

18/2019



Politechnika Śląska  
KATEDRA BIOMECHATRONIKI

AKTUALNE PROBLEMY  
BIOMECHANIKI

AKTUALNE PROBLEMY BIOMECHANIKI

ISSN 1898-763X

Zabrze 2019

18  
2019

**POLITECHNIKA ŚLĄSKA  
WYDZIAŁ INŻYNIERII BIOMEDYCZNEJ  
KATEDRA BIOMECHATRONIKI**

**ZESZYTY NAUKOWE  
KATEDRY BIOMECHATRONIKI**

**ZESZYT nr 18**  
(grudzień 2019)

**AKTUALNE PROBLEMY  
BIOMECHANIKI**

ZABRZE 2019

## **RADA PROGRAMOWA**

**Romuald Będziński**  
**Lechosław B. Dworak**  
**Marek Gzik** – przewodniczący  
**Marek Mandera**  
**Jan Marciniak**  
**Stanisław Mazurkiewicz**  
**Eugeniusz Świtoński**  
**Andrzej Wit**

## **REDAKCJA**

Redaktor naczelny: **Robert Michnik**  
Zastępca redaktora naczelnego: **Alicja Balin**  
Redaktorzy tematyczni: **Edyta Kawlewska, Katarzyna Nowakowska-Lipiec,**  
**Marta Sobkowiak-Pilorz**  
Redaktor techniczny: **Marta Sobkowiak-Pilorz**

## **ZESPÓŁ REDAKCYJNY**

**Bogdan Bacik, Tomasz Bielecki, Dawid Larysz, Grzegorz Milewski,**  
**Andrzej Myśliwiec, Zbigniew Paszenda**

ISSN 1898-763X

Artykuły zostały opracowane z tekstów nadesłanych przez Autorów.  
Wydano za zgodą Dziekana Wydziału Inżynierii Biomedycznej.

**Wszystkie artykuły umieszczone w niniejszym czasopiśmie są recenzowane.**

## **ADRES REDAKCJI**

Katedra Biomechatroniki Politechniki Śląskiej  
**ul. Roosevelta 40**  
**41-800 Zabrze**

Tel: (+48 32) 277 74 37  
Adres e-mail: [\*\*apb@biomechanik.pl\*\*](mailto:apb@biomechanik.pl)  
[www.biomechanik.pl/apb](http://www.biomechanik.pl/apb)

## SPIS TREŚCI

1. Kurpanik R., Rogowska P., Sarraj S., Walke W.: Wpływ przygotowania powierzchni oraz parametrów procesu utleniania anodowego na zwilżalność i odporność korozyjną tytanu cpTi grade 2 .....5
2. Łaskawiec D., Nycz B., Trzepizur M., Statowski W.: Ocena stanu wiedzy żołnierzy zawodowych na temat zasad udzielania pierwszej pomocy w warunkach pola walki .....13
3. Łaskawiec D., Nycz B., Trzepizur M., Statowski W., Kempa J.: Ocena stanu wiedzy ratowników medycznych na temat zasad udzielania pierwszej pomocy w warunkach pola.....21
4. Nowakowska-Lipiec K., Jochymczyk-Woźniak K., Mikula B., Wolański W., Gzik M., Michnik R.: Analiza biomechaniczna chodu weterana wojennego – analiza przypadku .....29
5. Polechoński J., Głowacka M., Fredyk A., Polechoński P., Nowakowska-Lipiec K., Jochymczyk-Woźniak K.: Ocena dokładności odwzorowania ruchów oraz możliwości uczenia się układu tanecznego przez tancerki profesjonalne i studentki podczas uprawiania aktywnej gry wideo .....38
6. Sobota R., Jozsko K., Gzik-Zroska B., Markowski J., Kawlewska E.: Ocena właściwości wytrzymałościowych materiałów na rurki tracheostomijne .....47



**Roksana KURPANIK<sup>1</sup>, Patrycja ROGOWSKA<sup>1</sup>, Sara SARRAJ<sup>1</sup>, Witold WALKE<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Studenckie Koło Naukowe „Synergia”, Katedra Biomateriałów i Wyrobów Medycznych, Wydział Inżynierii Biomedycznej, Politechnika Śląska, Zabrze

<sup>2</sup>Katedra Biomateriałów i Wyrobów Medycznych, Wydział Inżynierii Biomedycznej, Politechnika Śląska, Zabrze

## **WPLYW PRZYGOTOWANIA POWIERZCHNI ORAZ PARAMETRÓW PROCESU UTLENIANIA ANODOWEGO NA ZWILŻALNOŚĆ I ODPORNOŚĆ KOROZYJNĄ TYTANU CP-TI GRADE 2**

**Streszczenie:** Reakcje zachodzące na granicy implant-tkanka kostna determinują sukces procesu implantacji. Są one ściśle związane z cechami powierzchni biomateriału. Badania wskazują, że implanty stosowane w ortopedii i traumatologii powinny się wyróżniać właściwościami osteokonduktywnymi. Według doniesień literaturowych ma na to wpływ odpowiednia chropowatość i zwilżalność powierzchni. Stąd też celem pracy było określenie zależności pomiędzy chropowatością i zwilżalnością powierzchni wytworzonych warstw oraz wartością napięcia prądu (40 – 85V) w procesie ich kształtowania.

**Słowa kluczowe:** cpTi, obróbka wibracyjno-ścierna, polerowanie elektrochemiczne, utlenianie anodowe, zwilżalność powierzchni, odporność na korozję wżerową

### **1. WSTĘP**

Aktualnym problemem związanym ze schorzeniami układu mięśniowo szkieletowego jest wzrost liczby zaburzeń zrostu kostnego, głównie w postaci stawu rzekomego i zrostu opóźnionego. Anatomiczne ustawienie odłamów kostnych jest warunkiem koniecznym, ale niewystarczającym do uzyskania prawidłowego zrostu kostnego. Dane wskazują, że źródłem zaburzeń prawidłowego zrostu kostnego jest często źle dobrany biomateriał wykorzystany na elementy stabilizatora, nieodpowiednia jakość powierzchni oraz błędy lekarza.

Tytan jako materiał do zastosowań biomedycznych został zastosowany już w latach 40 minionego wieku [1]. Ze względu na swoją wysoką odporność na korozję oraz biotolerancję w środowisku tkankowym jest powszechnie wybieranym materiałem na implanty oraz instrumentarium chirurgiczne. Zastosowanie tego materiału na stabilizatory kostne umożliwia wykonanie zespolenia charakteryzującego się kontrolowanym odkształceniem w zakresie sprężystym. Jednakże złożony kształt elementów stabilizatora stwarza problemy w trakcie jego implantacji. Oznaczanie elementów stabilizatorów wykorzystywanych w chirurgii kostnej poprzez proces utleniania anodowego przy różnych wartościach napięcia jest częstym zabiegiem ułatwiającym pracę chirurga podczas operacji. Warstwy wierzchnie otrzymane tą metodą nie pozostają bez znaczenia podczas reakcji zachodzących na granicy faz biomateriał - środowisko tkankowe. Metodą utleniania anodowego uzyskuje się warstwy tlenkowe o grubości od kilkunastu do kilkuset nanometrów charakteryzujące się specyficznymi

właściami optycznymi, zróżnicowaną strukturą (amorficzną, krystaliczną), morfologią oraz odpornością korozyjną w roztworze symulującym płyn ustrojowy człowieka. W wyniku interferencji promieni odbitych powstaje efekt kolorystyczny, natomiast barwa powstałej powłoki zależy od grubości warstwy tlenkowej. Skalę barw warstw tlenkowych w zależności od grubości opisał Velten i inni [2]. Struktura warstw tlenkowych wytworzonych w procesie utleniania zależy przede wszystkim od zastosowanego napięcia i wraz z jego wzrostem zmienia się z amorficznej w krystaliczną. Wiele autorów wskazuje, że odporność korozyjna warstw tlenkowych zależy przede wszystkim od grubości i morfologii, natomiast chropowatość czy porowatość powierzchni wpływają na jakość połączenia implantu z tkanką [3],[4]. Stwierdzono także, że czynnik sterylizujący (np. para wodna pod ciśnieniem) ma wpływ na zmianę kąta zwilżania oraz zmniejszenie proliferacji komórek (kościotwórczych linii SAOS-2) co potwierdziła między innymi w swoich badaniach Bociąga [5]. Inni badacze wskazują, że implanty stosowane w ortopedii i traumatologii powinny się wyróżniać właściwościami osteokonduktywnymi. Według doniesień literaturowych ma na to wpływ odpowiednia chropowatość i zwilżalność powierzchni [3]. Stąd też celem pracy było określenie zależności pomiędzy uzyskaną chropowatością i zwilżalnością powierzchni warstw wierzchnich otrzymanych w wyniku wstępnej obróbki powierzchniowej poprzedzającej proces utleniania anodowego i sterylizacji parowej, obejmującą obróbkę strumieniowo-ścierną i polerowanie elektrochemiczne. Utlenianie anodowe implantów tytanowych zapewniające uzyskanie warstwy o dobrych właściwościach osteokonduktywnych przeprowadza się przy niskich wartościach napięcia prądu (40-100V). Uzyskana w ten sposób struktura powstałej warstwy tlenkowej oraz grubość jest różna i może mieć wpływ na zmianę odporności korozyjnej. Dlatego też w ramach pracy zostały przeprowadzone również badania potencjodynamiczne, na podstawie których określono właściwości ochronne powstałych warstw wierzchnich w środowisku symulującym płyn fizjologiczny człowieka – roztworze Ringera w temperaturze  $T=37^{\circ}\text{C}$ .

## 2. MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ

Do badań wytypowano krążki z tytanu cpTi (Grade2), o średnicy  $d = 13,0$  mm i grubości  $g = 2,5$  mm. Skład chemiczny oraz właściwości mechaniczne były zgodne z zaleceniami normy ISO 5832-2:2018 [6]. Próbki ( $n=36$ ) podzielono na 3 grupy badawcze. Pierwszą stanowiły próbki poddane procesowi polerowania elektrochemicznego (roztwór E-395 firmy POLIGRAT,  $\text{pH} = 2,1-2,6$ , temperatura elektrolitu  $25-35^{\circ}\text{C}$ , czas polerowania 7 min, napięcie 6–8 V, gęstość prądu  $10-30\text{A}/\text{dm}^2$ ). Drugą i trzecią grupę próbki poddane mechanicznej obróbce strumieniowo-ściernej z wykorzystaniem piaskarki Dentalfarm Micra 2 firmy Marrodent odpowiednio z wykorzystaniem dyszy  $\varnothing 0,5$  mm ( $50\ \mu\text{m}$  – piasek korundowy firmy Ardsand) oraz dyszy  $\varnothing 3,0$  mm, ( $350\ \mu\text{m}$  – piasek korundowy firmy Ardsand). Następnie wszystkie grupy poddano procesowi utleniania anodowego (elektrolit Titan Color firmy POLIGRAT,  $\text{pH} = 0,5-0,6$ , temperatura elektrolitu  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ , czas utleniania 3 min, gęstość prądu do  $1\text{A}/\text{dm}^2$  przy zróżnicowanych wartościach napięcia prądu, które wynosiły 40–85 V z gradacją 15 V. W ostatnim etapie przygotowania próbki poddano procesowi sterylizacji medycznej parą wodną pod ciśnieniem w autoklawie nastołowym HMT FA/-MA/-MB firmy HMC-EUROPE (parametry procesu:  $T=135^{\circ}\text{C}$ ,  $t=7\text{min}$ ,  $p = 0,21\text{MPa}$ ).

### 2.1. Pomiary chropowatości powierzchni

Pomiary chropowatości przygotowanych powierzchni przeprowadzono z wykorzystaniem metody stykowej zgodnie z normą PN-ISO 4288:2011 [7]. W tym celu wykorzystano profilometr Sutronic 3+ firmy Taylor/Hobson. Wyznaczoną wartością był

parametr chropowatości powierzchni określający średnie arytmetyczne odchylenie profilu od linii średniej –  $R_a$ ,  $\mu\text{m}$ . Dokładność pomiarowa wynosiła  $\pm 0,02 \mu\text{m}$ . Długość odcinka pomiarowego  $L_c = 0,8 \text{ mm}$ . Wykonano po 5 pomiarów dla każdej próbki, a następnie obliczono średnią arytmetyczną.

## 2.2. Pomiary kąta zwilżania

W celu określenia zwilżalności powierzchni próbek przeprowadzono pomiar kąta zwilżania z zastosowaniem metody siedzącej kropli. Badanie przeprowadzono z wykorzystaniem goniometru SURFTENS UNIVERSAL firmy OEG, zgodnie z zaleceniami normy EN 828:2013 [8]. System pomiarowy składał się z komputera z oprogramowaniem SurfTens 4.5 do analizy zarejestrowanego obrazu kropli, goniometru oraz strzykawki wypełnionej płynem wzorcowym o określonym napięciu powierzchniowym. Pomiary wykonywano z wykorzystaniem wody destylowanej firmy Pol-Aura Odczynniki Chemiczne. Na powierzchnię każdej z badanych próbek upuszczono 5 kropli płynu wzorcowego, każda o objętości 1  $\mu\text{l}$ . Czas trwania jednego pomiaru wynosił 60 s z częstotliwością próbkowania 1 Hz.

## 2.3. Badania odporności na korozję

W ramach badań potencjodynamicznych przeprowadzono badanie odporności na korozję wżerową zgodnie z zaleceniami normy PN-EN ISO 10993-15 [9]. Stanowisko do badań odporności na korozję zbudowane było z potencjostatu VoltaLab PGP201 firmy Radiometer, komputera wraz z oprogramowaniem VoltaMaster 4, celi elektrochemicznej z podwójną ścianką i termostatu umożliwiającego utrzymanie stałej temperatury ( $T = 37 \pm 1^\circ\text{C}$ ) w trakcie badań oraz zestawu elektrod. Do zastosowanych elektrod należały nasycona elektroda chlorosrebrowa, elektroda platynowa oraz anoda – badana próbka. Próbkę symulującą środowisko korozyjne stanowił roztwór Ringera (250ml) firmy B.Braun o  $\text{pH} = 6,8 \pm 0,2$ .

W trakcie badań wyznaczono fragment krzywej polaryzacji, która stanowiła podstawę do wyznaczenia takich parametrów jak:  $E_{\text{kor}}$ , mV;  $R_p$ ,  $\text{k}\Omega\text{cm}^2$ ;  $j_{\text{pas}}$ ,  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  oraz  $j_{\text{kor}}$ ,  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ .

## 3. WYNIKI BADAŃ

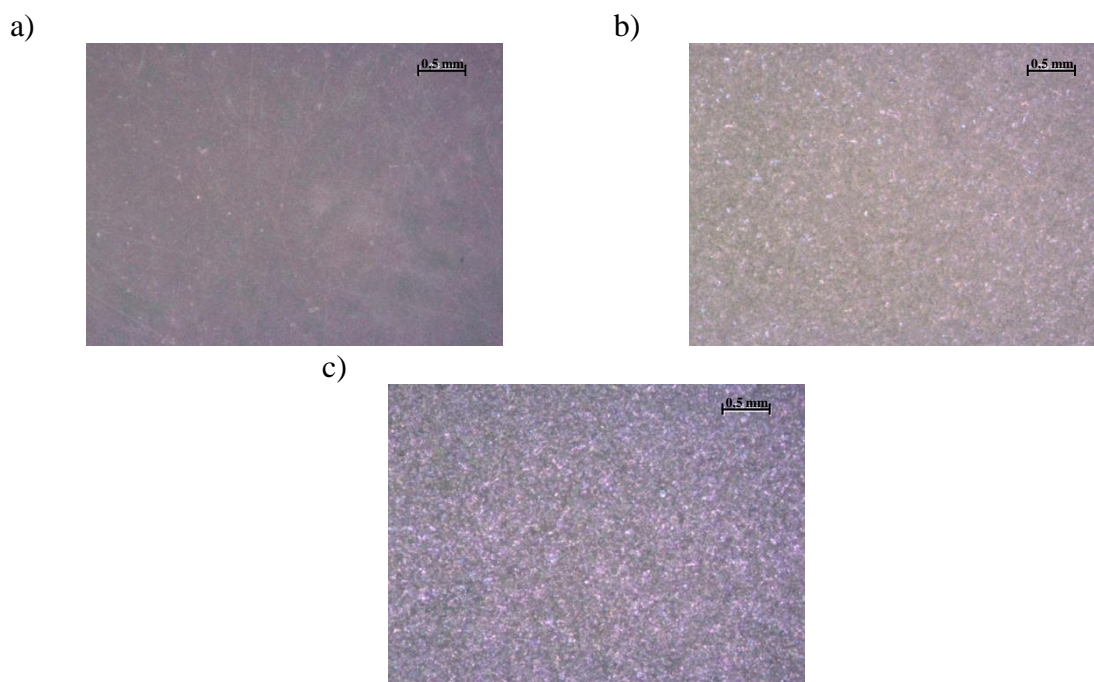
Średnie wartości chropowatości powierzchni wyrażone parametrem  $R_a$  uzyskane po procesie polerowania elektrochemicznego oraz obróbce strumieniowo-ścierniej z wykorzystaniem piasku o gradacji 50 i 350  $\mu\text{m}$  zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Średnie wartości  $R_a$  uzyskane dla zmodyfikowanych powierzchni

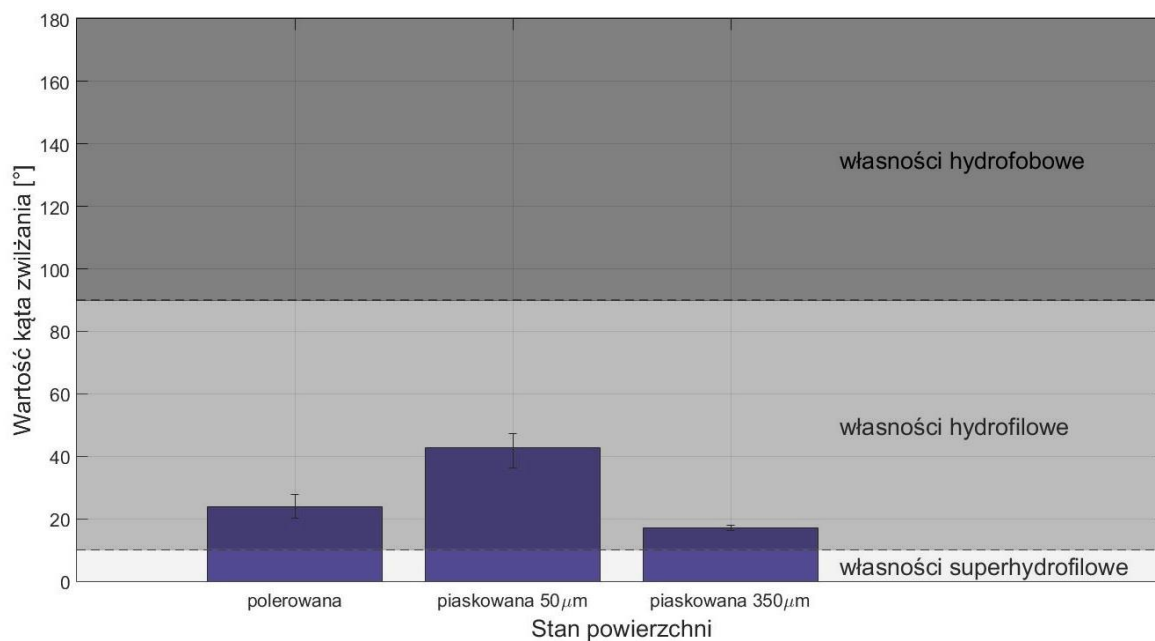
Metoda modyfikacji powierzchni	$R_a$ [ $\mu\text{m}$ ]
Polerowanie elektrochemiczne	0,12 ( $\pm 0,017$ )
Obróbka strumieniowo-ścierna – 50 $\mu\text{m}$	0,25 ( $\pm 0,034$ )
Obróbka strumieniowo-ścierna – 350 $\mu\text{m}$	2,10 ( $\pm 0,016$ )

Niezależnie od rodzaju metody modyfikacji podłoża tytanowego, wszystkie warstwy powierzchniowe miały charakter hydrofilowy – rys.2.





