństwa pracy wszystkim pracownikom, niezależnie od

wykonywanego zawodu, regulują przepisy krajowe i międzynarodowe. Organizacje takie jak Europejska Agencja Bezpieczeństwa i Zdrowia w Pracy (European Agency for Safety and Health at Work – EU-OSHA), Międzynarodowa Organizacja Pracy i Międzynarodowa Organizacja Zdrowia (World Health Organization – WHO) w ostatnich latach nawoływały do wprowadzania działań służących ograniczeniu rosnącej liczby problemów zdrowotnych w miejscu pracy oraz do zwrócenia uwagi na nowe zagrożenia psychospołeczne. W wynikach badań przeprowadzonych i opublikowanych przez EU-OSHA [39] wskazano, że czynniki fizyczne, organizacyjne i psychospołeczne przyczyniają się do rozwoju u pracowników wielu problemów zdrowotnych związanych z pracą.

Obecnie coraz częściej pojawiające się problemy dotyczą schorzeń układu mięśniowo-szkieletowego związanych z pracą (*work-related musculoskeletal disorders* – WRMSD). Obejmują pracowników we wszystkich sektorach i zawodach. Mają nie tylko negatywny wpływ na zdrowie, ale są także przyczyną wysokich kosztów dla przedsiębiorstw i społeczeństwa. Ze wszystkich pracowników w Unii Europejskiej mających problemy zdrowotne związane z pracą 60% wskazuje WRMSD jako problem najpoważniejszy. Najczęstszymi rodzajami WRMSD zgłaszanymi przez pracowników są bóle pleców i mięśni ramion oraz szyi i kończyn górnych. Działania na rzecz poprawy warunków pracy oraz minimalizacji lub eliminacji zagrożeń związanych z WRMSD wymagają wnikliwej analizy, czyli zidentyfikowania uciążliwości mogących przyczyniać się do problemów narządu ruchu, których występowanie oceniający wielokrotnie potwierdzali w różnych badaniach [2].

Uzyskane w badaniu wyniki porównano ze standardami określającymi normalne zakresy ruchu, czyli takie, które nie powodują dyskomfortu podczas wykonywania. Z 31 zmierzonych kątów przedstawiono 15 obejmujących kręgosłup i biodra. Mała przestrzeń w karetku oraz dostęp do pacjenta tylko z jednej strony (dostęp od strony głowy został pominięty), a także rozmieszczenie w niej sprzętu i wyposażenia medycznego powodowały przyjmowanie przez ratownika podczas wykonywania czynności medycznych pozycji wymuszonych, charakteryzujących się przekraczaniem normalnego zakresu ruchu.

Specyfika zabiegów często wymagała rotacji w odcinku piersiowym i lędźwiowym kręgosłupa, a także w stawach biodrowych (szczególnie w przypadku zabiegów P2, P3 i P4, czyli unieruchomienia kończyny

górną, przeprowadzania badania EKG i wentylacji). W zasadzie wykonanie każdego zabiegu wymagało przyjęcia wymuszonej pozycji ciała i w każdym przypadku występowały nadmierne ruchy o charakterze rotacyjnym. Niektóre zabiegi obejmowały kilka pozycji: od wymuszonego stania po siedzenie w pozycji pochylonej (np. P5, czyli farmakoterapia). Praktycznie każdemu analizowanemu w artykule zabiegowi towarzyszył dyskomfort związany z przekroczeniem kilku lub większości zakresów ruchu w badanych odcinkach kręgosłupa i w stawie biodrowym. To skutkuje zaburzeniami układu mięśniowo-szkieletowego. W artykule przedstawiono tylko analizy dotyczące 5 procedur i wykazano przekroczenia prawidłowych zakresów ruchu w 15 z 31 badanych stawów. Podobne problemy w większym lub mniejszym stopniu wystąpią także w pozostałych przypadkach i będą przedmiotem dalszych badań.

Ograniczenia

Badania miały, jak wspomniano, charakter pilotażowy, o czym świadczy udział tylko 1 ratownika medycznego. Jego cechy antropometryczne (m.in. wzrost 184 cm i waga 87 kg) odpowiadały 95 centylowi siatki. Celem badań była identyfikacja i analiza pozycji, jakie przyjmują ratownicy medyczni podczas wykonywania procedur medycznych.

Badania kinematyki ruchu wykonywano na postoju. Przeanalizowano 17 typowych procedur, aby wskazać te, które w największym stopniu związane są z przyjmowaniem nieprawidłowej pozycji roboczej. W badaniach nie brano pod uwagę cech antropometrycznych ratownika, ale autorzy badania mają świadomość, że w populacji osób wykonujących ten zawód są osoby obu płci z przedziału 5–95 centyla. Dlatego te najbardziej złożone procedury będą analizowane pod kątem niezbędnych dla ich wykonania cech antropometrycznych.

Niewątpliwie dolegliwości wynikające z przyjmowania wymuszonej pozycji przy pracy będą miały różne natężenie w zależności od częstości wykonywania danych procedur podczas dyżuru, co również zostanie ujęte w kolejnych analizach.

WNIOSKI

Z przeprowadzonych badań wynika, że u ratowników medycznych występują przeciążenia narządu ruchu, które powstają na skutek przyjmowania wymuszonej pozycji podczas wykonywania zabiegów medycznych w ambulansie. Można zatem stwierdzić, że ryzyko

wystąpienia zaburzeń narządu ruchu u ratowników medycznych jest wysokie. Potwierdzają to badania przeprowadzone w tej grupie zawodowej.

W artykule przedstawiono wstępne wyniki, które stanowią punkt wyjścia do kolejnych działań służących opracowaniu i wdrożeniu wieloaspektowej metody użytkowania danych do ergonomicznej oceny pracy ratownika medycznego w ambulansie. Wiedza ta będzie podstawą dokładnej analizy czynności wykonywanych w ramach każdej procedury pod kątem struktury przestrzennej ambulansu, rozmieszczenia w nim sprzętu i zaopatrzenia medycznego oraz ich dostępności podczas pracy, a także organizacji pracy w ambulansie. Możliwa będzie identyfikacja obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego ratownika, źródeł tego obciążenia, a także sformułowanie zaleceń dotyczących modyfikacji wnętrza ambulansu tak, by zapewniało komfort i niezawodność członkom zespołów ratownictwa medycznego, zmniejszając tym samym ryzyko urazów przy pracy.

Wkład autorów

Koncepcja badań: Sylwia Bęczkowska, Iwona Grabarek, Katarzyna Grzybowska, Zuzanna Zysk

Metodyka badań: Sylwia Bęczkowska, Daniel Celiński, Iwona Grabarek, Katarzyna Grzybowska, Zuzanna Zysk

Zbieranie materiału: Sylwia Bęczkowska, Daniel Celiński, Iwona Grabarek, Katarzyna Grzybowska, Zuzanna Zysk

Analiza statystyczna: Sylwia Bęczkowska, Iwona Grabarek, Katarzyna Grzybowska, Zuzanna Zysk

Interpretacja wyników: Sylwia Bęczkowska, Iwona Grabarek, Katarzyna Grzybowska, Zuzanna Zysk