**Rys. 1.** Przykładowy obraz powierzchni próbek cpTi Grade 2 po utlenianiu anodowym prowadzonym przy wartości napięcia 85 V poprzedzonym: a) polerowaniem elektrochemicznym, b) obróbką strumieniowo-ścierną - 50  $\mu\text{m}$ , c) obróbką strumieniowo-ścierną - 350  $\mu\text{m}$ ;



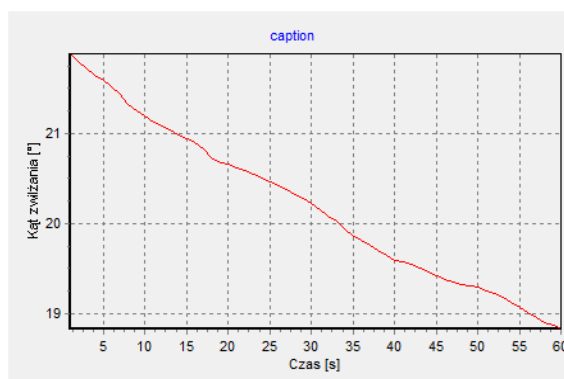
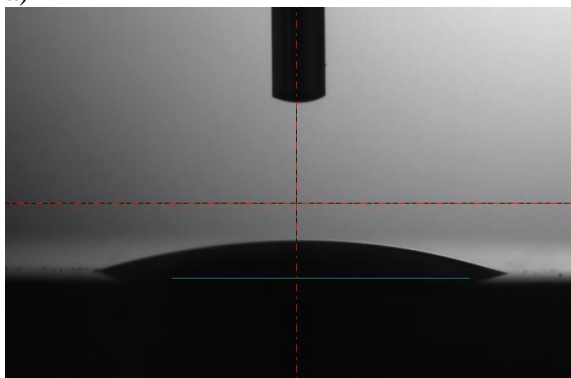
**Rys. 2.** Wyniki pomiarów kąta zwilżania

Przykładowy przebieg zmian kąta zwilżania w funkcji czasu dla warstw wierzchnich wytworzonych w procesie utleniania przedstawiono na rysunku 3.

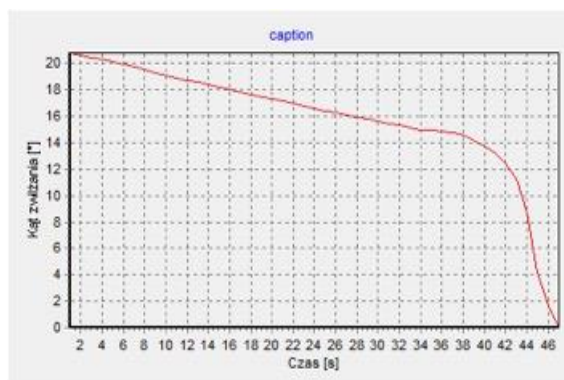
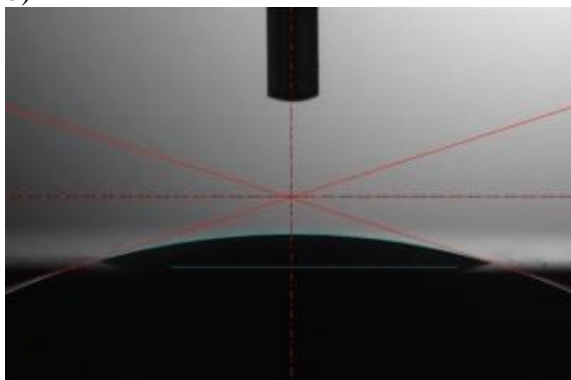
Wyniki badania odporności na korozję wykazały nieznaczne zróżnicowanie odporności korozyjnej próbek z cpTi (Grade 2) w zależności od sposobu przygotowania powierzchni – rys.4 i tabela 2. Jedynie w przypadku próbek po obróbce strumieniowo-ścierną piaskiem o średnicy 350  $\mu\text{m}$  stwierdzono dodatnie wartości potencjału korozyjnego  $E_{\text{kor}}$  oraz niższą wartość oporu polaryzacyjnego  $R_p$  niezależnie od zastosowanego napięcia. Wyznaczone wartości gęstości prądu pasywacji  $J_{\text{pas}}$  przy potencjale  $E=+90$  mV (potencjał komórkowy)

również przyjmowały najniższe wartości dla próbek po obróbce strumieniowo-ścierniej 350  $\mu\text{m}$ . W przypadku próbek po procesie polerowania elektrochemicznego oraz po obróbce strumieniowo-ścierniej piaskiem o średnicy 50  $\mu\text{m}$  uzyskane wartości parametrów elektrochemicznych były zbliżone.

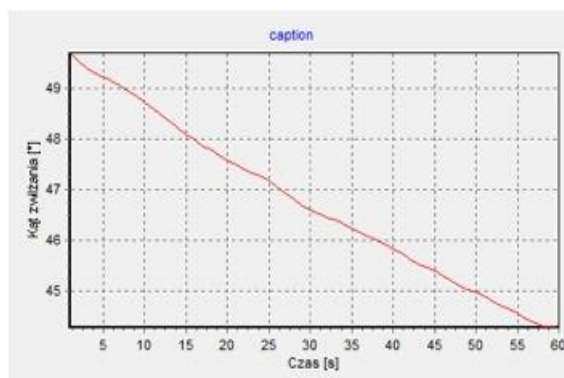
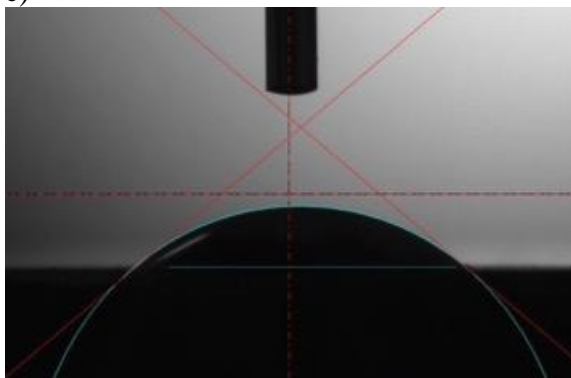
a)



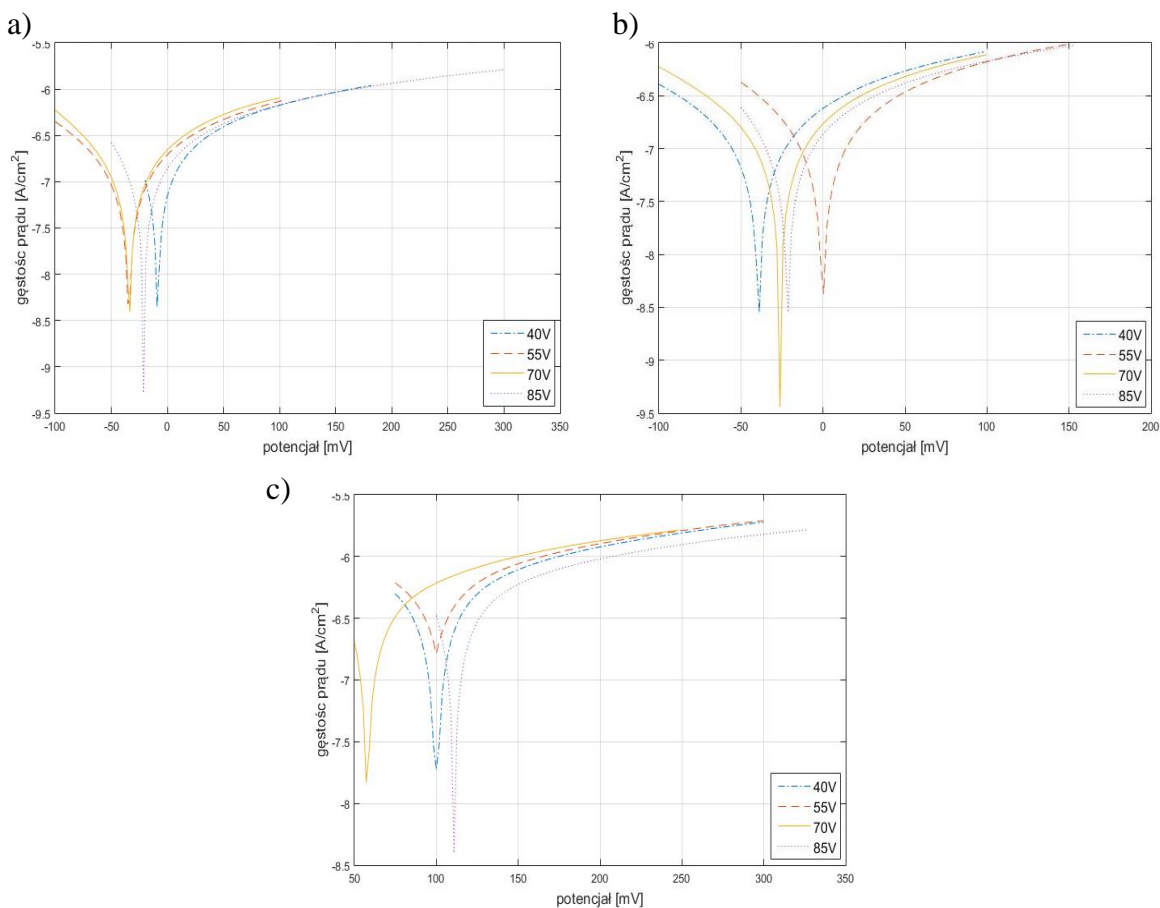
b)



c)



**Rys.3. Zmiana kąta zwilżania w funkcji czasu dla cpTi Grade 2: a) po polerowaniu elektrochemicznym i utlenianiu anodowym, b) po obróbce strumieniowo-ścierniej - 50  $\mu\text{m}$  i utlenianiu anodowym, c) po obróbce strumieniowo-ścierniej - 350  $\mu\text{m}$  i utlenianiu anodowym;**



Rys. 4. Krzywe polaryzacji zarejestrowane dla cpTi Garde 2: a) po polerowaniu elektrochemicznym i utlenianiu anodowym, b) po obróbce strumieniowo-ścierniej - 50  $\mu\text{m}$  i utlenianiu anodowym, c) po obróbce strumieniowo-ścierniej - 350  $\mu\text{m}$  i utlenianiu anodowym;

Tabela 2. Wartości oznaczonych parametrów odporności korozyjnej

Stan powierzchni	Napięcie [V]	$E_{kor}$ [mV]	R [ $k\Omega\text{cm}^2$ ]	$J_{pas}$ [ $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ] ( $E=+90\text{mV}$ )	$J_{kor}$ [ $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ]
Polerowana	40	-2	90 – 110	0,566	0,289 – 0,236
	55	-26		0,665	
	70	-26		0,723	
	85	-13		0,589	
Piaskowana 50 $\mu\text{m}$	40	-31	100 – 110	0,698	0,260 – 0,236
	55	+9		0,528	
	70	-17		0,658	
	85	-14		0,577	
Piaskowana 350 $\mu\text{m}$	40	+106	55 – 65	<0,001	0,473 – 0,400
	55	+100		<0,001	
	70	+59		0,435	
	85	+109		<0,001	

#### 4. Dyskusja i wnioski

W pracy wykazano, że warstwy wierzchnie wytworzone na podłożu cpTi Grade 2 przy założonych parametrach procesu (polerowanie elektrochemiczne, obróbka strumieniowo-ścierna - piasek o średnicy 50  $\mu\text{m}$ , utlenianie anodowe) charakteryzują się chropowatością

oraz zwilżalnością powierzchni, które powinny zapewnić im dobre właściwości osteokonduktywne. Przeprowadzony proces utleniania anodowego nie wpływa w dużym stopniu na jakość powierzchni uzyskanej w wyniku obróbki mechanicznej, niezależnie od wartości napięcia tego procesu. Zmiana wartości napięcia podczas procesu utleniania anodowego nie wpływała na wartość kąta zwilżania. Widoczne różnice w wartościach kąta zwilżania spowodowane były zastosowaną obróbką wstępną, która determinowała chropowatość powierzchni. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że najmniejszą wartością kąta zwilżania charakteryzowała się powierzchnia poddana obróbce strumieniowo-ścierną piaskiem o średnicy 350  $\mu\text{m}$ , z kolei największą piaskiem o średnicy 50  $\mu\text{m}$ . Według doniesień literaturowych [10],[11] dla utlenianego anodowo tytanu właściwościami tymi charakteryzuje się powierzchnia o chropowatości ( $R_a$  poniżej 0,3  $\mu\text{m}$ ) oraz o dużej zwilżalności (kąta zwilżania 20°–55°), co wykazał Yamamoto [12],[13]. Zbliżone wartości parametrów wyznaczonych dla obydwu wariantów podczas badań korozyjnych, jak również chropowatość powierzchni umożliwiają wykorzystanie tego rodzaju metody obróbki do modyfikacji powierzchni elementów stabilizatora kostnego nie obniżając jego odporności korozyjnej. Natomiast w przypadku próbek cpTi Grade 2 zastosowanie obróbki strumieniowo-ścierną piaskiem o średnicy 350  $\mu\text{m}$  zmienia charakterystykę elektrochemiczną materiału zwiększając jego potencjał korozyjny oraz obniżając wartość oporu polaryzacji. Zjawisko to związane jest ze zwiększoną chropowatością powierzchni uzyskaną w trakcie obróbki.

Analiza wyników badań pozwala stwierdzić, że chropowatość powierzchni uzyskana poprzez obróbkę strumieniowo-ścierną piaskiem o średnicy 50  $\mu\text{m}$  przeprowadzoną przed utlenianiem anodowym i sterylizacją parową ogranicza stężenie jonów tytanu przenikających do środowiska zewnętrznego. Jest to efektem wytworzenia na powierzchni warstwy pasywnej dodatkowej warstwy porowatej stanowiącej barierę zabezpieczającą cpTi Grade 2 przed działaniem środowiska korozyjnego. Ograniczenie lub obniżenie ilości jonów metalu przenikających do tkanki czy płynów ustrojowych człowieka nie powoduje reakcji okołowszczepowych w międzywarstwie implant – tkanka kostna oraz reakcji alergicznych.

Reasumując, przeprowadzone w artykule badania jednoznacznie wykazały, że sposób znakowania implantów kolorami poprzez utlenianie anodowe nie wpływa w sposób istotny na obniżenie odporności korozyjnej stabilizatorów tytanowych w przypadku, gdy chropowatość powierzchni poszczególnych jego elementów uzyskana bez względu na rodzaj obróbki wstępnej (elektrochemiczna, mechaniczna) nie przekracza  $R_a$  na poziomie 0,3  $\mu\text{m}$ . W przypadku zwiększonej wartości chropowatości uzyskanej poprzez obróbkę strumieniowo-ścierną piaskiem o średnicy 350  $\mu\text{m}$  uzyskane wartości potencjału korozyjnego są wyższe o ponad 100 mV, co może powodować tworzenie się ogniwa galwanicznego w kontakcie z elementami o niższej chropowatości, a tym samym inicjować procesy korozyjne.

Ze względu na fakt, że przeprowadzone badania nie uwzględniły czasu inkubacji próbek w środowisku symulującym warunki rzeczywiste nie oddają w pełni charakterystyki zachowania implantu w organizmie. W kontekście powyższych uwag, autorzy pracy zalecają dalsze badania próbek po przetrzymywaniu ich w roztworze Ringera. Biorąc pod uwagę możliwość wykorzystania różnych parametrów procesu utleniania anodowego dla znakowania poszczególnych elementów należących do systemu implantacyjnego zalecane jest przeprowadzenie dodatkowych badań odporności na korozję szczelinową oraz galwaniczną.

## LITERATURA

- [1] Gao A., Hang R., Bai L., Tang B., Chu P. K.: Electrochemical surface engineering of titanium-based alloys for biomedical application, *Electrochim. Acta*, vol. 271, 2018, pp. 699–718.

- [2] Velten D., Biehl V., Aubertin F., Valeske B., Possart W., Breme J.: Preparation of TiO<sub>2</sub> layers on cp-Ti and Ti6Al4V by thermal and anodic oxidation and by sol-gel coating techniques and their characterization, *J. Biomed. Mater. Res.*, vol. 59, no. 1, 2002, pp. 18–28.
- [3] Sul Y. T., Johansson C. B., Jeong Y., Röser K., Wennerberg A., Albrektsson T.: Oxidized implants and their influence on the bone response, *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, vol. 12, no. 10–12, 2001, pp. 1025–1031.
- [4] Krupa D., Baszkiewicz J., Sobczak J. W., Biliński A., Barcz A.: Modifying the properties of titanium surface with the aim of improving its bioactivity and corrosion resistance, in *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 143–144, no. 1, 2003, pp. 158–163.
- [5] Bociąga D., Jastrzębski K., Olejnik A., Świątek L., Marchwicka M.: Influence of the multiple sterilization process on the biomaterial properties. *Eng. of Biomat.*, vol. 136, 2016 pp. 11-20.
- [6] PN-EN ISO 5832-2:2018: Implanty dla chirurgii - Materiały metalowe - Część 2: Tytan niestopowy.
- [7] PN-EN ISO 4288:2011: Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS) - Struktura geometryczna powierzchni: Metoda profilowa - Zasady i procedury oceny struktury geometrycznej powierzchni.
- [8] PN-EN 828:2013: Kleje - Zwilżalność - Oznaczanie zwilżalności przez pomiar kąta zwilżania i powierzchniowej energii swobodnej powierzchni ciała stałego.
- [9] PN-EN ISO 10993-15: Biologiczna ocena wyrobów medycznych - Część 15: Identyfikacja i oznaczanie ilościowe produktów degradacji metali i stopów.
- [10] Yamamoto D., Kawai I., Kuroda K., Ichino R., Okido M., Seki A.: Osteoconductivity and hydrophilicity of TiO<sub>2</sub> coatings on Ti substrates prepared by different oxidizing processes, *Bioinorg. Chem. Appl.*, vol. 2012, 2012.
- [11] Yamamoto D., Kawai I., Kuroda K., Ichino R., Okido M., Seki A.: Osteoconductivity of Anodized Titanium with Controlled Micron-Level Surface Roughness, *Mater. Trans.*, vol. 52, no. 8, 2011, pp. 1650–1654.
- [12] Yamamoto D. et al.: Surface Hydrophilicity and Osteoconductivity of Anodized Ti in Aqueous Solutions with Various Solute Ions, *Mater. Trans.*, vol. 53, no. 11, 2012, pp. 1956–1961.
- [13] Yamamoto D., Kuroda K., Ichino R., Okido M.: Hydrophilicity and Osteoconductivity of Ti Anodized in Various Aqueous Solutions, 2012.

## **IMPACT OF SURFACE MODIFICATION AND PARAMETERS OF ANODIC OXIDATION ON WETTABILITY AND CORROSION RESISTANCE OF TITANIUM cpTi Grade 2**

**Abstract:** Reactions occurring on the implant-bone tissue border determine the success of the implantation process. They are closely related to the surface characteristics of the biomaterial. Research indicates that implants used in orthopedics and traumatology should be distinguished by osteoconductive properties. According to literature reports, it is affected by the appropriate surface roughness and wettability. Therefore, the purpose of the work was to determine the relationship between the roughness and wettability of the surface of the produced layers and the value of current voltage (40 – 85V) in the process of shaping them.

**Daria ŁASKAWIEC<sup>1</sup>, Blanka NYCZ<sup>1</sup>, Magdalena TRZEPIZUR<sup>2</sup>, Wojciech STATOWSKI<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Oddział Kliniczny Ortopedii, Wydział Lekarski z Oddziałem Lekarsko-Dentystycznym w Zabrze, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach

<sup>2</sup> Zakład Medycyny Ratunkowej, Wydział Nauk o Zdrowiu w Bytomiu, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach Bytom, Polska

## **OCENA STANU WIEDZY ŻOŁNIERZY ZAWODOWYCH NA TEMAT ZASAD UDZIELANIA PIERWSZEJ POMOCY W WARUNKACH POLA WALKI**

**Streszczenie:** Medycyna pola walki różni się od postępowania ratowniczego w warunkach cywilnych. Schemat opieki nad poszkodowanym określają wytyczne TCCC, których znajomość pozwala żołnierzom ratować poszkodowanego, chronić jego zdrowie i życie oraz wykonać zadanie. Cel pracy obejmował ocenę stanu wiedzy żołnierzy zawodowych na temat zasad udzielania pierwszej pomocy w warunkach pola walki, a także analizę znajomości wytycznych TCCC. Badanie zostało przeprowadzone wśród 226 żołnierzy zawodowych za pomocą autorskiego kwestionariusza anonimowej ankiety internetowej.

**Słowa kluczowe:** medycyna pola walki, pierwsza pomoc, żołnierze zawodowi

### 1. WSTĘP

Ratownictwo taktyczne ma na celu przede wszystkim ratowanie poszkodowanego, ochronę przed odniesieniem innych obrażeń i umożliwienie pododdziałowi wykonania powierzonego im zadania. Ogół czynności medycznych i postępowanie z poszkodowanym w warunkach pola walki opisuje standard TCCC- „Tactical Combat Casualty Care”. Wytyczne TCCC zostały opracowane w celu zmniejszenia zgonów żołnierzy, których można było uniknąć. Ratownicy wykonują swoje działania na obszarach trzech stref. Pierwsza „Care Under Fire” oznacza opiekę pod ostrzałem, druga „Tactical Field Care” to polowa opieka nad poszkodowanym, a trzecia strefa „Tactical Evacuation Care” opisuje ewakuację taktyczną poszkodowanego [1].

Postępowanie ratownicze pod ostrzałem obejmuje reakcję na kontakt ogniowy. Żołnierze, którzy doznali urazu powinni być przygotowani do udzielenia samopomocy, jeżeli ich stan na to pozwala, a także jak najszybszej ewakuacji, żeby zapobiec dalszym obrażeniom. Jest to strefa najbardziej niebezpieczna, w której istnieje możliwość jedynie szybkiego zatamowania krwotoku przy użyciu stazy taktycznej oraz ewakuacji poszkodowanego do II strefy [10].

Polowa opieka nad poszkodowanym obejmuje szereg czynności ratowniczych takich jak: zabezpieczenie drożności dróg oddechowych, odbarczenie odmy prężnej, zabezpieczenie ran

klatki piersiowej oraz krwotoków, w tym użycie stazy taktycznej, jeśli do tej pory nie została założona, a także opatrunku tamującego. Na tym etapie można wykonać dostęp dożylny, co umożliwi podanie kwasu trameksamowego czy prowadzenie resuscytacji płynowej. W tej strefie zapobiega się hipotermii, monitoruje stan poszkodowanego za pomocą pulsoksymetru oraz podejmuje się działania w celu zniesienia bólu poprzez podanie leków. Ratownik ma możliwość unieruchomienia złamań, podania antybiotyków - jeżeli istnieją wskazania, zabezpieczenia oparzeń oraz penetrujących obrażeń oka, a także prowadzenie resuscytacji krążeniowo-oddechowej. Jednym z najważniejszych elementów pomocy poszkodowanym z zaburzeniami świadomości jest ich rozbrojenie [6,8,9].

W strefie ewakuacji taktycznej personel medyczny ma dostęp do szerszego panelu środków medycznych. W tej strefie istotne jest, aby działać według zasady „scoop and run” i zapewnić poszkodowanemu szybki transport do szpitala polowego. Ponadto pozostawanie środka transportu, np. śmigłowca w strefie niebezpiecznej stwarza dodatkowe zagrożenie. Wyróżniamy ewakuację poszkodowanych – CaseEvac – w której uczestniczy personel pozamedyczny, np. żołnierz zawodowy oraz ewakuację medyczną – MedEvac – w której uczestniczy personel medyczny, np. bojowe grupy ratownictwa medycznego [10].

Wiedza medyczna żołnierzy zawodowych oraz opieka nad rannym poszkodowanym wpływa na efektywność wykonywanych zadań i wielkość ponoszonych strat na polu walki. Udzielanie pomocy poszkodowanym w warunkach taktycznych znacznie różni się od pomocy chorym w warunkach pokoju. W związku z powyższym każdy żołnierz powinien posiadać wiedzę oraz praktyczne umiejętności z zakresu udzielania pierwszej pomocy przedmedycznej zarówno w warunkach cywilnych, jaki na polu walki [7,9].

## 2. CEL PRACY

Celem pracy była ocena stanu wiedzy żołnierzy zawodowych na temat zasad udzielania pierwszej pomocy w warunkach pola walki, a także analiza znajomości wytycznych TCCC opisujących schemat postępowania ratowniczego. W pracy zostały przedstawione następujące pytania badawcze:

1. Czy żołnierze zawodowi są zainteresowani pogłębianiem wiedzy i podnoszeniem swoich kwalifikacji w zakresie pierwszej pomocy udzielanej poszkodowanym w warunkach pola walki?
2. Czy żołnierze zawodowi posiadają aktualną wiedzę na temat podstawowych zabiegów resuscytacyjnych przeprowadzanych u osób dorosłych?
3. Czy żołnierze zawodowi znają trzy filary wytycznych TCCC, które opisują schemat postępowania na polu walki?
4. Czy żołnierze zawodowi wiedzą, które obrażenia mogą przyczyną zgonów do uniknięcia w medycynie taktycznej?
5. Czy żołnierze zawodowi posiadają wiedzę w zakresie zaopatrywania krwotoków w warunkach opieki pod ostrzałem?
6. Czy żołnierze zawodowi wiedzą, jakie jest postępowanie ratunkowe w przypadku obrażeń czaszkowo-mózgowych?
7. Jaki jest stan wiedzy żołnierzy zawodowych na temat zasad udzielania pierwszej pomocy poszkodowanym w warunkach pola walki?

## 3. MATERIAŁ I METODA

Badanie zostało przeprowadzone wśród 226 żołnierzy zawodowych, w tym 218 (96,46%) mężczyzn i 8 (3,54%) kobiet.

Informacje wykorzystane w badaniu uzyskano poprzez anonimowe kwestionariusze ankietowe, dobrowolnie uzupełniane przez żołnierzy w okresie od 1 listopada 2018 roku do 28 lutego 2019 roku. Uzyskane dane zostały przeniesione do programu Microsoft Office 365 Excel 2018, gdzie zostały poddane analizie, a następnie przedstawione w formie rycin i tabel.

Wszystkie zebrane informacje zostały wykorzystane wyłącznie na potrzeby tego badania.

#### 4. CHARAKTERYSTYKA BADANEJ GRUPY

Pod względem wieku zdecydowaną większość – 158 (69,91%) stanowili żołnierze mający od 30 do 39 lat. Drugą pod względem liczebności była grupa badanych mających od 20 do 29 lat – 46 (20,35%). Żołnierzy mających od 40 do 49 lat w badanej grupie znalazło się 20, co stanowiło 8,85%, a mających powyżej 50 lat było zaledwie dwóch – 0,89%.

Analizując staż pracy badanej grupy najwięcej – 79 (34,96%) żołnierzy uczestniczących w badaniu pracowała zawodowo od 11 do 15 lat, a niewiele mniej, bo 76 (33,63%) była czynna zawodowo od 5 do 10 lat. Staż pracy do 5 lat wskazało 54 (23,89%) badanych, 16 do 20 lat – 11 (4,87%), a powyżej 20 lat pracy 6 (2,65%).

W badanej grupie znaleźli się zarówno przedstawiciele Wojsk Lądowych – 213 (94,25%), jak i Marynarki Wojennej – 13 (5,75%). Pod względem stopni wojskowych przeważającą grupę stanowili żołnierze należący do Korpusu Szeregowych – 160 (70,8%) badanych. Do Korpusu Podoficerów należało 49 (21,68%) badanych. Wśród żołnierzy zawodowych 16 (7,08%) respondentów zaliczało się do oficerów młodszych, a 1 (0,44%) żołnierz do oficerów starszych.

W badanej grupie znalazło się 14 (6,2%) żołnierzy, którzy jednocześnie są ratownikami medycznymi.

#### 5. WYNIKI

Spośród badanej grupy 158 (69,92%) żołnierzy brało udział w kursie z zakresu pierwszej pomocy udzielanej w warunkach pola walki, natomiast 68 (30,08%) badanych nigdy nie uczestniczyło w takim szkoleniu. W grupie badanych, którzy uczestniczyli w kursie pierwszej pomocy udzielanej w warunkach pola walki 82 (51,9%) osoby zostały skierowane na kurs przez pracodawcę, a 76 (48,1%) uczestniczyło w kursie z własnej inicjatywy.

Żołnierze zapytani o chęć uczestnictwa w kursie z zakresu pierwszej pomocy udzielanej w warunkach pola walki w zdecydowanej większości – 225 (99,56%) wykazali chęć wzięcia udziału w takim kursie, nawet jeżeli już kiedyś w nim uczestniczyli. Jedynie jedna osoba (0,44%) wyraziła dezaprobatę.

Spośród badanej grupy 25 (11,06%) żołnierzy udzielało pomocy poszkodowanym podczas wojskowych działań wojennych. Zdecydowana większość – 201 (88,94%) nigdy nie miała okazji udzielać pomocy poszkodowanym w warunkach pola walki.

Zdaniem zdecydowanej większości – 207 (91,59%) badanych czynnikiem, który najbardziej utrudniał udzielanie pomocy w warunkach pola walki jest sytuacja taktyczna, podczas której pomoc medyczna udzielana była pod ostrzałem. Ponadto ankietowani jako czynniki utrudniające udzielanie pomocy medycznej w warunkach taktycznych wybierali: ograniczony sprzęt medyczny – 82 (36,28%), ciemność – 61 (26,99%) oraz ekstremalne warunki takie jak teren pustyński czy górzysty – 56 (24,78%).

Ocenę wiedzy medycznej żołnierzy uczestniczących w badaniu rozpoczęto od analizy znajomości skal, protokołów i akronimów służących do oceny stanu poszkodowanego. Najczęściej wybieraną – 106 (46,90%) była skala AVPU oraz ABCDE – 75 (33,19%). Akronim MARCHE wykorzystywany głównie w medycynie taktycznej do oceny



poszkodowanego po urazie był znany zaledwie 60 (26,55%) osobom, a skala Glasgow - 58 (25,66%).

Ankietowani wykazali się wiedzą na temat niedrożności dróg oddechowych i sposobów ich udrażniania. W zdecydowanej większości posiadali również wiedzę na temat prowadzenia resuscytacji krążeniowo-oddechowej u osób dorosłych. Otóż 212 (93,8%) uczestników badania znało stosunek oddechów ratowniczych do uciśnień klatki piersiowej, 91 (40,27%) znało prawidłową głębokość wykonywania uciśnień, a 195 (86,28%) znało ich tempo.

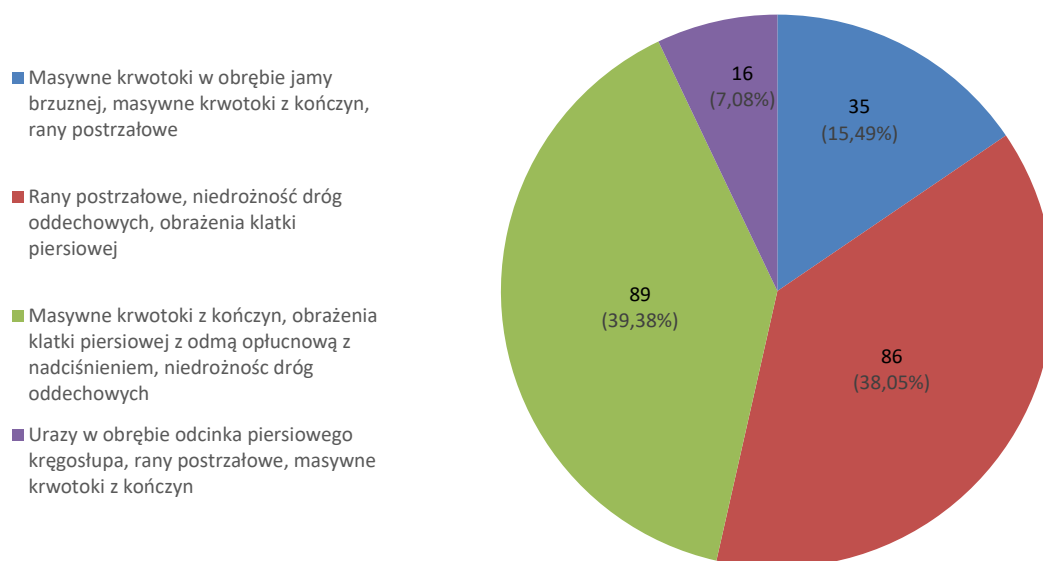
**Tabela I. Odpowiedzi żołnierzy zawodowych na pytanie dotyczące znajomości zasad prowadzenia RKO**

Stosunek uciśnień do oddechów ratowniczych	15:2	7 (3,1%)
	<b>30:2<sup>1</sup></b>	<b>212 (93,8%)<sup>1</sup></b>
	2:30	7 (3,1%)
Głębokość uciśnień klatki piersiowej	<b>5 cm<sup>1</sup></b>	<b>91 (40,27%)<sup>1</sup></b>
	1/3 wymiaru klatki piersiowej	67 (29,65%)
	2/3 wymiaru klatki piersiowej	41 (18,14%)
	15 cm	27 (11,94%)
Tempo uciśnień klatki piersiowej	<b>100-120/min<sup>1</sup></b>	<b>195 (86,28%)<sup>1</sup></b>
	120-140/min	31 (13,72%)

<sup>1</sup> Prawidłowe odpowiedzi zaznaczono pogrubioną czcionką

Spośród żołnierzy biorących udział w badaniu tylko 59 (26,11%) prawidłowo wskazało trzy zasady – udziel pomocy poszkodowanemu, zapobiegaj zwiększeniu liczby rannych i wykonaj zadanie taktyczne, na których opiera się działanie TCCC łączące „dobrą taktykę” z „dobrą medycyną”. Ankietowani błędnie odpowiadający na pytanie dotyczące zasad działania TCCC łączyli je z uśmierzaniem bólu i ewakuacją.

Istotne w medycynie pola walki zgony do uniknięcia nie są w pełni znane żołnierzom biorącym udział w badaniu. Tylko 89 (39,38%) badanych prawidłowo wskazało odpowiedź zawierającą obrażenia mogące być przyczyną zgonów na polu walki, których można było uniknąć dzięki właściwemu postępowaniu z poszkodowanym.

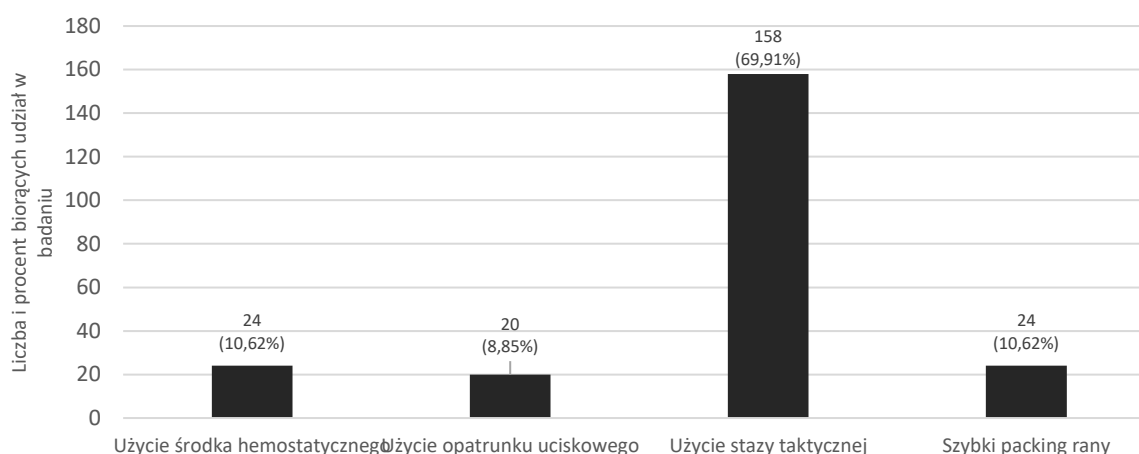


**Rys. 1. Odpowiedzi żołnierzy biorących udział w badaniu na pytanie: „Których obrażeń ciała doznanych na polu walki, mogących prowadzić do śmierci pacjenta, można uniknąć dzięki właściwej pierwszej pomocy udzielonej poszkodowanym?”**

Do oceny znajomości zasad udzielania pomocy medycznej w fazie taktycznej pomocy polowej (TPP) wykorzystano przypadek poszkodowanego z urazem tułowia. Jedynie 58 (25,66%) respondentów wybrało prawidłową odpowiedź zgodną ze standardami TPP, czyli obustronne nakłucie opłucnej w celu wykluczenia odmy prężnej. Ponad połowa ankietowanych po udrożnieniu dróg oddechowych przystąpiłaby do resuscytacji krążeniowo-oddechowej, co byłoby prawidłowym postępowaniem, jednakże w warunkach cywilnych.

Większość żołnierzy biorących udział w badaniu wiedziała, jaka przyrządowa metoda udrażniania dróg oddechowych jest najlepsza w przypadku udzielania pomocy w warunkach pola walki. Wśród ankietowanych 131 (57,96%) wybrało rurkę nosowo-gardłową, która jest preferowaną metodą przyrządowego udrażniania dróg oddechowych w warunkach taktycznych ze względu na szybkość i łatwość zastosowania oraz najlepszą tolerancję poszkodowanego.

Znajomość postępowania w przypadku krwotoków oceniano na podstawie trzech pytań. Pierwsze dotyczyło tamowania krwotoków w fazie opieki pod ostrzałem – care under fire. Większość - 158 (69,91%) respondentów wybrało prawidłową odpowiedź stwierdzając, że podczas opieki pod ostrzałem w tamowaniu krwotoków preferowane jest użycie stazy taktycznej. Odpowiedzi ankietowanych przedstawiono na rycinie 2.



**Rys. 2. Odpowiedzi żołnierzy biorących udział w badaniu na pytanie, która z metod tamowania krwotoków jest preferowana podczas opieki pod ostrzałem**

Większość badanych żołnierzy wiedziała również, że istotne jest zanotowanie czasu założenia stazy taktycznej. Poprawną odpowiedź na pytanie „czy powinno się notować czas założenia stazy taktycznej?” czyli „tak, jest to istotne” wybrało 143 (63,27%) badanych. Z kolei 71 (31,42%) uważało, że czas ten można zanotować, jednak nie jest to istotne, natomiast 12 (5,31%) uważało, że nie ma potrzeby notowania czasu zastosowania stazy taktycznej.

Żołnierze zostali zapytani także o czas stosowania bezpośredniego ucisku po aplikacji opatrunków hemostatycznych. Prawie połowa – 110 (48,67%) wybrała odpowiedź błędną stwierdzając, że bezpośredni ucisk przy użyciu opatrunku hemostatycznego powinno się stosować tak długo jak to możliwe, natomiast odpowiedź poprawną – 3 minuty wybrało 66 (29,2%) badanych.

Spśród badanych zdecydowana większość - 169 (74,78%) wiedziała, że najważniejszym elementem taktycznej pomocy medycznej u poszkodowanych z zaburzeniami świadomości jest rozbrojenie. Tlenoterapię wybrało 25 (11,06%) biorących udział w badaniu, odseparowanie od innych poszkodowanych - 15 (6,64%), a pilny transport do szpitala - 17 (7,52%).

Postępowanie w przypadku obrażeń czaszkowo-mózgowych zostało ujęte w dwóch pytaniach. Pierwsze dotyczyło poziomu saturacji krwi, do jakiego powinno się dążyć

u poszkodowanych z obrażeniami czaszkowo-mózgowymi według standardów TCCC. W tym przypadku prawidłową odpowiedź, czyli powyżej 90% wybrało 34 (15,04%) badanych. Zdecydowana większość – 144 (63,72%) uznała, że powinno to być przynajmniej 80%. Drugie pytanie dotyczyło się obniżania ciśnienia śródczaszkowego u chorych z urazowym uszkodzeniem mózgu (TBI). W tym przypadku 62 (27,44%) badanych żołnierzy wybrało prawidłową odpowiedź, stwierdzając, iż chory z objawami podwyższonego ciśnienia śródczaszkowego w wyniku TBI powinien otrzymać 250 ml 3% lub 5% roztworu NaCl, powinien być hiperwentylowany, a jego głowa powinna być uniesiona względem reszty ciała o 30°. Zestawienie odpowiedzi biorących udział w badaniu przedstawia tabela II.

**Tabela II. Zestawienie odpowiedzi żołnierzy zawodowych na pytania dotyczące postępowania ratowniczego z poszkodowanym z obrażeniem czaszkowo-mózgowym**

Do jakich wartości saturacji krwi należy dążyć u poszkodowanych z obrażeniami czaszkowo-mózgowymi według wytycznych TCCC	<b>&gt; 90%<sup>1</sup></b>	<b>34 (15,04%)<sup>1</sup></b>
	Przynajmniej 80%	144 (63,72%)
	< 95%	7 (3,1%)
	Nie wyższych niż 90%	41 (18,14%)
W przypadku urazowego uszkodzenia mózgu (TBI) należy obniżyć ciśnienie śródczaszkowe. W jaki sposób?	<b>Podać 250 ml 3% lub 5% NaCl, unieść głowę poszkodowanego o 30° i hiperwentylować<sup>1</sup></b>	<b>62 (27,44%)<sup>1</sup></b>
	Podać 500 ml 0,9% NaCl, unieść głowę poszkodowanego o 30° i unikać nadmiernej hiperwentylacji	54 (23,89%)
	Unieść głowę poszkodowanego o 30°, nie podawać płynów i nie wentylować poszkodowanego	110 (48,67%)

<sup>1</sup> Prawidłowe odpowiedzi zaznaczono pogrubioną czcionką

Zakończeniem kwestionariusza były pytania dotyczące MASCAL oraz MedEvac. MASCAL jest sytuacją, w której jeden ratownik ma pod opieką więcej niż jednego poszkodowanego wymagającego natychmiastowej pomocy. Odpowiedź ta została wybrana przez 98 (43,36%) ankietowanych. W przypadku meldunku MedEvac zdecydowana większość – 165 (73,01%) uczestników badania wiedziała do czego służy. Jednakże szczegółowe pytanie, w którym należało wybrać wszystkie prawidłowe odpowiedzi dotyczące meldunku MedEvac sprawiło badanym żołnierzom więcej trudności. Odpowiedzi, jakich udzielali respondenci przedstawiono w tabeli III.