Piśmiennictwo: Sylwia Bęczkowska, Iwona Grabarek, Zuzanna Zysk

PIŚMIENNICTWO

1. Ustawa z dnia 8 września 2006 r. o Państwowym Ratownictwie Medycznym. DzU z 2006 r., nr 191, poz. 1410.
2. Bęczkowska S, Grabarek I, Pilip S, Szpakowski L, Gałazkowski R. Road ambulances: working conditions of paramedics – pilot studies. *Int J Occup Med Environ Health*. 2020;33(1):91–105. <https://doi.org/10.13075/ijomeh.1896.01479>.
3. Garus-Pakowska A, Górajski M, Szatko F. Awareness of the Risk of Exposure to Infectious Material and the Behaviors of Polish Paramedics with Respect to the Hazards from Blood-Borne Pathogens – A Nationwide Study. *Int J Environ Res Public Health*. 2017;14:843. <https://doi.org/10.3390/ijerph14080843>.
4. Garus-Pakowska A, Szatko F, Ulrichs M. Work-Related Accidents and Sharp Injuries in Paramedics – Illustrated with an Example of a Multi-Specialist Hospital, Located in Central Poland. *Int J Environ Res Public Health*. 2017;14:901. <https://doi.org/10.3390/ijerph14080901>.
5. Becker LR, Zaloshnja E, Levick N, Li G, Miller TR. Relative risk of injury and death in ambulances and other emergency vehicles. *Accid Anal Prev*. 2003 Nov;35(6):941–8. [https://doi.org/10.1016/s0001-4575\(02\)00102-1](https://doi.org/10.1016/s0001-4575(02)00102-1).
6. Levick N. Emergency Medical Services – A Transportation Safety Emergency Paper presented at the ASSE Professional Development Conference, Orlando, Florida, June 2007. [Internet]. [cited 2023 Sep 12]. Available from: <http://www.objectivesafety.net/LevickTRB08-3010CD.pdf>.
7. Shin DM, Park SE, Park SH. A study on improving the interior design of ambulance. *Korean J Emerg Med Serv*. 2013;17(3):9–20. <https://doi.org/10.14408/KJEMS.2013.17.3.009>.
8. Van der Zwart J, Pilosof NP. Evidence-Based Design for Healthcare Work Environments. In: Tevik Løvseth L, de Lange AH, editors. *Integrating the Organization of Health Services, Worker Wellbeing and Quality of Care*. Springer; 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-59467-1_11.
9. Aljerian N, Alshehri S, Masudi E, Albawardi A, Alzahrani F, Alanazi R. The Prevalence of Musculoskeletal Disorders among EMS Personnel in Saudi Arabia, Riyadh. *Egypt J Hosp Med*. 2018;73(1):5777–82. <https://doi.org/10.21608/ejhm.2018.11879>.
10. Mohd Yusuff R, Abidin AM bin Z, Agamohamadi F. Task Analysis of Paramedics in the Ambulance Patient Compartment. *AEF*. 2013;10:278–84. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/aef.10.278>.
11. Bartuzi P, Roman-Liu D. Ocena obciążenia mięśniowo-szkieletowego w aspekcie wieku pracownika. *CIOP-PIB Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy*. 2012.
12. Kahn CA, Pirrallo RG, Kuhn EM. Characteristics of fatal ambulance crashes in the United States: an 11-year retrospective analysis. *Prehosp Emerg Care*. 2001 Jul-Sep; 5(3):261–9. <https://doi.org/10.1080/10903120190939751>.
13. Gilad I, Byran E. Ergonomic evaluation of the ambulance interior to reduce paramedic discomfort and posture stress. *Hum Factors*. 2007 Dec;49(6):1019–32. <https://doi.org/10.1518/001872007X249884>.
14. Roberts MH, Sim MR, Black O, Smith P. Occupational injury risk among ambulance officers and paramedics compared with other healthcare workers in Victoria, Australia: analysis of workers' compensation claims from 2003 to 2012. *Occup Environ Med*. 2015 Jul;72(7):489–95. <https://doi.org/10.1136/oemed-2014-102574>.