**Tabela III. Odpowiedzi żołnierzy biorących udział w badaniu na pytanie, w którym należało wybrać wszystkie prawidłowe odpowiedzi dotyczące meldunku MedEvac**

<b>Jego celem jest szybki i sprawny transport poszkodowanych<sup>1</sup></b>	<b>124 (54,87%)<sup>1</sup></b>
<b>Jego celem jest szybkie oczyszczenie miejsca działań taktycznych, tak aby dowódca mógł dokończyć zadanie taktyczne<sup>1</sup></b>	<b>10 (4,42%)<sup>1</sup></b>
<b>Odbywa się na podstawie meldunku zawierającego podstawowe informacje o stanie poszkodowanego, sytuacji</b>	<b>194 (85,84%)<sup>1</sup></b>

<b>taktycznej oraz o warunkach panujących na miejscu zdarzenia<sup>1</sup></b>	
Pierwsza linia meldunku odpowiada priorytetowi transportu	47 (20,8%)
Priorytetowa (PRIORITY) ewakuacja to taka którą należy przeprowadzić w ciągu godziny	71 (31,42%)

<sup>1</sup> Prawidłowe odpowiedzi zaznaczono pogrubioną czcionką

## 6. OMÓWIENIE WYNIKÓW

Wszystkie działania obejmujące opiekę nad poszkodowanym na polu walki określają wytyczne Tactical Combat Casualty Care (TCCC) stworzone w 1996 roku. Zaledwie 26% uczestniczących w badaniu żołnierzy wiedziało, według jakich trzech zasad działa TCCC [1,7].

Komitet TCCC zaleca użycie stazy taktycznej w fazie opieki pod ostrzałem „care under fire”. Spowodowane jest to szybkością i prostotą jej założenia, a także możliwością samopomocy żołnierza. Każdy żołnierz powinien posiadać taką stazę taktyczną w miejscu szybko dostępnym do użycia. Zgodnie z TCCC w fazie opieki pod ostrzałem staza powinna być zaaplikowana możliwie najwyżej na kończynie, nawet na mundur poszkodowanego. W pozostałych sytuacjach powinna być założona bezpośrednio nad miejscem krwawienia 5-7 cm nad raną. Należy również zaznaczyć czas założenia stazy przez zapisanie litery „T” oraz godziny na czole poszkodowanego. Bezpieczny czas założenia stazy taktycznej nie może przekraczać 2 godzin, aby nie powodować uszkodzeń struktur anatomicznych znajdujących się poniżej opaski. Dlatego jeśli ewakuacja chorego będzie trwać dłużej niż 2 godziny należy zastąpić ją środkiem hemostatycznym bądź opatrunkiem uciskowym. Zdecydowana większość – 158 (69,91%) żołnierzy biorących udział w badaniu wiedziało, że użycie stazy taktycznej jest preferowaną metodą zaopatrywania krwotoków podczas opieki pod ostrzałem. Ponad 60% uważało, że zanotowanie czasu założenia stazy jest kwestią istotną [5,10].

Masywne krwotoki z kończyn, obrażenia klatki piersiowej objawiające się odną opłucnową z nadciśnieniem oraz niedrożność dróg oddechowych to zgony do uniknięcia, czyli obrażenia, które mogą doprowadzić do szybkiego zgonu poszkodowanego, a wdrożenie czynności ratunkowych już na poziomie samopomocy może uratować życie. Zaledwie 89 (39,38%) badanych potrafiło wybrać prawidłowy zestaw obrażeń, które mogą być przyczynami zgonów do uniknięcia [2,3,4].

## 7. WNIOSKI

1. Zdecydowana większość badanych żołnierzy wyraża chęć podnoszenia swoich kwalifikacji w zakresie pierwszej pomocy udzielanej w warunkach pola walki.
2. Zdecydowana większość badanych posiada aktualną wiedzę na temat podstawowych zabiegów resuscytacyjnych przeprowadzanych u osób dorosłych oraz wykazuje podstawową znajomość oceny drożności dróg oddechowych i przyrządowych metod ich udrażniania.
3. Niewiele ponad 26% badanych zna trzy filary wytycznych TCCC.
4. Prawie 40% żołnierzy zawodowych wie, które obrażenia mogą przyczyną zgonów do uniknięcia w medycynie taktycznej.
5. Blisko 70% ankietowanych posiada wiedzę w zakresie zaopatrywania krwotoków w warunkach opieki pod ostrzałem.

6. Wiedza żołnierzy zawodowych dotycząca postępowania w przypadku obrażeń czaszkowo-mózgowych nie klaruje się na zadowalającym poziomie. Należy dołożyć wszelkich starań, aby tą wiedzę pogłębić.
7. Wiedza badanej grupy żołnierzy na temat zasad udzielania pierwszej pomocy w warunkach pola walki jest niejednorodna, a jej poziom zależy od rodzaju obrażeń. Należy dołożyć wszelkich starań, aby żołnierze mieli możliwość podnoszenia kwalifikacji w tym temacie.

## LITERATURA

- [1] Butler F.K.: Tactical Combat Casualty Care: Beginnings, Wilderness & Environmental Medicine, vol. 28, no. 2, 2017, p. S12-S17.
- [2] Campbell J.E., Alson R.L. (red.): International Trauma Life Support. Ratownictwo przedszpitalne w urazach. Medycyna Praktyczna, Kraków 2017, s. 69-145, 180-201.
- [3] Chomiczewski K., Gall W., Grzybowski J. (red.): Epidemiologia działań wojennych i katastrof. Alfa Medica Press, Bielsko-Biała 2001, s. 170-187.
- [4] Guła P., Jałoszyński K., Tarnawski P.: Medyczne skutki terroryzmu. PZWL, Warszawa 2017, s. 101-129.
- [5] Guła P., Machała W.: Postępowanie w obrażeniach ciała w praktyce SOR. PZWL, Warszawa 2017, s. 27-47, 71-90.
- [6] Jakubaszko J. (red.): Medycyna ratunkowa. Nagłe zagrożenia zdrowotne pochodzenia wewnętrznego. Górnicki Wydawnictwo Medyczne, Wrocław 2014, s. 15-84.
- [7] Korzeniewski K.: Zabezpieczenie medyczne operacji wojskowych w Iraku i Afganistanie. "Lekarz Wojskowy", nr 1, 2008, s. 46-50.
- [8] Paciorek P., Patrzała A.: Medyczne czynności ratunkowe. PZWL, Warszawa 2014, s. 77-86, 118-216.
- [9] Podlasin A.: Ratownictwo medyczne na współczesnym polu walki. "Anestezjologia i Ratownictwo", nr 4, 2010, s. 382-387.
- [10] Podlasin A.: Taktyczne ratownictwo medyczne. PZWL, Warszawa 2015, s. 13-234.

## **ASSESSMENT OF THE STATUS OF KNOWLEDGE OF PROFESSIONAL SOLDIERS ABOUT PRINCIPLES FOR GRANTING FIRST AID IN CONDITIONS OF BATTLEFIELD**

**Abstract:** The medicine of the battlefield differs from the rescue procedures in civil conditions. The scheme of care of the wounded is defined by the guidelines of TCCC of which the acquaintance lets soldiers save the victim, to protect his health and life and to perform a task. The aim of this work included the assessment of the status of knowledge of professional soldiers about principles for granting first aid in conditions of battlefield and analysis of knowledge guidelines TCCC. The research was conducted among 226 professional soldiers by means of author's questionnaire of anonymous online survey.

**Daria ŁASKAWIEC<sup>1</sup>, Blanka NYCZ<sup>1</sup>, Magdalena TRZEPIZUR<sup>2</sup>, Wojciech STATOWSKI<sup>1</sup>, Joanna KEMPA<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Oddział Kliniczny Ortopedii, Wydział Lekarski z Oddziałem Lekarsko-Dentystycznym w Zabrze, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach

<sup>2</sup> Zakład Medycyny Ratunkowej, Wydział Nauk o Zdrowiu w Bytomiu, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach Bytom, Polska

## **OCENA STANU WIEDZY RATOWNIKÓW MEDYCZNYCH NA TEMAT ZASAD UDZIELANIA PIERWSZEJ POMOCY W WARUNKACH POLA**

**Streszczenie:** Ratownictwo taktyczne jest definiowane poprzez szereg czynności mających na celu ratować poszkodowanego, ograniczyć śmiertelność na polu walki, odpowiedzieć na reakcję ogniową oraz wykonać zadanie taktyczne. W tym celu ważna jest znajomość wytycznych TCCC, które opisują schematy działań na polu walki. Celem pracy była ocena stanu wiedzy ratowników medycznych na temat zasad udzielania pierwszej pomocy w warunkach pola walki. W badaniu uczestniczyło 213 ratowników medycznych, którzy uzupełniali autorski kwestionariusz anonimowej ankiety internetowej.

**Słowa kluczowe:** medycyna pola walki, pierwsza pomoc, ratownictwo medyczne

### 1. WSTĘP

Medycyna taktyczna nazywana również medycyną pola walki przez wielu kojarzona jest jedynie z działaniami podejmowanymi w stosunku do rannych żołnierzy w trakcie konfliktów zbrojnych. Specyfika pomocy medycznej podczas działań taktycznych różni się od postępowania cywilnego. Wielu autorów stwierdza, że dobra medycyna nie zawsze jest dobrą taktyką. Ratownictwo taktyczne to nie tylko pomoc poszkodowanym, ale także ograniczenie liczby ofiar, odpowiedź na atak oraz dokończenie zadania taktycznego. Ten ogół czynności w sposób ujednoczony określają wytyczne TCCC - Tactical Combat Casualty Care. Wytyczne te są taktyczną wersją standardów opieki nad pacjentem urazowym, takich jak ATLS (Advanced Trauma Life Support) stosowanych w postępowaniu pozamilitarnym. To właśnie zmodyfikowane wytyczne ATLS stały się pierwowzorem dla powstania TCCC. Po raz pierwszy opisał je Kapitan Frank Bulter w 1996 roku w publikacji „Taktyczna opieka nad poszkodowanym w operacjach specjalnych” i można przypuszczać, że tworząc je nie przypuszczał, że kiedyś mogą stać się przydatne również dla służb cywilnych [1,4].

Terroryzm choć znany od ponad dwóch stuleci wkroczył w życie obywateli całego świata po wydarzeniach z 11 września 2001 roku, kiedy to w Stanach Zjednoczonych doszło do serii czterech ataków terrorystycznych z wykorzystaniem wprowadzonych samolotów pasażerskich. Ten atak terroru był pierwszym tego typu zamachem i pociągnął za sobą blisko

3000 ofiar śmiertelnych, głównie cywilów. Obecnie o terroryzmie słyszymy praktycznie codziennie i choć część ataków udaje się udaremnić ofiar wciąż przybywa. Prowadzi to do sytuacji, w której cywilne służby medyczne muszą stawić czoła pomocy poszkodowanym, których obrażenia kiedyś zarezerwowane były jedynie dla pola walki. Nie bez znaczenia jest też liczba ofiar, która w przeważającej większości odpowiada wypadkom masowym lub katastrofom. Ważne jest, aby ratownicy medyczni dzięki wiedzy i praktycznym umiejętnościom potrafili poradzić sobie z tak trudnymi sytuacjami i udzielić właściwej pomocy poszkodowanym [6].

## 2. CEL PRACY

Celem pracy była ocena stanu wiedzy ratowników medycznych na temat zasad udzielania pierwszej pomocy w warunkach pola walki oraz analiza znajomości wytycznych TCCC przez ratowników medycznych.

## 3. MATERIAŁ I METODA

W badaniu uczestniczyło 213 zawodowych ratowników medycznych, w tym 151 (70,89%) mężczyzn i 62 (29,11%) kobiet.

Wszystkie dane ujęte w badaniu zebrano w okresie od 1 listopada 2018 roku do 28 lutego 2019 roku przy pomocy autorskiego i anonimowego kwestionariusza ankiety internetowej. Informacje zostały przeniesione do programu Microsoft Office 365 Excel 2018 i poddane analizie, a następnie przedstawione w postaci rycin i tabel.

Wszystkie zebrane dane zostały wykorzystane wyłącznie na potrzeby tego badania.

## 4. CHARAKTERYSTYKA BADANEJ GRUPY

Zdecydowana większość – 120 (56,34%) ratowników medycznych mieściło się w przedziale wiekowym od 30 do 39 lat. Pod kątem liczebności jako druga była grupa badanych mających od 20 do 29 lat – 39 (18,31%). Ratowników medycznych w wieku powyżej 50 lat w badanej grupie było 30, co stanowiło 14,08%, a mających od 40 do 49 lat znalazło się 24 (11,27%)

Najwięcej – 74 (34,74%) badanych ratowników medycznych pracowała zawodowo od 11 do 15 lat, z kolei 61 (28,64%) osób było czynnych zawodowo od 16 do 20 lat. Staż pracy powyżej 20 lat wskazało 27 (12,68%) badanych, poniżej 5 lat - 26 (12,20%), a od 5 do 10 lat pracy 25 (11,74%).

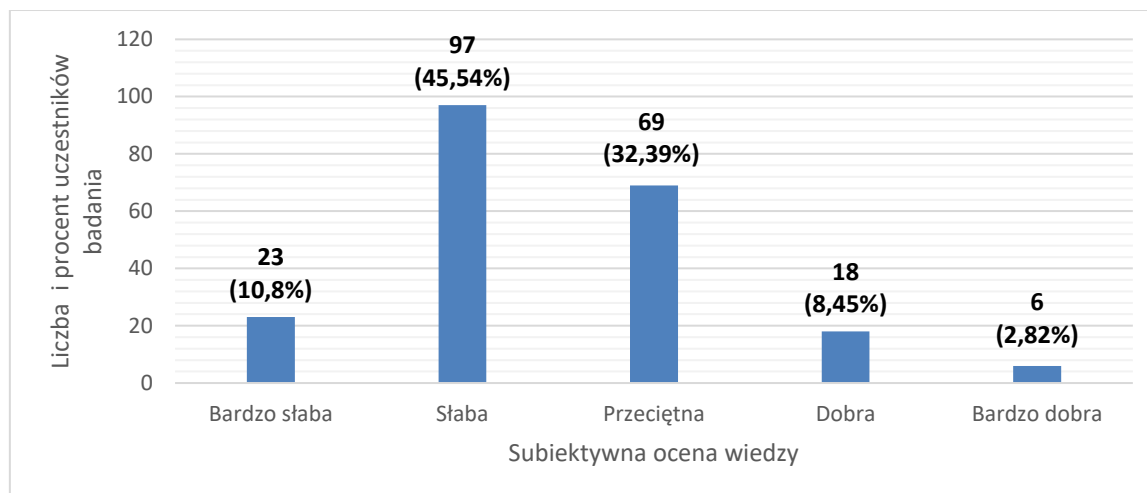
## 5. WYNIKI

Badana grupa ratowników medycznych została poproszona o udzielenie odpowiedzi na temat subiektywnej oceny własnej wiedzy związanej z zasadami udzielania pierwszej pomocy w warunkach pola walki oraz uczestnictwa w kursach z tego zakresu.

Wykazano, że tylko 33 (15,49%) ratowników medycznych uczestniczyło w kursie z zakresu pierwszej pomocy udzielanej w warunkach pola walki. W grupie badanych, którzy brali udział w kursie pierwszej pomocy udzielanej w warunkach pola walki 2 (6,06%) ratowników zostało skierowanych na kurs przez pracodawcę, natomiast 31 (93,94%) badanych uczestniczyło w kursie z własnej inicjatywy.

Na pytanie dotyczące chęci uczestnictwa w kursie z zakresu pierwszej pomocy zdecydowana większość – 209 (98,12%) badanych chce wziąć w nim udział, nawet jeżeli już kiedyś byli na takim szkoleniu.

W kwestii subiektywnej oceny poziomu wiedzy ratowników medycznych objętych badaniem na temat zasad udzielania pierwszej pomocy w warunkach pola walki najwięcej osób oceniło swoją wiedzę jako słabą – 97 (45,54%).



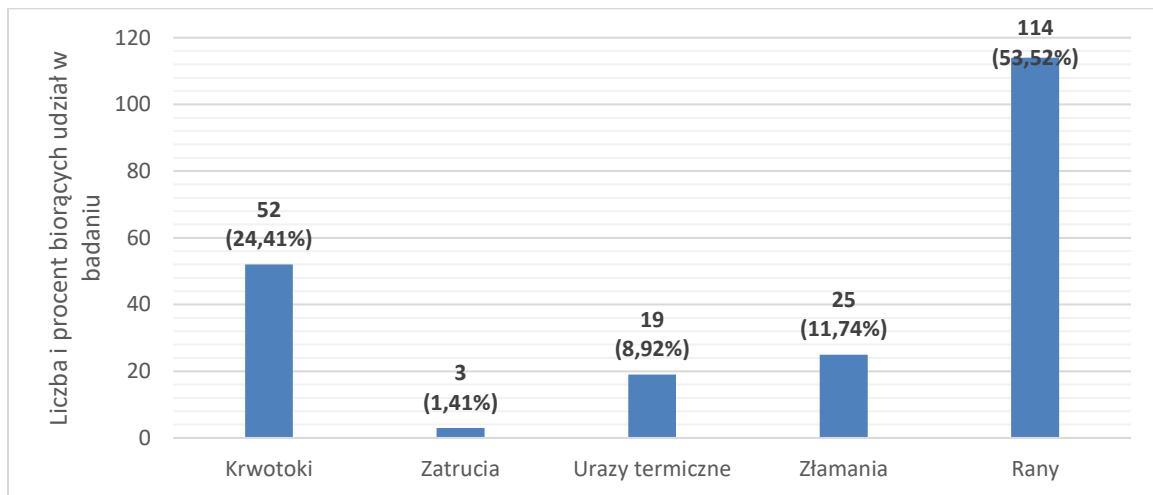
**Rys. 1. Subiektywna ocena wiedzy ratowników biorących udział w badaniu na temat znajomości zasad udzielania pierwszej pomocy w warunkach pola walki**

Wśród badanej grupy ratowników medycznych 3 (1,41%) miało okazję pomóc poszkodowanym, którzy doznali urazu w warunkach pola walki. Natomiast aż 210 (98,59%) badanych nigdy nie udzielało pomocy poszkodowanym podczas wojskowych działań wojennych.

Zdecydowana większość badanych – 198 (92,96%) jako czynnik, który najbardziej utrudnia udzielanie pomocy w warunkach pola walki wskazało sytuację taktyczną, podczas której pomoc medyczna udzielana jest pod ostrzałem. Ponadto ratownicy medyczni wybierali inne czynniki utrudniające udzielanie pomocy medycznej w warunkach taktycznych, a są to: ograniczony sprzęt medyczny – 19 (8,92%), ciemność - 59 (27,70%) oraz ekstremalne warunki takie jak teren pustylny czy górzysty – 32 (15,02%).

Kolejne pytanie zadane badanym ratownikom medycznym dotyczyło okolic ciała najbardziej narażonych na urazy, a także najczęstszych obrażeń wynikających z działań taktycznych. Prawie połowa – 114 (53,52%) ankietowanych wskazała, że najczęstszymi obrażeniami, których doświadczają żołnierze na polu walki są rany. W kwestii najbardziej narażonych na urazy okolic ciała badani mieli możliwość wyboru więcej niż jednej odpowiedzi. Ankietowani wskazali, że najczęściej narażoną okolicą ciała jest głowa – 64 (30,05%) oraz klatka piersiowa – 63 (29,58%).

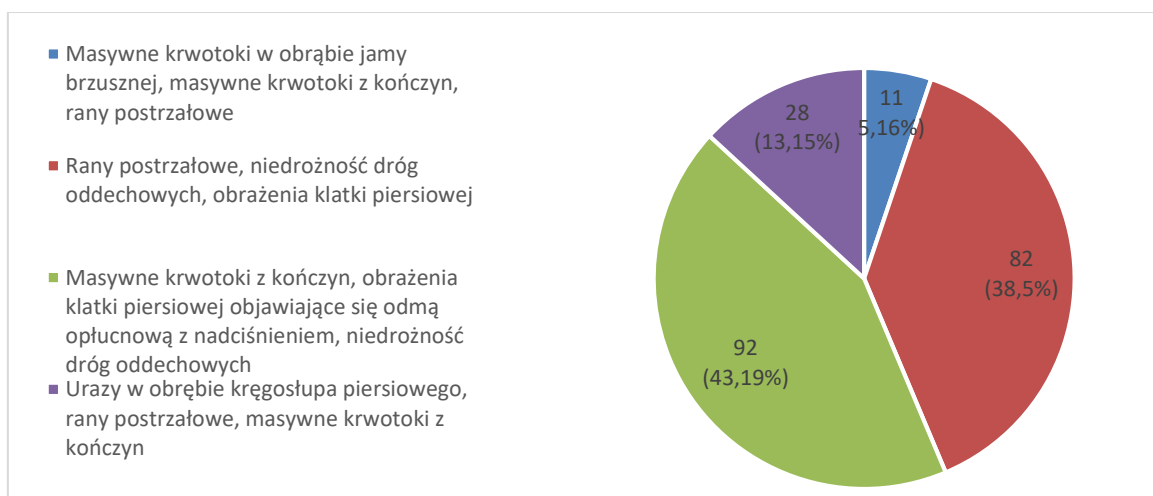




**Rys. 2. Odpowiedzi ratowników medycznych biorących udział w badaniu na pytanie „Do jakich urazów dochodzi najczęściej w warunkach taktycznych?”**

Wśród badanych ratowników medycznych tylko 21 (9,86%) prawidłowo wskazała trzy zasady – udzielenie pomocy poszkodowanemu, zapobieganie zwiększeniu liczby rannych i wykonanie zadania taktycznego, na których opiera się działanie TCCC, które polega na łączeniu „dobrej taktyki” z „dobrą medycyną”. Ratownicy, którzy błędnie odpowiedzieli na pytanie obejmujące zasady działania TCCC łączyli je z uśmierzaniem bólu i ewakuacją.

Kolejnym etapem badania była analiza stanu wiedzy ratowników medycznych dotyczącej znajomości zgonów do uniknięcia, które zdarzają się na polu walki. Tylko 92 (43,19%) badanych prawidłowo wskazała obrażenia, które mogą być przyczyną zgonów na polu walki i jednocześnie można było ich uniknąć.



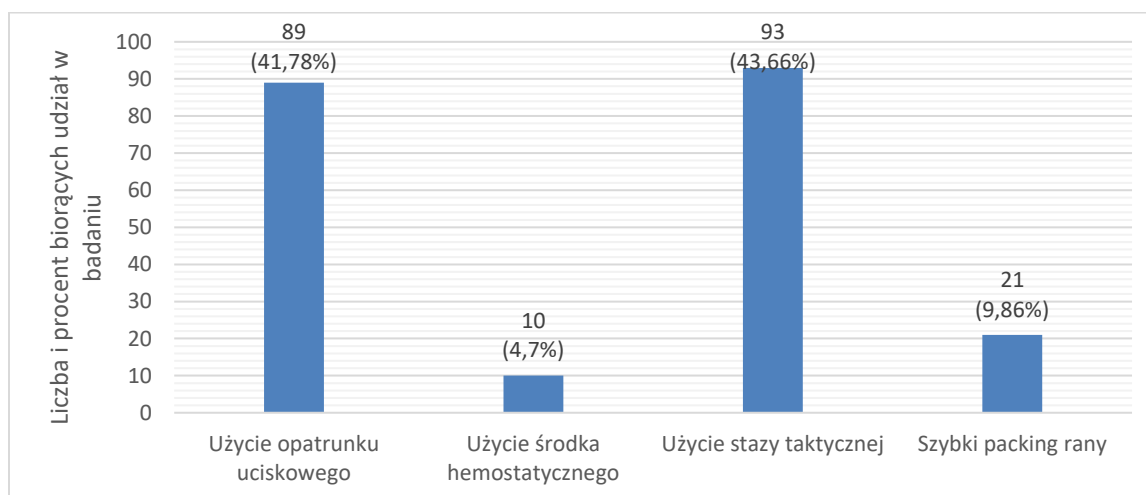
**Rys. 3. Odpowiedzi ratowników medycznych biorących udział w badaniu na pytanie dotyczące prawidłowego zestawu obrażeń, które mogą być zgonami do uniknięcia**

W celu sprawdzenia czy ratownicy znają zasady udzielania pomocy medycznej w fazie taktycznej pomocy polowej (TPP) wykorzystano przypadek poszkodowanego z urazem tułowia. Tylko 16 (7,51%) badanych wybrała prawidłową odpowiedź zgodną ze standardami TPP, czyli obustronne nakłucie opłucnej w celu wykluczenia odmy prężnej. Zdecydowana większość 192 (90,14%) po udrożeniu dróg oddechowych przystąpiłaby do resuscytacji krążeniowo-oddechowej, co byłoby właściwym postępowaniem, jednakże w warunkach cywilnych.

Kolejne pytanie skupiało się na właściwym postępowaniu w trakcie szybkiego badania urazowego, podczas którego stwierdzono wystąpienie odmy. Sprawilo ono ankietowanym sporo problemów. Podczas szybkiego badania urazowego w momencie stwierdzenia objawów odmy opłucnej większość badanych – 190 (89,2%) dokończyłoby badanie urazowe, a następnie przystąpiłoby do odbarczenia odmy. Postępowanie to, mimo że jest prawidłowe w codziennej praktyce zespołów ratownictwa medycznego nie jest postępowaniem z wyboru w trakcie taktycznej pomocy poszkodowanym. Prawidłową odpowiedź, czyli przerwanie badania i odbarczenie odmy wskazało tylko 23 (10,8%) ankietowanych.

Ratownicy medyczni uczestniczący w badaniu mieli problem ze wskazaniem najlepszej przyrządowej metody udrażniania dróg oddechowych w przypadku udzielania pomocy w warunkach pola walki. 63 (29,58%) respondentów wybrało rurkę ustno – gardłową, 86 (40,38%) – rurkę/maskę krtaniową, a 14 (6,57%) – intubację. Tylko 50 (23,47%) ankietowanych wybrało rurkę nosowo-gardłową, która jest preferowaną metodą przyrządowego udrażniania dróg oddechowych w warunkach taktycznych ze względu na szybkość i łatwość zastosowania oraz najlepszą tolerancję poszkodowanego.

Stan wiedzy ratowników medycznych na temat postępowania w przypadku krwotoków oceniano na podstawie trzech pytań. Pierwsze dotyczyło tamowania krwotoków w fazie opieki pod ostrzałem – care under fire. Odpowiedzi ankietowanych przedstawiono na rycinie 4.



**Rys. 4. Odpowiedzi ratowników biorących udział w badaniu na pytanie, która z metod tamowania krwotoków jest preferowana podczas opieki pod ostrzałem**

Najliczniejsza grupa- 212 (99,53%) badanych ratowników wie, że istotne jest zanotowanie czasu założenia stazy taktycznej. Tylko jedna (0,47%) osoba jest zdania, że czas założenia stazy taktycznej można zanotować, lecz nie jest to istotne

Następnie zapytano ratowników medycznych o czas, przez jaki należy stosować bezpośredni ucisk po aplikacji opatrunków hemostatycznych. Ponad połowa – 113 (53,05%) wybrała odpowiedź błędną wskazując, że bezpośredni ucisk przy użyciu opatrunku hemostatycznego powinno się stosować tak długo jak to możliwe, natomiast odpowiedź poprawną – 3 minuty wybrało tylko 30 (14,08%) badanych.

Kolejne pytanie dotyczyło taktycznej pomocy medycznej u poszkodowanych z zaburzeniami świadomości. Zdecydowana większość - 156 (73,23%) badanych wie, że w tym przypadku najistotniejsze jest rozbrojenie. 2 (0,94%) respondentów wskazało na tlenoterapię, z kolei odseparowanie od innych poszkodowanych wybrało 45 (21,13%), a pilny transport do szpitala - 10 (4,7%).

Kolejne dwa pytania obejmowały postępowanie w przypadku obrażeń czaszkowo-mózgowych. Zestawienie odpowiedzi biorących udział w badaniu przedstawia tabela I.

**Tabela I. Zestawienie odpowiedzi biorących udział w badaniu na pytania dotyczące obrażeń czaszkowo-mózgowych – prawidłowe odpowiedzi zaznaczono kolorem zielonym**

Do jakich wartości saturacji krwi należy dążyć u poszkodowanych z obrażeniami czaszkowo-mózgowymi według wytycznych TCCC	> 90%	161 (75,59%)
	Przynajmniej 80%	50 (23,47%)
	< 95%	1 (0,47%)
	Nie wyższych niż 90%	1 (0,47%)
W przypadku urazowego uszkodzenia mózgu (TBI) należy obniżyć ciśnienie śródczaszkowe. W jaki sposób?	Podać 250 ml 3% lub 5% NaCl, unieść głowę poszkodowanego o 30° i hiperwentylować	207 (97,18%)
	Podać 500 ml 0,9% NaCl, unieść głowę poszkodowanego o 30° i unikać nadmiernej hiperwentylacji	1 (0,47%)
	Unieść głowę poszkodowanego o 30°, nie podawać płynów i nie wentylować poszkodowanego	5 (2,35%)

Ostatni etap badania obejmował pytania dotyczące MASCAL oraz MedEvac. MASCAL jest sytuacją, w której jeden ratownik ma pod opieką więcej niż jednego poszkodowanego wymagającego natychmiastowej pomocy. Tą prawidłową odpowiedź wybrało 58 (27,23%) ratowników medycznych. Z kolei odpowiedzi badanych dotyczące meldunku MedEvac zostały ujęte w tabeli II.

**Tabela II. Odpowiedzi ratowników medycznych biorących udział w badaniu na pytanie, w którym należało wybrać wszystkie prawidłowe odpowiedzi dotyczące meldunku MedEvac – prawidłowe odpowiedzi zaznaczono kolorem zielonym**

Jego celem jest szybki i sprawny transport poszkodowanych	63 (29,58%)
Jego celem jest szybkie oczyszczenie miejsca działań taktycznych, tak aby dowódca mógł dokończyć zadanie taktyczne	10 (4,7%)
Odbywa się na podstawie meldunku zawierającego podstawowe informacje o stanie poszkodowanego, sytuacji taktycznej oraz o warunkach panujących na miejscu zdarzenia	128 (60,09%)
Pierwsza linia meldunku odpowiada priorytetowi transportu	32 (15,02%)
Priorytetowa (PRIORITY) ewakuacja to taka którą należy przeprowadzić w ciągu godziny	57 (26,76%)

## 6. OMÓWIENIE WYNIKÓW

Wiele urazów bardzo często doprowadza do uszkodzenia naczyń krwionośnych, co skutkuje wystąpieniem krwotoku, będącym bezpośrednim zagrożeniem życia w mechanizmie wstrząsu krwotocznego. Krwotoki z kończyn określane są mianem częstej i odwracalnej

przyczyny śmierci w warunkach bojowych, stąd zatamowanie krwotoku to jedna z priorytetowych czynności, którą należy wykonać u poszkodowanego [7,8].

Tylko 92 (43,19%) badanych ratowników wie, które obrażenia prawidłowo zaopatrzone mogą uratować rannego przed śmiercią.

U ofiar, które doznały urazu wielonarządowego główną przyczyną śmierci są urazy czaszkowo- mózgowe, czyli pourazowe uszkodzenie mózgu (TBI). Prowadzi to do wzrostu ciśnienia śródczaszkowego zaburzającego przepływ mózgowy. Objawem takiego stanu jest przede wszystkim utrata świadomości, dlatego pierwszorzędną czynnością jest pozbawienie żołnierza broni. Zdecydowana większość - 156 (73,23%) badanych wie, że priorytetem w takiej sytuacji jest rozbrojenie żołnierza. Pozostałe symptomy pourazowego uszkodzenia mózgu obejmują lateralizację, poszerzenie źrenic, podwyższone ciśnienie tętnicze oraz zaburzenia oddechowe. W kwestii leczenia powinno się podać dożylnie 250ml hipertonicznego roztworu NaCl, aby nie doprowadzić do rozwoju hipotensji i utrzymać ciśnienie parcjalne tlenu w wartościach powyżej 80 mm Hg. Dodatkowo, aby nie pogorszyć stanu chorego i zapobiec hipoksji powinno się także dobrze natlenować pacjenta 100% tlenem, w celu utrzymania saturacji na poziomie minimum 90%. Należy także unieść głowę poszkodowanego na wysokość 30 stopni, żeby zapewnić prawidłowy odpływ żylny. Zdecydowana większość- 207 (97,18%) ratowników medycznych wie, jak należy postępować w przypadku TBI [2,3,5].

Nieodłącznym elementem pomocy na polu walki jest również ewakuacja chorych z miejsca zdarzenia do strefy bezpiecznej. Przydatny jest do tego system ewakuacji medycznej, znany jako MedEvac. Jego celem jest transport poszkodowanego zarówno z miejsca zranienia do placówki medycznej, jak i przewiezienie chorego między placówkami medycznymi. Obejmuje on redukcję śmiertelności za pomocą szybkiego i sprawnego transportu, a także szybkie oczyszczenie miejsca działań taktycznych z poszkodowanych, aby dowódca mógł wykonać zadanie taktyczne. Wezwanie MedEvac odbywa się na podstawie meldunku zawierającego podstawowe informacje o stanie poszkodowanego i sytuacji taktycznej, a także o warunkach panujących na miejscu zdarzenia, co jest znane 128 (60,09%) badanym ratownikom. Tylko 63 (29,58%) ratowników wie, że celem systemu MedEvac jest szybki i sprawny transport poszkodowanych, natomiast niewielu - 10 (4,7%) ratowników wskazało, że MedEvac również skupia się na oczyszczeniu miejsca działań taktycznych i umożliwieniu dowódcy zakończenia działań taktycznych [9].

## 7. WNIOSKI

1. Zdecydowana większość badanych ratowników medycznych chce podnosić swoje kwalifikacje w zakresie pierwszej pomocy udzielanej w warunkach pola walki.
2. Badani posiadają wiedzę na temat najczęstszych urazów i anatomicznych okolic ciała najbardziej narażonych na obrażenia doznane podczas działań taktycznych.
3. Zaledwie 10% badanych zna trzy filary wytycznych TCCC, a niecałe 44% wie, które obrażenia mogą być przyczyną zgonów do uniknięcia w medycynie taktycznej.
4. Badani ratownicy medyczni posiadają dobrą wiedzę z zakresu postępowania w przypadku urazów czaszkowo-mózgowych, natomiast konieczne wydaje się być poszerzenie wiedzy z zakresu zaopatrywania krwotoków w warunkach opieki pod ostrzałem.
5. Wiedza badanej grupy ratowników medycznych na temat zasad udzielania pierwszej pomocy w warunkach pola walki nie klasyfikuje się na najwyższym poziomie. Na podstawie otrzymanych wyników badań wydaje się być uzasadnione obowiązkowe podnoszenie kwalifikacji omawianej grupy zawodowej z zakresu zasad udzielania

pierwszej pomocy w warunkach pola walki, która różni się od zasad obowiązujących w warunkach cywilnych.

## LITERATURA

- [1] Butler F.K.: Tactical Combat Casualty Care: Beginnings, Wilderness & Environmental Medicine, vol. 28, no. 2, 2017, p. S12-S17.
- [2] Campbell J.E., Alson R.L. (red.): International Trauma Life Support. Ratownictwo przedszpitalne w urazach. Medycyna Praktyczna, Kraków 2017, s. 69-145, 180-201.
- [3] Guła P., Machała W.: Postępowanie w obrażeniach ciała w praktyce SOR. PZWL, Warszawa 2017, s. 27-47, 71-90.
- [4] Hodgetts T.J., Mahoney P.F., Russell M.Q., Byers M.: ABC to <C> ABC: redefining the military trauma paradigm, Emergency Medicine Journal, vol. 23, no. 10, 2006, p. 745-746.
- [5] Jakubaszko J. (red.): Medycyna ratunkowa. Nagłe zagrożenia zdrowotne pochodzenia wewnętrznego. Górnicki Wydawnictwo Medyczne, Wrocław 2014, s. 15-84.
- [6] Korzeniewski K.: Zabezpieczenie medyczne operacji wojskowych w Iraku i Afganistanie. "Lekarz Wojskowy", nr 1, 2008, s. 46-50.
- [7] Paciorek P., Patrzala A.: Medyczne czynności ratunkowe. PZWL, Warszawa 2014, s. 77-86, 118-216.
- [8] Podlasin A.: Ratownictwo medyczne na współczesnym polu walki. "Anestezjologia i Ratownictwo", nr 4, 2010, s. 382-387.
- [9] Podlasin A.: Taktyczne ratownictwo medyczne. PZWL, Warszawa 2015, s. 13-234.

## ASSESSMENT OF THE STATUS OF KNOWLEDGE OF PARAMEDICS ABOUT PRINCIPLES FOR GRANTING FIRST AID IN CONDITIONS OF BATTLEFIELD

**Abstract:** Tactical rescue is defined by a series of activities aimed at rescuing a wounded soldier, reducing mortality on the battlefield, responding to a fire reaction and performing a tactical task. To this purpose, it is important to know the TCCC guidelines, which describe the schemes of action on the battlefield. The aim of this work was to evaluate the status of knowledge of paramedics about principles for granting first aid in conditions of battlefield. In this research 213 paramedics took part who supplemented the questionnaire of anonymous online survey.

**Katarzyna NOWAKOWSKA-LIPIEC<sup>1</sup>, Katarzyna JOCHYMCZYK-WOŹNIAK<sup>1</sup>,  
Barbara MIKULA<sup>1</sup>, Wojciech WOLAŃSKI<sup>1</sup>, Marek GZIK<sup>1</sup>, Robert MICHNIK<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Katedra Biomechatroniki, Politechnika Śląska, Zabrze

## **ANALIZA BIOMECHANICZNA CHODU WETERANA WOJENNEGO – ANALIZA PRZYPADKU**

**Streszczenie:** W pracy dokonano oceny biomechanicznej funkcji lokomocyjnych weterana wojennego. Uzyskane dla weterana wojennego wyniki ilościowej analizy chodu porównano z wartościami otrzymanymi dla grupy 56 zdrowych osób dorosłych, bez zaburzeń w obrębie narządu ruchu. Badania doświadczalne przeprowadzono z wykorzystaniem systemu optoelektronicznego BTS Smart. Analizie porównawczej poddano parametry czasowo-przestrzenne i kinematyczne chodu oraz zmiany energii całkowitej, potencjalnej, wypadkowej energii kinetycznej w czasie chodu. Uzyskane dla weterana wojennego wyniki znacznie odbiegały od wartości/zakresów normatywnych, wskazując na znaczne obrażenia aparatu ruchu, które poniósł podczas wybuchu improwizowanego urządzenia wybuchowego.

**Słowa kluczowe:** analiza chodu, BTS Smart, wydatek energetyczny, weteran wojenny

### 1. WSTĘP

Chód jako jedna z podstawowych form lokomocji człowieka stanowi nieodzowny element jego życia. Mimo tego, że na co dzień kojarzony jest z naturalnym elementem życia, w rzeczywistości stanowi złożoną czynność ruchową. Ze względu na fakt, że człowiek średnio pokonuje dziennie niemal 4,5 kilometra pieszo, duże znaczenie ma optymalizacja chodu [12]. Im większa odległość zostanie pokonana dla danego nakładu energii tym lepiej.

W biomechanice chód opisywany jest za pomocą parametrów czasowo-przestrzennych, kinematycznych i dynamicznych [14, 17]. Uzyskane dane z pomiarów kinematyki chodu mogą również posłużyć do analizy zmiany energii wydatkowanej podczas chodu. Określenie wydatkowanej energii, czyli wydajności ruchu jest ważnym uzupełnieniem całościowego badania funkcji lokomocyjnych. W czasie chodu nieustannie zachodzą zmiany energii potencjalnej oraz kinetycznej, z tego powodu chód wiąże się ze stałym zużyciem energii metabolicznej, bez względu na to, czy człowiek porusza się ze zmienną czy też ze stałą prędkością. Z każdym stawianym przez człowieka krokiem wiąże się strata energetyczna, którą należy nieustannie uzupełniać [3, 4]. Wynika ona m. in. z wydzielania ciepła czy też z efektów akustycznych chodu. Do metod wyznaczania wydatku energii zalicza się ocenę kosztu metabolicznego oraz mechanicznego chodu [7]. Zużycie energii w czasie chodu można wyznaczyć jako sumę potencjalnej i kinetycznej środka ciężkości ciała oraz sumy energii kinetycznej segmentów ciała ruchu postępowego i obrotowego względem środka ciężkości ciała. Cavagna i wsp. wykazali, że w czasie chodu ma miejsce wzajemna zamiana energii

potencjalnej i kinetycznej, jednak nie są one całkowite [4,5]. Właściwa koordynacja poszczególnych segmentów ciała podczas chodu wiąże się z prawidłową wzajemną zamianą energii potencjalnej i kinetycznej. Pozwala to utrzymywać stały poziom energii mechanicznej w czasie chodu, czyli sumę energii potencjalnej i kinetycznej. Zaburzona koordynacja ruchowa wpływa na rozszynchronizowanie zmian energii kinetycznej i potencjalnej środka masy ciała. Pojawiają się wówczas mechanizmy kompensacyjne, które powodują obniżenie, podwyższonego na skutek zaburzeń funkcjonalnych, zużycia energii [20]. Określeniem wartości energii potencjalnej i kinetycznej w czasie chodu i biegu zajmowali się autorzy licznych prac [3,4,8,9,10,19]. Przeglądając literaturę odnaleźć można kilka prac naukowych związanych z określeniem zmian energii podczas chodu dzieci z zaburzeniami funkcji lokomocyjnych [10,13,20].