15. Paul G, Hoy BA. An exploratory ergonomic study of musculoskeletal disorder prevention in the Queensland Ambulance Service. *J Health Saf Environ.* 2015;31(3):1–13.
16. Arial M, Benoît D, Wild P. Exploring implicit preventive strategies in prehospital emergency workers: a novel approach for preventing back problems. *Appl Ergon.* 2014 Jul;45(4):1003–9. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2013.12.005>.
17. Kołcz A, Baran M, Walewicz K, Paprocka-Borowicz M, Rosińczuk J. Analysis of Selected Body Composition Parameters and Ergonomic Safety among Professionally Active Nurses in Poland: A Preliminary Prospective Monocentric and Observational Study. *BioMed Research International.* 2020;2020:9212587. <https://doi.org/10.1155/2020/9212587>.
18. Kowalczyk M, Zgorzalewicz-Stachowiak M, Duchniak M, Kłosiewicz T. Estimation of work-related back pain syndrome in emergency medical services personnel. *Med Og Nauk Zdr.* 2020;26(1):66–71. <https://doi.org/10.26444/mozn/114455>.
19. Kulczycka K, Grzegorzczak-Puzio E, Stychno E, Piasecki J, Strach K. Effect of work on general wellbeing of paramedics. *Med Og Nauk Zdr.* 2016;22(1):66–71. <https://doi.org/10.5604/20834543.1198726>.
20. Alnaami I, Awadalla N, Alkhairy M, Alburidy S, Alqarni A, Algarni A. Prevalence and factors associated with low back pain among health care workers in southwestern Saudi Arabia. *BMC Musculoskelet Dis.* 2019;20(1):56. <https://doi.org/10.1186/s12891-019-2431-5>.
21. Brown WE, Dawson D, Levine R. Compensation, benefits, and satisfaction: The Longitudinal Emergency Medical Technician Demographic Study (leads) Project. *Prehospital Emerg Care.* 2003;7:357–62. <https://doi.org/10.1080/10903120390936563>.
22. Patterson PD, Jones CB, Hubble MW, Carr M, Weaver MD, Engberg J, Castle N. The Longitudinal Study of Turnover and the Cost of Turnover in Emergency Medical Services. *Prehospital Emerg Care.* 2010;14:209–21. <https://doi.org/10.3109/10903120903564514>.
23. Dopelt K, Wacht O, Strugo R, Miller R, Kushnir T. Factors that affect Israeli paramedics' decision to quit the profession: A mixed methods study. *Isr J Health Policy Res.* 2019;8:78. <https://doi.org/10.1186/s13584-019-0346-0>.
24. Eiche C, Birkholz T, Konrad F, Golditz T, Keunecke JG, Prottegeier J. Job Satisfaction and Performance Orientation of Paramedics in German Emergency Medical Services – A Nationwide Survey. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18:12459. <https://doi.org/10.3390/ijerph182312459>.
25. Ferreira J, Hignett S. Reviewing ambulance design for clinical efficiency and paramedic safety. *Appl Ergon.* 2005 Jan;36(1):97–105. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2004.07.003>.
26. Pniewski R, Pietruszczak D, Ciupak M. Transport medyczny karettek pogotowia ratunkowego. Analiza czasów przejazdu. *Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe.* 2018;19(6). <https://doi.org/10.24136/atest.2018.235>.
27. Dadfarnia M, Lee YT, Kibira D, Feeney AB. Requirements analysis for safer ambulance patient compartments. *Procedia Comput Sci.* 2013;16:601–10. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.01>.
28. Kibira D, Lee Y, Marshall J, Feeney AB, Avery L, Jacobs A. Simulation-based design concept evaluation for ambulance patient compartments. *Simulation.* 2015;91(8):691–714. <https://doi.org/10.1177/0037549715592716>.
29. Letendre J, Robertson M, Eaton C. Ergonomic assessment of the patient compartment of British Columbia ambulances – a participatory user centered design approach. *Kinesiology 486 (Human Factors in Industrial Design), Student Project, Simon Fraser University, 1999.*
30. Levick N, Grzebieta R. Crashworthiness analysis of three prototype ambulance vehicles. 20th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV); 2007.
31. Biesbroek S, Teteris E. Human Factors Review of EMS Ground Ambulance Design. *Symposium on Human Factors and Ergonomics in Health Care; 2012.* <https://doi.org/10.1518/HCS-2012.945289401.016>.
32. Kibira D, Lee Y, Barnard A, Marshall J, Avery L, Moore J, Boone C. Modeling and Simulation for Improving Ambulance Patient Compartment Design Standards. *SCS 2013 Spring Simulation MultiConference (SpringSim'13).* San Diego; 2013.
33. Bęczkowska SA, Grabarek I, Zysk Z, Gosek-Ferenc K. Physical Activity and Ecological Means of Transport – Functional Assessment Methodology. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19:9211. <https://doi.org/10.3390/ijerph19159211>.
34. Ferguson B. *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription 9th Ed.* 2014. *J Can Chiropr Assoc.* 2014;58:328.
35. Forum Zdrowia [Internet]. [cited 2022 Nov 26]. Postępowanie w złamaniach kości i zwichnięciach stawów. Available from: <https://www.forumzdrowia.pl/artykul/postepowanie-w-zlamaniach-kosci-i-zwichnieniach-stawow;5731185.html>.
36. *Medycyna praktyczna dla pacjentów* [Internet]. 2017 [cited 2022 Nov 26]. Elektrokardiografia (EKG). Available from: https://www.mp.pl/pacjent/badania_zabiegi/152094,elektrokardiografia-ekg.

-
37. Physiopedia [Internet]. 2022 [cited 2022 Nov 26]. Range of Motion. Available from: https://www.physiopedia.com/Range_of_Motionutm_source=physiopedia&utm_medium=search&utm_campaign=ongoing_internal.
38. Noraxon USA [Internet]. [cited 2022 Nov 26]. myo-Motion Sensor and Receiver User Manual. Available from: <https://www.noraxon.com/noraxon-download/myomotion-system-user-manual/>.
39. European Survey of Enterprises on New and Emerging Risks (ESENER), 2019, 45, 420 establishments, EU 28 countries+Iceland, North Macedonia, Norway, Serbia and Switzerland.