Dokonując przeglądu literatury związanego z zagadnieniami oceny chodu żołnierzy odnaleźć można głównie badania oceniające wpływ przenoszenia dużych obciążeń (np. ubranie, sprzęt wojskowy, plecak) na funkcje lokomocyjne [1,2,15]. Odszukać można również publikacje związane z oceną chodu żołnierza z zwknięciem stawu biodrowego [17], czy leczeniem objawowym płaskich stóp żołnierzy [11]. W literaturze nie odnaleziono natomiast badań dotyczących biomechanicznej oceny chodu żołnierzy, którzy ponieśli obrażenia w czasie wybuchu improwizowanych urządzeń wybuchowych i pocisków formowanych wybuchowo – najczęstszych przyczyn obrażeń układu szkieletowo-mięśniowego (69-82%) na polu walki w Iraku i Afganistanie w latach 2001-2010, co potwierdzają dane z raportu HFM-090 [6,16]. Skala takich obrażeń jest ogromna i różnorodna ze względu na bardzo dużą liczbę czynników wpływających na ciało żołnierza podczas wybuchu.

Celem niniejszej pracy była biomechaniczna ocena funkcji lokomocyjnych weterana wojennego, który poniósł obrażenia podczas misji wojskowych w Afganistanie na skutek wybuchu improwizowanego urządzenia wybuchowego.

## 2. MATERIAŁ I METODY

Badaną osobą był weteran wojenny, który uległ poważnemu wypadkowi w trakcie misji stabilizacyjnej w Afganistanie. Wśród obrażeń rozpoznanych w dniu urazu wymieniono: złamanie kompresyjne kręgów C3-C4 oraz Th2-Th5 z wgłobieniem odłamów kostnych do światła kanału kręgowego, złamania wyrostków poprzecznych kręgów L4-L5, wstrząśnienia mózgu, uszkodzenia śledziony, krwiaki wątroby oraz częściowy ubytek słuchu. Wyniki biomechanicznej analizy chodu uzyskane w ramach przeprowadzonych badań otrzymane dla żołnierza zestawiono z wynikami grupy kontrolnej (56 zdrowych osób dorosłych, bez zaburzeń w obrębie aparatu ruchu). Charakterystyka grupy badanej zamieszczona została w Tabeli 3.

**Tabela 3. Charakterystyka grupy badanej**

	Liczebność		Wiek [lata]	Wysokość ciała [m]	Masa ciała [kg]
Norma	56		22 ± 4	1,75 ± 0,09	69,5 ± 13,7
	27 mężczyzn	29 kobiet			
Weteran wojenny	1 (mężczyzna)		33	1.78	60

Na badania uzyskano zgodę komisji bioetycznej (Uchwała 16/WIM/2017). W ramach wywiadu zebrano dane antropometryczne osób badanych. Badania biomechaniczne chodu

przeprowadzono z wykorzystaniem systemu do analizy ruchu BTS Smart, wykorzystując: 6 kamer emitujących światło podczerwone, aparaty wideo rejestrujące przebieg badania, jednostka sterująca oraz zintegrowane oprogramowanie. Markery na ciele badanych osób umieszczono zgodnie z protokołem Davisa. Przed przystąpieniem do badań przeprowadzono kalibrację sprzętu optoelektronicznego, ścieżce pomiarowej przypisano układ współrzędnych, który definiował odpowiednio kierunki ruchu. Jego orientacja określiła ruch w osi Z jako ruch wzdłuż osi strzałkowej, w osi X jako ruch środka ciężkości ciała w osi poprzecznej oraz wzdłuż osi Y jako ruch w górę oraz w dół. Analizie porównawczej poddano parametry czasowo-przestrzenne (długość trwania fazy podporowej, wymachowej i dwupodporowej chodu, częstotliwość stawiania kroków, długość kroku, średnia prędkość chodu), parametry kinematyczne chodu (pochylenie miednicy w płaszczyźnie czołowej, pochylenie miednicy w płaszczyźnie strzałkowej, rotacja miednicy, przywodzenie-odwodzenie biodra, zginanie-prostowanie biodra, rotacja biodra, przywodzenie-odwodzenie kolana, zginanie-prostowanie kolana, rotacja kolana, zgięcie w stawie skokowym, ułożenie stopy w płaszczyźnie czołowej) oraz bazując na metodzie kinematycznej, wykorzystano położenie środka ciężkości ciała i wyznaczono pracę mechaniczną w trakcie chodu badanych osób. Przyjęto upraszczające założenie, zgodnie z którym ogólny środek ciężkości ciała (OSC) pokrywa się z markerem, który znajduje się na kości krzyżowej. Na podstawie zmian współrzędnych markera wyznaczono przemieszczenie OSC oraz chwilowe wartości prędkości w osi pionowej, strzałkowej oraz poprzecznej. Za pomocą autorskich aplikacji napisanych w środowisku MatLab dla każdej badanej osoby wyznaczono chwilowe wartości energii potencjalnej, wypadkowej energii kinetycznej i energii całkowitej znormalizowane do 100% cyklu chodu. Wartości chwilowe wszystkich składowych energii standaryzowano względem masy ciała. Wyznaczono ponadto średnie wartości zmian energii potencjalnej, kinetycznej oraz całkowitej w cyklu chodu znormalizowane względem masy ciała oraz długości kroku.

Wartości energii potencjalnej wyznaczono zgodnie ze wzorem:

$$\Delta E_p = \frac{m_c g (h_{max} - h_{min})}{m_c s_l} \quad [J \cdot kg^{-1} \cdot m^{-1}] \quad (1)$$

gdzie:

$\Delta E_p$  – średnia wartość zmian energii potencjalnej w czasie chodu, standaryzowana względem masy ciała i przebytego dystansu [ $J \cdot kg^{-1} \cdot m^{-1}$ ],

$g$  - przyspieszenie ziemskie [ $9,81 m \cdot s^{-2}$ ],

$h_{max}$ ,  $h_{min}$  - odpowiednio najwyższe i najniższe położenie środka ciężkości OSC w cyklu chodu [m],

$m_c$  – masa ciała badanej osoby [kg],

$s_l$  – długość kroku badanej osoby [m].

Średnia wartość zmian wypadkowej energii kinetycznej w pojedynczym cyklu chodu została obliczona zgodnie ze wzorem:

$$\Delta E_k = \frac{m_c \Delta V_w}{2 m_c s_l} \quad [J \cdot kg^{-1} \cdot m^{-1}] \quad (2)$$

gdzie:

$\Delta E_k$  – średnia wartość zmian wypadkowej energii kinetycznej standaryzowanej względem masy ciała i przebytego dystansu [ $J \cdot kg^{-1} \cdot m^{-1}$ ]

$\Delta V_w$  – zmiana wypadkowej prędkości środka masy ciała [ $m \cdot s^{-1}$ ]

$m_c$  – masa ciała badanej osoby [kg],

$s_l$  – długość kroku badanej osoby [m].

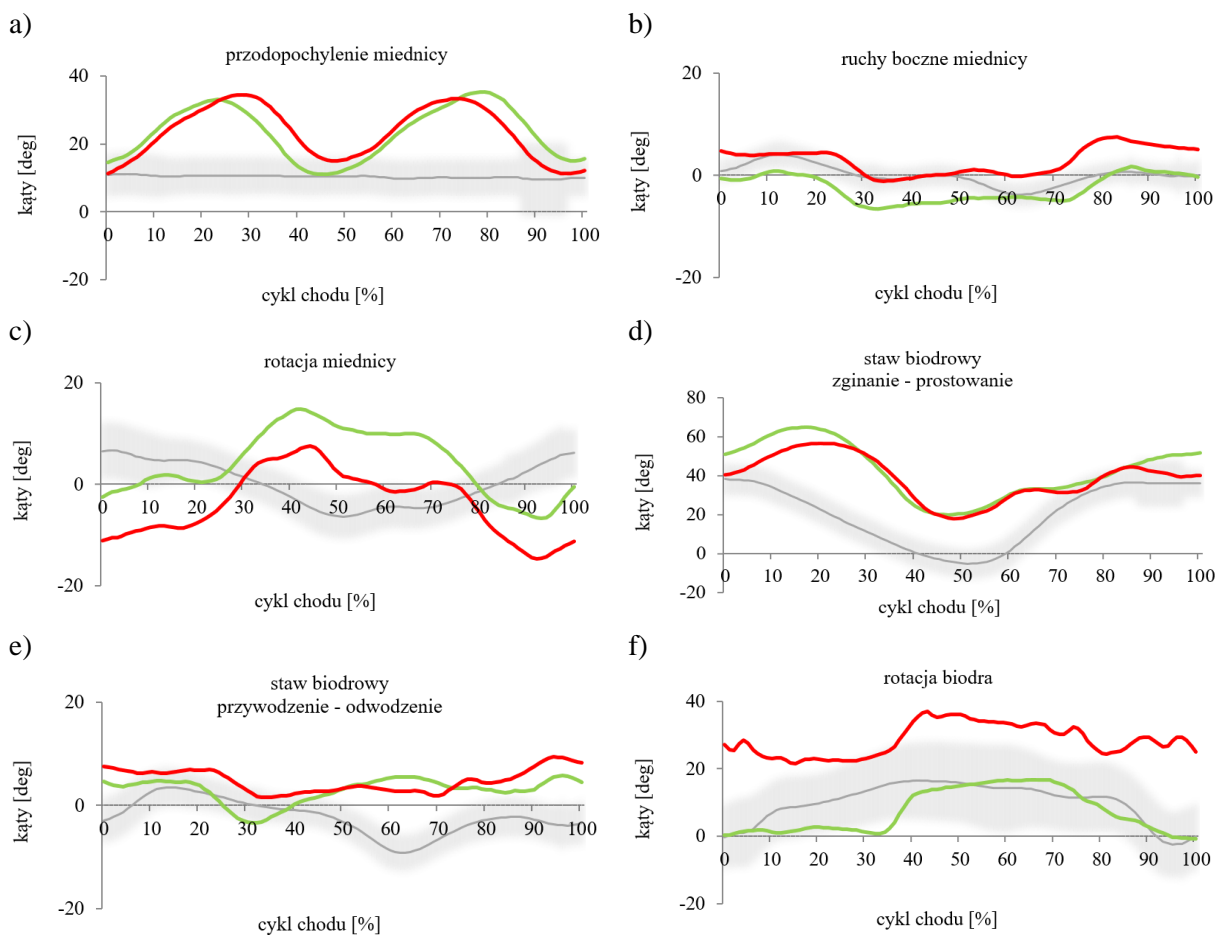


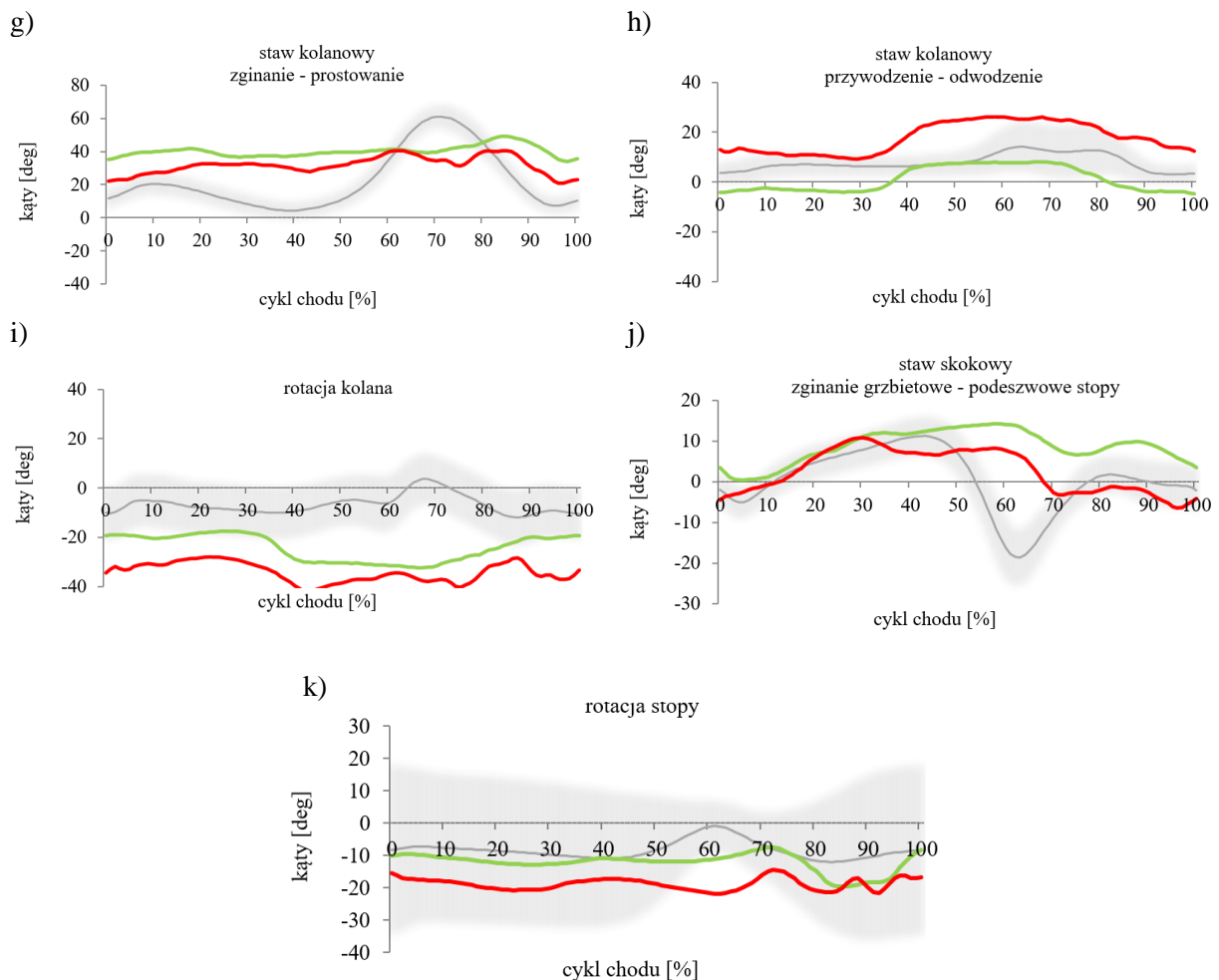
Suma średniej wartości zmian energii potencjalnej i wypadkowej energii kinetycznej środka ciężkości ciała daje średnią wartość zmian energii całkowitej ciała w cyklu chodu.

$$\Delta E_c = \Delta E_p + \Delta E_k \quad [J \cdot kg^{-1} \cdot m^{-1}] \quad (3)$$

### 3. WYNIKI I DYSKUSJA

Uzyskane w ramach przeprowadzonych badań weterana wojennego wyniki zestawiono z wartościami osób zdrowych (Tabela 4). Analizie poddano 5 przejść żołnierza po ścieżce pomiarowej, uzyskane zmienne z wszystkich przejść uśredniono. W porównaniu z grupą kontrolną żołnierz poruszał się znacznie wolniej (średnia prędkość dla normy wyniosła  $1,33 \pm 0,06$  m/s, a dla weterana wojennego  $0,28 \pm 0,03$  m/s). Średnia długość kroku weterana wojennego wyniosła odpowiednio:  $0,49 \pm 0,01$  m dla kończyny prawej oraz  $0,39 \pm 0,03$  m dla kończyny lewej. Częstotliwość stawiania kroków mężczyzny wyniosła  $35,1 \pm 3,06$  kr/min (dla normy:  $114 \pm 4$  kr/min). Czas trwania fazy podporowej chodu dla weterana wojennego trwał średnio  $76,5 \pm 4,17$  % dla cyklu prawej kończyny dolnej i  $72,5 \pm 0,83$  % dla cyklu lewej kończyny dolnej (norma:  $59,45 \pm 1,50$  %). Odnotowano także dwukrotnie dłuższy czas trwania fazy dwupodporowej dla chodu żołnierza ( $21,6 \pm 1,69$  % w cyklu prawej kończyny dolnej,  $29,7 \pm 9,39$  %) w stosunku do normy ( $10,85 \pm 0,85$  %). Rysunki 1a-k przedstawiają zmianę ułożenia miednicy oraz kątów stawach kończyn dolnych w cyklu chodu otrzymane dla weterana wojennego, przedstawione na tle zakresów normatywnych.





**Rys. 1. Zmiana ułożenia miednicy oraz kątów stawach kończyn dolnych w cyklu chodu otrzymane dla weterana wojennego, przedstawione na tle zakresów normatywnych: przodopochylenie miednicy (a), ruchy boczne miednicy (b), rotacja miednicy (c), zginanie-prostowanie w stawie biodrowym (d), przywodzenie-odwodzenie w stawie biodrowym (e), rotacja biodra (f), zginanie-prostowanie w stawie kolanowym (g), przywodzenie-odwodzenie w stawie kolanowym (h), rotacja kolana (i), zginanie grzbietowe-podeszwowe stopy w stawie skokowym (j), rotacja stopy (k),  
(zielony - prawa kończyna dolna, czerwony – lewa kończyna dolna)**

Analizując przebieg ułożenia miednicy w płaszczyźnie strzałkowej (Rys. 1a) zanotowano, iż jest ona naprzemiennie pochylana w przód i w tył, co skutkuje znacznym zwiększeniem jej zakresu ruchu. Podobne zjawisko zaobserwowano w ruchach bocznych miednicy (Rys. 1b): miednica jest nadmiernie kierowana ku dołowi między 25% a 55% cyklu chodu prawej kończyny dolnej. Ponadto w cyklu lewej kończyny dolnej miednica jest nadmiernie unoszona w fazie wymachowej chodu. W przebiegu rotacji miednicy (Rys. 1c) w czasie fazy podporowej jest ona rotowana do wewnątrz, a następnie w czasie fazy wymachowej występuje silna rotacja do zewnątrz. W obrębie stawu biodrowego zarówno podczas zginania i prostowania (Rys. 1d), jak i dla ruchu odwodzenia i przywodzenia (Rys. 1e) widoczny jest zaburzony charakter ruchów. Zaobserwować można zwiększone zgięcie, przy jednoczesnym zmniejszonym zakresie ruchu w płaszczyźnie czołowej (kończyny dolne nie są przywodzone na początku fazy podporowej). Rotacja w stawie biodrowym (Rys. 1f) podobnie jak rotacja stopy (Rys. 1k) dla cyklu prawej kończyny dolnej mieści się w granicach normy. W lewym stawie biodrowym widoczna jest zwiększona rotacja wewnętrzną w całym cyklu chodu, natomiast lewa stopa jest wyraźnie zbyt późno rotowana do wewnątrz. Z kolei w obu stawach kolanowych zaobserwowano zwiększoną rotację zewnętrzną (Rys. 1i). Ruch

zginania oraz prostowania w stawie kolanowym dla weterana wojennego charakteryzuje się znacznie mniejszym zakresem ruchu względem normy. Kończyny dolne pozostają w stałej wartości zgięcia niemal przez cały cykl chodu (Rys. 1g). Ruch przywodzenia-odwodzenia w prawym stawie kolanowym jest bliski normy (Rys. 1h), dla kończyny lewej zaobserwowano zwiększone przywodzenie w stawie kolanowym niemal w całym cyklu chodu. Zmniejszony zakres ruchu w stawach skokowych obu kończyn (Rys. 1j) wynika z braku zgięcia podszwowego na początku fazy wymachowej chodu.

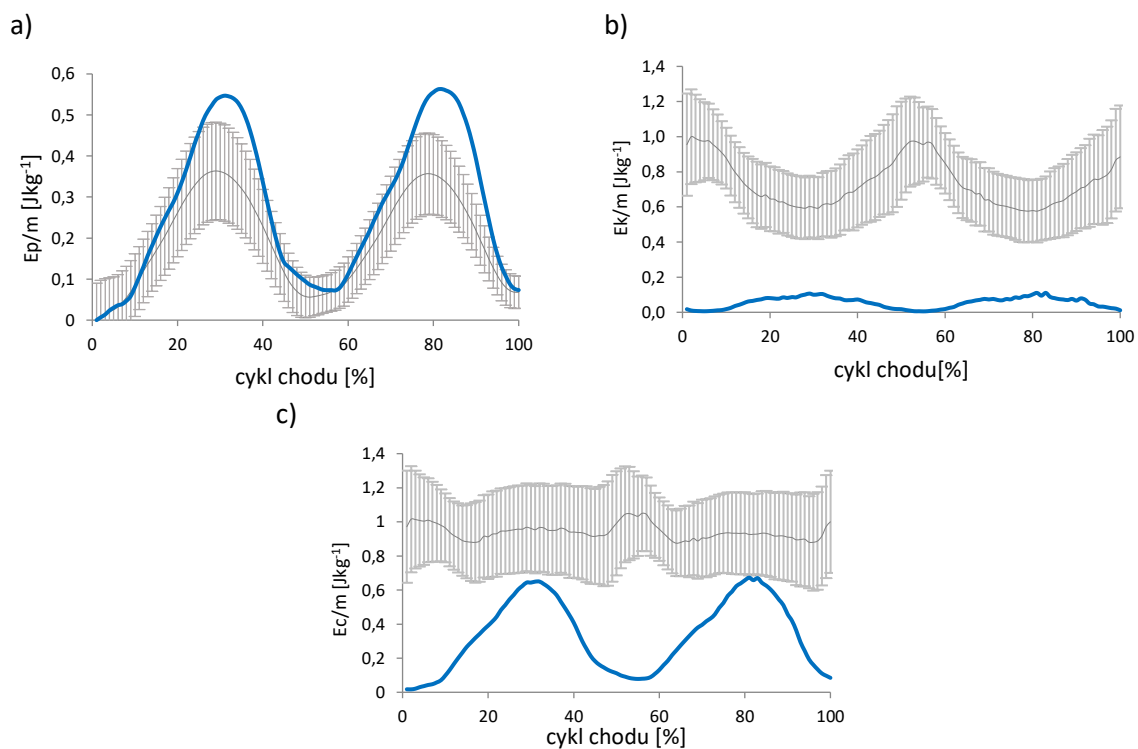
Pacjent nie posiada prawidłowego wzorca ruchu w zakresie prostowania oraz zginania stawu kolanowego. Poważne zaburzenia lokomocji mężczyzny są bezpośrednią konsekwencją przebytych urazów. Występujące obecnie dolegliwości o charakterze przeczulicy obejmują prawą połowę klatki piersiowej, brzuch oraz kończyny dolne, a w szczególności stopy. Zaobserwowana zależność tłumaczy występowanie zmniejszonego zakresu ruchu w jej obrębie.

Analizie poddano również średnie wartości zmian energii potencjalnej, kinetycznej oraz całkowitej w cyklu chodu (Tabela 3). Wartość wydatkowanej przez żołnierza energii całkowitej przewyższa średnią wyznaczoną w ramach normy dla zdrowych osób dorosłych o 0,37 Jkg<sup>-1</sup>m<sup>-1</sup>. Tak znaczna różnica świadczy o dużych trudnościach w poruszaniu się pacjenta, co potwierdzają jego wyniki badań kinematyki (Rys. 1). Najmniejsze różnice wyników żołnierza w stosunku do normy zaobserwowano dla średnich wartości zmian energii kinetycznej. Średnia wartość energii potencjalnej weterana wojennego jest ponad dwukrotnie wyższa niż u osób zdrowych.

**Tabela 4. Wartości średnie, minimalne, maksymalne oraz mediana zmian składowych energii kinetycznej, energii potencjalnej oraz całkowitej środka ciężkości w cyklu chodu, standaryzowane względem masy ciała oraz przebitego dystansu, dla grupy kontrolnej oraz pacjenta – weterana wojennego**

	Dane statystyczne	$\Delta E_p$ [Jkg <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup> ]	$\Delta E_k$ [Jkg <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup> ]	$\Delta E_c$ [Jkg <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup> ]
Norma	Średnia ± SD	0,33 ± 0,06	0,13 ± 0,09	0,45 ± 0,1
	Mediana	0,32	0,1	0,44
	Min ± max	0,19 ± 0,57	0,03 ± 0,67	0,26 ± 0,89
Weteran wojenny	Średnia ± SD	0,69 ± 0,08	0,16 ± 0,04	0,82 ± 0,13
	Mediana	0,66	0,15	0,76
	Min ± max	0,6 ± 0,8	0,13 ± 0,24	0,69 ± 1,02

Rysunek 2 przedstawia chwilowe wartości energii potencjalnej, wypadkowej energii kinetycznej oraz energii całkowitej otrzymane dla weterana wojennego na tle przebiegów otrzymanych dla grupy kontrolnej.



**Rys. 2. Chwilowe wartości energii potencjalnej (a), wypadkowej energii kinetycznej (b) oraz energii całkowitej (c) dla grupą kontrolnej (szary zakres) i weterana wojennego (kolor niebieski)**

Analizując przebiegi zauważyć można, iż chwilowe wartości energii potencjalnej otrzymane dla żołnierza (Rys. 2a) w swych minimach mieszczą się w normie. Wartości maksymalne natomiast odbiegają od zakresu wyznaczonego dla osób zdrowych o  $0,1 \text{ Jkg}^{-1}$ . Z kolei przebieg wypadkowej energii kinetycznej dla żołnierza (Rys. 2b) znacznie bardziej różni się od przebiegu normatywnego, wyznaczonego dla osób zdrowych. Chwilowe wartości energii kinetycznej weterana nie przekraczają  $0,2 \text{ Jkg}^{-1}$ , podczas gdy zakres normatywny w maksimach dla grupy kontrolnej osiąga wartość powyżej  $1,2 \text{ Jkg}^{-1}$ . Na tak duże rozbieżności wpływ w głównej mierze będzie miała niska prędkość chodu pacjenta ( $0,28 \text{ m/s}$ ), znacznie niższa od średniej prędkości wyznaczonej dla grupy kontrolnej ( $1,19 \text{ m/s}$ ). Przebieg zmian energii całkowitej w cyklu chodu weterana wojennego również znacznie odbiega od normy (Rys. 2c). Przebieg ma zupełnie inny charakter: zanotowano tylko 2 maksima, przyjmujące najwyższą wartość w 32% i 82% cyklu chodu, w czasie, gdy dla przebiegu normy odnotowano wartości minimalne. Wartość energii całkowitej wydatkowanej przez weterana wojennego w trakcie chodu jest znacznie mniejsza od średniej normatywnej. Wnioskować można, iż różnica ta wynika z niskich wartości składowej kinetycznej energii, czyli bardzo niskiej prędkości chodu weterana, ponad 4-krotnie niższej od średniej prędkości wypadkowej osób z grupy kontrolnej.

Przedstawiona tematyka pracy porusza bardzo istotny problem zaburzeń ruchu weteranów wojennych. Podobna problematyka jest niezwykle rzadko poruszana w literaturze. Wskazane byłoby przeprowadzenie badań funkcji lokomocyjnych na większej grupie weteranów wojennych. Uzyskane wyniki przeprowadzonych analiz można w przyszłości skorelować z obrażeniami poniesionymi podczas misji stabilizacyjnych i pełnionymi obowiązkami zawodowymi.

#### 4. WNIOSKI

W niniejszej pracy dokonano biomechanicznej oceny chodu weterana wojennego, który poniósł obrażenia podczas misji wojskowych w Afganistanie na skutek wybuchu improwizowanego urządzenia wybuchowego. Przeprowadzone badania kinematyki chodu umożliwiły ilościowe wskazania odstępstw od wzorców chodu prawidłowego oraz pozwoliły na wnioskowanie o zaburzeniu funkcji lokomocyjnych. Wyniki parametrów czasowo-przestrzennych i kinematycznych chodu oraz wydatkowanej energii otrzymane dla analizowanego stadium przypadku znacznie odbiegały od wartości/zakresów normatywnych. Na podstawie uzyskanych wyników można wnioskować, iż w wyniku doznanych obrażeń aparat ruchu żołnierza został trwale uszkodzony, a jego chód jest niesymetryczny.

**Przedstawione badania są częścią prac zrealizowanych w ramach projektu DOBR-BIO4/022/131449/2013 „Poprawa bezpieczeństwa i ochrona żołnierzy na misjach poprzez działanie w obszarach wojskowo-medycznym i technicznym” wspieranym i finansowanym przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.**

#### LITERATURA

1. Attwells R.L., Birrell S.A., Hooper R.H., Mansfield N.J.: Influence of carrying heavy loads on soldiers' posture, movements and gait. *Ergonomics*, vol. 49(15), 2006, p.27-37.
2. Adams III A.A.: Effects of extremity armor on metabolic cost and gait biomechanics acknowledgements. 2010.
3. Bastien G.J., Heglund N.C., Schepens B.: The double contact phase in walking children, *J.Exp. Biol.*, vol. 206, 2003, p. 2967-2978.
4. Cavagna G.A., Thys H., Zamboni A.: The sources of external work in level walking and running. *J. Physiol.*, vol. 262, 1976, p. 639-657.
5. Cavagna G. A., Willems P.A., Legramandi M. A., Heglund N. C.: Pendular energy transduction within the step in human walking. *The Journal of Experimental Biology*, vol. 205, 2002, p. 3413–3422.
6. Chciałowski A, Gielerak G, Małachowski J, Wojskowy Instytut Medyczny. Bezpieczeństwo wojsk w aspekcie zagrożeń technicznych i medycznych wynikających z użycia improwizowanych urządzeń wybuchowych (IED). WIM 2017.
7. Chwała W.: Wpływ prędkości na zmiany położenia środka ciężkości ciała i sprawność mechanizmu odzyskiwania energii w chodzie fizjologicznym i sportowym, wyd. AWF Kraków, 2013.
8. Chwała W., Klimek A., Mirek W.: Changes in Energy Cost and Total External Work of Muscles in Elite Race Walkers Walking at Different Speeds. *Journal of Human Kinetics*, vol. 44, 2014, p. 126-136.
9. DeJager D., Willems P.A., Heglund N.C.: The energy cost of walking in children. *Pflugers Arch.*, vol. 441, 2010, p. 538-543.
10. Dziuba A.K., Tylkowska M., Jaroszczuk S.: Index of mechanical work in gait of children with cerebral palsy. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, vol. 16(3), 2014, p.77 – 87.
11. Hartley J. Gait and the Soldier: Importance of Gait in the Prevention and Cure of Foot Strain and in the Treatment of Symptomatic Flat Feet. *Mil Med*, vol. 96, 1945, p.177–82.
12. Morlock M., Schneider E., Bluhm A., Vollmer M.A., Bergmann G., Muller V., Honl M.: Duration and frequency of everyday activities in total hip patients, *Journal of Biomechanics*, vol. 34, Issue 7, 2001, p. 873-881.

13. Michnik R., Nowakowska K., Jurkojć J., Jochymczyk-Woźniak K., Kopyta I.: Motor functions assessment method based on energy changes in gait cycle. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, vol. 19, no. 4, 2017, p. 63-75.
14. Nowakowska K., Michnika R., Jochymczyk-Woźniak K., Jurkojć J., Mandra M., Kopyta I.: Application of gait index assessment to monitor the treatment progress in patients with cerebral palsy, *Advances in Intelligent Systems and Computing, Springer Innovation in Medicine*, vol. 472, 2016, p. 75-85.
15. Park J-I, Yu MK, Lee J-W, Yoo S-H. Analysis of the Gait Characteristics of Soldier between the Normal and Loaded Gait. vol. 10, no. 7, 2016.
16. RTO Technical Report TR - HJN - 090 TECHNICAL REPORT TR-HFM-090 Test Methodology for Protection of Vehicle Occupants against Anti-Vehicular Land-mine Effects.
17. Sacha E.: Metody trójwymiarowej analizy ruchu człowieka, *Aktualne Problemy Biomechaniki*, Zeszyt nr 2, 2008, s. 141-146.
18. Schnall B.L., Baum B.S., Andrews A.M.: Gait Characteristics of a Soldier With a Traumatic Hip Disarticulation. *Phys Ther*, vol. 88, 2008, p.1568–77.
19. Syczewska M.: Badanie ruchu kręgosłupa człowieka podczas chodu. *Rozprawa habilitacyjna*, 2010.
20. Van de Walle P., Desloovere K., Truijen S., Gosselink R., Aerts P., Hallemans A.: Age-related changes in mechanical and metabolic energy during typical gait. *Gait & Posture*, vol. 31, 2010, p. 495-501.

## **BIOMECHANICAL ANALYSIS OF WAR VETERAN GAIT - CASE ANALYSIS**

**Abstract:** In the work the biomechanical evaluation of locomotion functions of a war veteran was made. The results of the quantitative gait analysis obtained for a war veteran were compared with the values obtained for a group of 56 healthy adults without locomotor disorders. Experimental studies were carried out using the BTS Smart optoelectronic system. The spatiotemporal and kinematic parameters of gait as well as changes in total energy, potential energy, kinetic energy and its components during gait were subjected to comparative analysis. The results obtained for a war veteran differed significantly from normative values / ranges, indicating significant injuries to the apparatus, which he suffered during the explosion of the improvised explosive device.

**Jacek POLECHOŃSKI<sup>1</sup>, Magdalena GŁOWACKA<sup>1</sup>, Artur FREDYK<sup>1</sup>, Piotr POLECHOŃSKI<sup>2</sup>, Katarzyna NOWAKOWSKA-LIPIEC<sup>3</sup>, Katarzyna JOCHYMCZYK-WOŹNIAK<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Institut Nauk o Sporcie, Akademia Wychowania Fizycznego im. Jerzego Kukuczki w Katowicach

<sup>2</sup>Wydział Fizjoterapii, Akademia Wychowania Fizycznego im. Jerzego Kukuczki w Katowicach

<sup>3</sup>Katedra Biomechatroniki, Wydział Inżynierii Biomedycznej, Politechnika Śląska, Zabrze

## **OCENA DOKŁADNOŚCI ODWZOROWANIA RUCHÓW ORAZ MOŻLIWOŚCI UCZENIA SIĘ UKŁADU TANECZNEGO PRZEZ TANCERKI PROFESJONALNE I STUDENTKI PODCZAS UPRAWIANIA AKTYWNEJ GRY WIDEO**

**Streszczenie:** Celem pracy jest ocena dokładności odwzorowania ruchów tanecznych oraz możliwości uczenia się układu tanecznego przez tancerki profesjonalne i studentki Akademii Wychowania Fizycznego w Katowicach (AWF) podczas uprawiania aktywnej gry wideo. Przebadano 13 tancerek zawodowych Teatru Rozrywki w Chorzowie oraz 28 studentek AWF. Dokładność odwzorowania ruchów oraz możliwości uczenia się układu tanecznego oceniano za pomocą systemu Kinect współpracującego z konsolą Xbox 360 i interaktywnej tanecznej gry wideo. Osoby badane podczas kolejnych prób uczyły się ruchów tanecznych demonstrowanych przez wirtualnego nauczyciela. Wyniki przeprowadzonych badań wykazały, że jakość odwzorowania układu zależy zarówno od doświadczenia tanecznego badanych kobiet, jak i liczby wykonanych powtórzeń. Tancerki profesjonalne znacznie dokładniej niż studentki AWF wykonywały nowopoznane akty ruchowe. Uczestniczki badań w kolejnych próbach precyzyjniej odzwierciedlały układy taneczne, co może świadczyć o możliwości efektywnego uczenia się ruchów tanecznych z wykorzystaniem aktywnej gry wideo.

Słowa kluczowe: taniec, aktywne gry wideo, AVG, nauczanie umiejętności ruchowych

### **1. WSTĘP**

Aktywne gry wideo (ang. active video games – AVGs) postrzegane są, w odróżnieniu od typowych gier komputerowych, raczej pozytywnie. Wielu autorów dostrzega potencjał, korzyści i możliwości wykorzystania tej formy rozrywki w szerokokorozumianej kulturze fizycznej. Dlatego AVGs stały się w ostatnich latach przedmiotem badań i publikacji specjalistów z zakresu wychowania fizycznego, fizjoterapii i promocji zdrowia [2,7,8,20,27,30,32,33,37].

Jednym z powodów zainteresowania tego typu grami wśród osób zajmujących się aktywnością fizyczną i zdrowiem jest stosunkowo duże obciążenie wysiłkowe, jakie towarzyszy rozrywce przed ekranem monitora. Z przeprowadzonych w ostatnim czasie badań wynika, że intensywność wysiłku fizycznego podczas AVGs kształtuje się często na średnim lub wysokim poziomie [12,21,24,26,28,29]. Należy zaznaczyć, że zgodnie z rekomendacjami Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) i Amerykańskiego Stowarzyszenia Medycyny Sportowej (ACSM) tego typu wysiłki fizyczne uznaje się za prozdrowotne [6,39]. W związku z tym coraz więcej autorów zwraca uwagę na możliwości wykorzystania AVGs do promowania zachowań zdrowotnych, w tym regularnej aktywności fizycznej.

Ponadto, za uznaniem AVGs jako korzystnej formy wysiłku fizycznego świadczą wyniki wielu badań, wskazujących na pozytywny ich wpływ na poprawę stanu zdrowia i sprawności użytkowników [3,5,13,16,19]. Zaobserwowano także, że dzięki wysokiej ocenie atrakcyjności gier tego typu, gracze są w stanie wykonywać dłużej aktywność fizyczną w formie interaktywnej, w porównaniu z klasyczną, co może przekładać się na bardziej skuteczny trening [13]. Prowadzone są również badania w zakresie efektywności AVGs w profilaktyce wtórnej [35], m.in. u osób po udarze [10], chorych na depresję [14], stwardnienie rozsiane [22], a także nowotwory [11].

Pojawiają się także doniesienia o pozytywnym wpływie aktywnych gier wideo na niektóre zdolności motoryczne. Agmon i wsp. [1] wykazali, że systematycznie uprawianie aktywnej gry wideo Wii Fit przez osoby starsze wpływa na znaczną poprawę ich równowagi. Pichierri i wsp. [23] zaobserwowali natomiast u osób w starszym wieku poprawę parametrów chodu po trwającym cztery miesiące programie treningowym z wykorzystaniem interaktywnych gier tanecznych. Z badań innych autorów wynika, że nawet stosunkowo krótki trening (około 2 tygodnie) z wykorzystaniem AVGs zmniejsza ryzyko upadku u osób starszych [38]. Badnia Su i wsp. [36] wskazują natomiast, że równowagę dynamiczną w krótkim okresie czasu (6 tygodni) mogą również poprawić młode osoby (20-30 lat) grając 3 razy w tygodniu po 20 min. na konsoli Xbox Kinect. Smith i wsp. [34] wyrażają przekonanie, że interaktywne gry taneczne mogą być tanią domową metodą treningową. Podejmowane są również próby wykorzystania aktywnych gier wideo w diagnostyce zdolności motorycznych. Gry komputerowe sterowane ruchem ciała oparte są na podobnych założeniach, co testy oceniające sprawność motoryczną. Dotyczy to przede wszystkim testów badających koordynację ruchową. Zarówno w garach, jak i testach chodzi o to, aby wykazując się sprawnością motoryczną i uzyskać jak najlepszy wynik. Powodzeniem zakończyły się próby oceny przydatności aktywnych gier wideo do oceny zdolności rytmizacji i szybkości reakcji [30,31].

Jednymi z pierwszych AVGs były interaktywne taneczne gry wideo, które początkowo polegały na stawianiu stóp na panelach specjalnej maty lub platformy w rytm muzyki i zgodnie z przemieszczającymi się na ekranie monitora symbolami (strzałkami). Obecnie gry taneczne można użytkować z popularnymi konsolami (Xbox, PlayStation, Nintendo), które umożliwiają nie tylko aktywną rozrywkę, ale dostarczają również informacji zwrotnej o jakości wykonywanych ruchów. Według Lin [15] tego typu gry uwydatniają intuicyjne ruchy taneczne. Należy więc założyć, że umożliwiają one uczenie się umiejętności i układów tanecznych, o różnym stopniu trudności technicznej.

Celem pracy jest ocena dokładności odwzorowania ruchów tanecznych oraz możliwości uczenia się układu tanecznego przez tancerki profesjonalne i studentki AWF podczas uprawiania aktywnej gry wideo. Realizując cel pracy próbowano odpowiedzieć na pytanie badawcze:

Czy doświadczone tancerki będą dokładniej odwzorowywać ruchy taneczne niż nie będące tancerkami studentki AWF?

Czy badane kobiety w kolejnych próbach (grach tanecznych) będą osiągały istotnie lepsze wyniki w porównaniu do pierwszej próby (pierwszej gry)?



## 2. MATERIAŁ I METODY BADAWCZE

Przebadano 13 tancerek zawodowych Teatru Rozrywki w Chorzowie (wiek –  $28,2 \pm 7,7$  lat, wysokość ciała –  $169,1 \pm 3,5$  cm, ciężar ciała –  $55,7 \pm 3,3$  kg, wskaźnik BMI –  $19,5 \pm 0,8$  kg/m<sup>2</sup>, staż taneczny –  $16,92 \pm 7,4$  lat) oraz 28 studentek Akademii Wychowania Fizycznego im. Jerzego Kukuczki w Katowicach (wiek –  $21,8 \pm 1,1$  lat, wysokość ciała –  $167,3 \pm 6,1$  cm, ciężar ciała –  $59,3 \pm 5,9$  kg, wskaźnik BMI –  $21,2 \pm 1,3$  kg/m<sup>2</sup>).

Dokładność odwzorowania ruchów oraz możliwości efektywnego uczenia się układu tanecznego oceniano dzięki wykorzystaniu systemu Kinect współpracującego z konsolą Xbox 360 i interaktywnej tanecznej gry wideo Dance Central. Osoby badane podczas trzech kolejnych interaktywnych gier wykonywały trzy razy ten sam układ taneczny do utworu Lady Gaga „Just Dance” (tryb „perform it”, poziom trudności – „easy”, czas trwania 2,5 min.), ucząc się ruchów tanecznych demonstrowanych przez wirtualnego nauczyciela (rys. 1). Wykonywane przez uczestniczki badań ruchy taneczne były rejestrowane za pomocą czujnika Kinect i przetwarzane oraz analizowane przez konsolę pod względem ich podobieństwa z prezentowanym na ekranie wzorcem ruchowym. Za dokładnie odtwarzane ruchy taneczne badane otrzymywały punkty, które po zsumowaniu dawały rezultat końcowy w grze. Żadna z badanych kobiet nie miała wcześniej doświadczeń z wykorzystaną w badaniach grą. Przed rozpoczęciem testów wszystkie uczestniczki zostały zapoznane z celem badania, jego przebiegiem, a także planowanym wykorzystaniem rezultatów. Upewniono się również, że żadna z badanych kobiet nie miała wcześniej doświadczeń z wykorzystaną w badaniach grą. Przed rozpoczęciem prób wszystkie studentki zostały zapoznane z systemem Kinect oraz obsługą konsoli Xbox 360 i interaktywnej tanecznej gry wideo Dance Central.



**Rys. 1. Tancerka ucząca się ruchów tanecznych przy wykorzystaniu interaktywnej gry Dance Central (źródło własne)**

Do analiz statystycznych wykorzystano program komputerowy Statistica (wersja 13). Wyliczono średnie arytmetyczne, odchylenia standardowe, oraz różnice między wynikami uzyskanymi w poszczególnych próbach. Normalność rozkładu szacowano testem Shapiro-Wilka. Do oceny istotności statystycznej różnic pomiędzy wynikami zastosowano dwuczynnikową analizę wariancji, którą uzupełniono testami post-hoc NIR.

## 3. WYNIKI

Z przeprowadzonej analizy wariancji wynika, że istotny wpływ na jakość odwzorowania układu tanecznego ma zarówno liczba powtórzeń gry wideo ( $F=5,048$ ,  $p<0,008$ ), jaki i doświadczenie taneczne badanych ( $F=110,321$ ,  $p<0,001$ ). Nie zachodzi natomiast interakcja między oboma czynnikami (tab. 1).

**Tabela 1. Analiza wariancji zmian dokładności odwzorowania układu tanecznego podczas AVG w zależności od liczby powtórzeń gry i doświadczenia tanecznego badanych kobiet**

	SS	df	MS	F	p
Doświadczenie taneczne (1)	310037	1	310037	110,321	<b>0,001</b>
Liczba powtórzeń gry (2)	28370	2	14185	5,048	<b>0,008</b>
(1)*(2)	4134	2	2067	0,736	0,481

*SS – suma kwadratów, df – stopnie swobody, MS – średni kwadrat, F – wartość statystyki F, p – poziom istotności statystycznej*

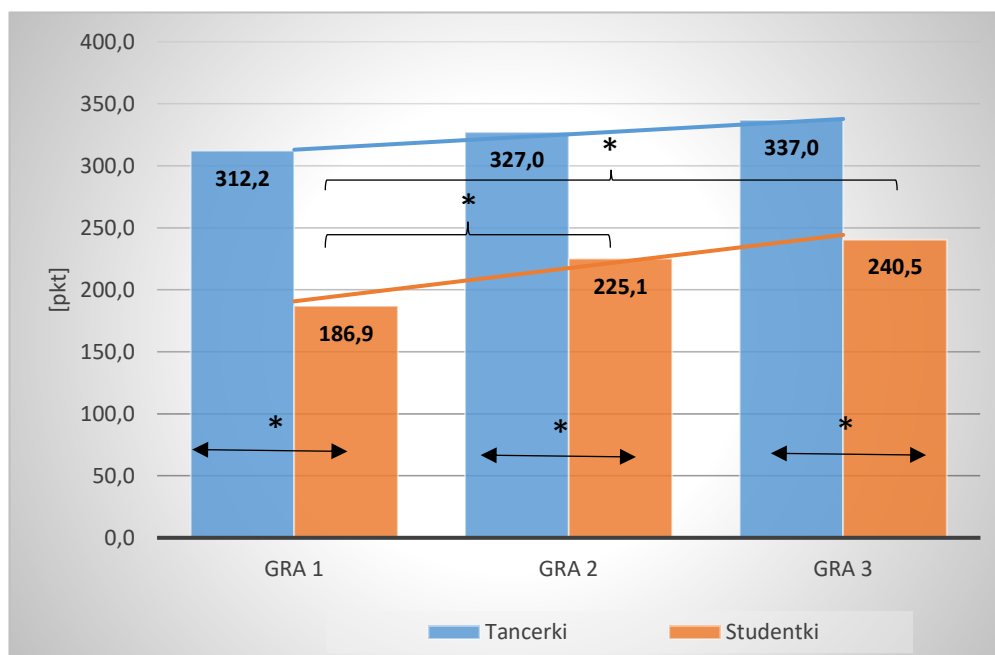
Jak wynika z ryc. 2 we wszystkich próbach tancerki dominowały nad studentkami pod względem liczby zdobytych punktów w czasie gry. Na podstawie analizy post-hoc można stwierdzić, iż były to znamienne statystycznie różnice (tab. 2).

Zarówno tancerki, jak i studentki w kolejnych próbach wypadały lepiej, czyli dokładniej odwzorowywały wykonywany układ (rys. 2). Porównując jednak liczbę uzyskanych punktów w następujących po sobie grach, nie zawsze uwidaczniają się istotne różnice. W przypadku studentek znamienne statystycznie różnice zaobserwowano pomiędzy pierwszą i drugą (38,2 pkt) oraz pierwszą i trzecią grą (53,6 pkt). Między drugą i trzecią próbą różnica wynosiła 15,4 pkt, jednak nie była znamienne statystycznie. Tancerki poprawiły swój wynik o 14,9 pkt w drugiej grze, a w trzeciej zwiększyły go jeszcze o dodatkowe 9,9 pkt, czyli w sumie poprawiły się o 24,9 pkt. Jednak mimo to stwierdzone różnice okazały się nieistotne statystycznie (rys. 2, tab. 2 i 3).

**Tabela 2. Testy post-hoc dla analizy wariancji zmian dokładności odwzorowania układu tanecznego podczas AVG w zależności od liczby powtórzeń gry i doświadczenia tanecznego badanych kobiet**

Kolejne powtórzenia gry	Doświadczenie taneczne	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
1	Studentki {1}					
	Tancerki {2}	<b>0,001</b>				
2	Studentki {3}	<b>0,008</b>	<b>0,001</b>			
	Tancerki {4}	<b>0,001</b>	0,476	<b>0,001</b>		
3	Studentki {5}	<b>0,001</b>	<b>0,001</b>	0,279	<b>0,001</b>	
	Tancerki {6}	<b>0,001</b>	0,235	<b>0,001</b>	0,634	<b>0,001</b>

*Wyniki istotne statystycznie oznaczono pogrubioną czcionką*



Rys. 2. Porównanie dokładności odwzorowania układu tanecznego przez tancerki i studentki AWF podczas kolejnych powtórzeń AVG, \* – różnica istotna statystycznie

Tabela 1. Liczba i różnice punktów uzyskanych w kolejnych grach tanecznych przez uczestniczki badań

	Gra ( $\bar{x} \pm SD$ )			Różnica		
	I	II	III	$d_1$	$d_2$	$d_3$
Studentki AWF	186,9±60,3	225,1±65,6	240,5±55,2	-38,2*	-15,4	-53,6*
Tancerki profesjonalne	312,2±32,2	327,0±32,2	337,0±24,7	-14,9	-9,9	-24,9

Legenda:  $d_1$  – różnica między grą I i II,  $d_2$  – różnica między grą II i III,  $d_3$  – różnica między grą I i III, \* – różnica istotna statystycznie

#### 4. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania ujawniły interesujące zależności. Wykazano, że jakość odwzorowania układu tanecznego podczas uprawiania interaktywnej gry tanecznej Dance Central zależy zarówno od doświadczenia tanecznego badanych kobiet, jak i liczby wykonanych powtórzeń.

Z analizy rezultatów przeprowadzonych badań bardzo jasno wynika, że tancerki profesjonalne znacznie dokładniej niż studentki AWF wykonują nowy układ taneczny demonstrowany przez wirtualnego instruktora. Należy w tym miejscu zaznaczyć, że żadna z badanych kobiet nie miała wcześniej doświadczeń z wykorzystaną w badaniach grą. Łatwość przyswajania i odtwarzania nowych ruchów tanecznych przez tancerki jest zapewne wynikiem wieloletnich treningów, podczas których stale uczą się one nowych złożonych aktów ruchowych. Poprawne wykonanie nowego układu tanecznego zależy również niewątpliwie w dużej mierze od poczucia rytmu. Z badań własnych wykonanych z udziałem tancerzy wynika, że charakteryzują się oni wysokim poziomem rytmizacji [25,31].

W każdym, z trzech następujących po sobie powtórzeń układu studentki i tancerki uzyskiwały większą liczbę punktów. Uzyskanie przez badane lepszych wyników w kolejnych próbach w porównaniu do pierwszej próby świadczy o tym, że ich ruchy w mniejszym stopniu odbiegały od demonstrowanego przez wirtualnego instruktora wzorca, czyli były wykonywane coraz bardziej precyzyjnie. Można więc przyjąć, że dzięki interaktywnej grze

Dance Central następowało uczenie się układu tanecznego. Oczywiście na tej podstawie nie można wyciągać zbyt daleko idących wniosków dotyczących złożonego procesu nauczania umiejętności ruchowych. Uzyskanie pełnego obrazu możliwości wykorzystania interaktywnej tanecznej gry wideo Dance Central i technologii Kinect do uczenia ruchów tanecznych wymagałoby podjęcia badań związanych z oceną szybkości i trwałości uczenia się, gdyż obok efektywności są to podstawowe wykładniki tego procesu. Uzyskane wyniki wydają się jednak zachęcające do podejmowania podobnych, ale bardziej szczegółowych badań.

Argumentem przemawiającym za wykorzystaniem AVGs w procesie nauczania umiejętności ruchowych, włączając w to techniki taneczne, jest atrakcyjność tej formy rozrywki i motywacja jaka towarzyszy interaktywnym grom sterowanym ruchami ciała. Dotychczas opublikowane doniesienia naukowe potwierdzają znaczny poziom przyjemności w trakcie różnych AVGs [17,18]. Zaobserwowano również, że dzięki wysokiej ocenie atrakcyjności gier tego typu, gracze są w stanie wykonywać dłużej aktywność fizyczną w formie interaktywnej, w porównaniu z klasyczną [13], co może mieć znaczenie w podczas zdobywania nowych umiejętności ruchowych. Z badań Epstein i wsp. [4] wynika, że interaktywne gry taneczne motywują dzieci do podejmowania wysiłku fizycznego, co jest zapewne konsekwencją naturalnej fascynacji młodego pokolenia wirtualnym światem. Natomiast badania Inzitari [9] dowodzą, że podobne odczucia towarzyszą osobom dorosłym, które podjęły się uprawiania tej formy aktywności fizycznej podczas eksperymentu badawczego.

Technologia umożliwiająca korzystanie z interaktywnych gier sterowanych ruchami ciała permanentnie ewoluuje. Powstają coraz nowocześniejsze i doskonalsze programy i urządzenia peryferyjne. Wszystko wskazuje na to, że w niedalekiej przyszłości konsole i współpracujące z nimi kontrolery umożliwią bardzo precyzyjne sterowanie gramami. Wtedy możliwości zastosowania AVGs staną się jeszcze większe. Wydaje się, że duży potencjał w tej kwestii niesie ze sobą dynamicznie rozwijająca się technologia zanurzeniowej wirtualnej rzeczywistości (ang. immersive virtual reality - IVR), w której użytkownik zostaje odcięty od bodźców wzrokowych i dźwiękowych rzeczywistego środowiska, a zamiast nich odbiera przestrzenny obraz, dźwięk, a nawet wrażenia dotykowe symulowanego świata. Zwarzywszy na to, że technologie związane z AVGs dynamicznie się rozwijają zasadnym wydają się dalsze badania dotyczące tej nowej formy aktywności fizycznej w kontekście ewentualnych możliwości nauczania umiejętności ruchowych.

## 5. WNIOSKI

1. Jakość odwzorowania układu tanecznego podczas interaktywnej gry tanecznej Dance Central zależy zarówno od doświadczenia tanecznego badanych kobiet, jak i liczby wykonanych powtórzeń.
2. Tancerki profesjonalne znacznie dokładniej niż studentki AWF wykonują układ taneczny demonstrowany przez wirtualnego instruktora. Łatwość przyswajania i odtwarzania nowych ruchów tanecznych przez tancerki jest zapewne wynikiem wieloletnich treningów, podczas których stale uczą się nowych złożonych aktów ruchowych oraz ich wysokiego poziomu poczucia rytmu.
3. Zarówno tancerki profesjonalne, jak i studentki AWF w kolejnych próbach precyzyjniej wykonują układ taneczny, co może świadczyć o możliwości efektywnego uczenia się ruchów tanecznych z wykorzystaniem interaktywnej tanecznej gry wideo. Uzyskanie pełnego obrazu możliwości wykorzystania tego typu oprogramowania i technologii w procesie nauczania ruchów tanecznych wymaga jednak podjęcia dalszych badań związanych z oceną szybkości i trwałości uczenia się.

## LITERATURA

- [1]Agmon M., Perry C.K., Phelan E., Demiris G., Nguyen H.Q.: A pilot study of Wii Fit exergames to improve balance in older adults, *J. Geriatr. Phys. Ther.*, 34, 2011,161–167.
- [2]Biddiss E., Irwin J.: Active video games to promote physical activity in children and youth: a systematic review, *Arch. Pediatr. Adolesc. Med.*, 164, 2010, 664–672.
- [3]Chuang L.Y., Hung H.Y., Huang C.J., Chang Y.K., Hung T.M.: A 3-month intervention of Dance Dance Revolution improves interference control in elderly females: a preliminary investigation, *Exp. Brain Res.*, 233, 2015, 1181–1188.
- [4]Epstein L.H., Beecher M.D., Graf J.L., Roemmich J.N: Choice of interactive dance and bicycle games in overweight and nonoverweight youth, *Ann. Behav. Med.*, 33, 2007, 124–131.
- [5]González C.S., Gómez N., Navarro V., Cairós M., Quirce C., Toledo P., Marrero-Gordillo M: Learning healthy lifestyles through active videogames, motor games and the gamification of educational activities, *Comput. Hum. Behav.*, 55, 2016, 529–551.
- [6]Haskell W.L., Lee I.M., Pate R.R., Powell K.E., Blair S.N., Franklin B.A., Macera C.A., Heath G.W., Thompson P.D., Bauman A.: Physical activity and public health: updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association, *Circulation*, 116, 2007, 1081.
- [7]Hayes E., Silberman L.: Incorporating video games into physical education, *J. Phys. Educ. Recreat. Dance*, 78, 2007, 18–24.
- [8]Howcroft J., Klejman S., Fehlings D., Wright V., Zabjek K., Andrysek J., Biddiss E.: Active video game play in children with cerebral palsy: potential for physical activity promotion and rehabilitation therapies, *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, 93, 2012, 1448–1456.
- [9]Inzitari M., Greenlee A., Hess R., Perera S., Studenski S.A.: Attitudes of postmenopausal women toward interactive video dance for exercise, *J. Womens Health*, 18, 2009, 1239–1243.
- [10] Kafri M., Myslinski M.J., Gade V.K., Deutsch J.E.: Energy expenditure and exercise intensity of interactive video gaming in individuals poststroke, *Neurorehabil. Neural Repair.*, 28, 2014, 56–65.
- [11] Kauhanen L., Järvelä L., Lähteenmäki P.M., Arola M., Heinonen O.J., Axelin A., Lilius J., Vahlberg T., Salanterä S.: Active video games to promote physical activity in children with cancer: a randomized clinical trial with follow-up, *BMC Pediatr.*, 14, 2014, 94.
- [12] Konarska A., Pawlik A., Polechoński J.: Intensywność wysiłku fizycznego podczas wybranych aktywnych gier video w wirtualnej rzeczywistości z wykorzystaniem wielokierunkowej bieżni - badania pilotarżowe, [w:] Wysoczański T. (red.): Nauka, badania i doniesienia naukowe: cz. 1, Nauki przyrodnicze i medyczne. Idea Knowledge Future, Świebodzice, 2019, 178–187.
- [13] Kraft J.A., Russell W.D., Bowman T.A., Selsor C.W. Foster G.D.: Heart rate and perceived exertion during self-selected intensities for exergaming compared to traditional exercise in college-age participants, *J. Strength Cond. Res.*, 25, 2011, 1736–1742.
- [14] Li J., Theng Y.L., Foo S.: Effect of exergames on depression: a systematic review and meta-analysis, *Cyberpsychology Behav. Soc. Netw.*, 19, 2016, 34–42.
- [15] Lin J.H.: “Just Dance”: The effects of exergame feedback and controller use on physical activity and psychological outcomes, *Games Health J.*, 4, 2015, 183–189.
- [16] Lyons E.J., Tate D.F, Komoski S.E., Carr P.M., Ward D.S.: Novel approaches to obesity prevention: effects of game enjoyment and game type on energy expenditure in active video games, SAGE Publications, 2012.
- [17] Lyons E.J, Tate D.F., Ward D.S., Bowling J.M., Ribisl K.M., Kalyararaman S.: Energy expenditure and enjoyment during video game play: differences by game type, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 43, 2011, 1987.

- [18] Lyons E.J., Tate D.F., Ward D.S., Ribisl K.M., Bowling J.M., Kalyanaraman S., Engagement, enjoyment, and energy expenditure during active video game play, *Health Psychol.*, 33, 2014, 174.
- [19] Mejia-Downs A., Fruth S.J., Clifford A., Hine S., Huckstep J., Merkel H., Wilkinson H., Yoder J.: A preliminary exploration of the effects of a 6-week interactive video dance exercise program in an adult population, *Cardiopulm. Phys. Ther. J.*, 22, 2011, 5.
- [20] Miller C.A., Hayes D.M., Dye K., Johnson C., Meyers J.: Using the Nintendo Wii Fit and body weight support to improve aerobic capacity, balance, gait ability, and fear of falling: two case reports, *J. Geriatr. Phys. Ther.*, 35, 2012, 95–104.
- [21] Noah J.A., Spierer, D.K., Tachibana A., Bronner S.: Vigorous Energy Expenditure with a Dance Exer-game., *J. Exerc. Physiol. Online*, 14, 2011.
- [22] Palacios-Cena D., Ortiz-Gutierrez R.M., Buesa-Estellez A., Galan-Del-Rio F., Cachon J.P., Martinez-Piedrola R., Velarde-Garcia J.F., Cano-De-la-Cuerda R.: Multiple sclerosis patients' experiences in relation to the impact of the kinect virtual home-exercise programme: a qualitative study., *Eur. J. Phys. Rehabil. Med.*, 52, 2016, 347–355.
- [23] Pichierri G., Murer K., de Bruin E.D.: A cognitive-motor intervention using a dance video game to enhance foot placement accuracy and gait under dual task conditions in older adults: a randomized controlled trial, *BMC Geriatr.*, 12, 2012, 74.
- [24] Polechoński J., Dębska M., Dębski P.G.: Exergaming Can Be a Health-Related Aerobic Physical Activity, *BioMed Res. Int.*, 2019.
- [25] Polechonski J., Fredyk A., Ratuszyński J.: Wpływ uprawiania salsy na wybrane zdolności koordynacyjne, [w:] Fredyk A., Polechoński J. (red.): *Taniec i Sztuki Pokrewne w Nauce i Praktyce*. AWF, Katowice, 2016, 135–158.
- [26] Polechoński J, Groffik D, Zajac-Gawlak I., Machwic A.: Aktywność fizyczna podczas tanecznej gry komputerowej, *Aktywność ruchowa ludzi w różnym wieku*, 14, 2010, 171–181.
- [27] Polechoński J., Mynarski A.: Czy gry wideo mogą poprawiać sprawność fizyczną i leczyć?, *Przegląd Tech. Gaz. Inż.*, 6(7) ,2016, 26-29.
- [28] Polechoński J., Mynarski W., Garbaciak W., Fredyk A., Rozpara M., Nawrocka A.: Energy expenditure and intensity of interactive video dance games according to health recommendations, *Cent. Eur. J. Sport Sci. Med.*, 24, 2018, 35–43.
- [29] Polechoński J, Rozpara M., Niestrój-Jaworska M., Wodarski P., Jurkojč J.: Intensywność wysiłku fizycznego podczas wybranych aktywnych gier wideo na konsole Playstation i Xbox w kontekście korzyści prozdrowotnych, [w:] Polechoński J., Nawrocka A. (red.): *Aktywność fizyczna w promocji zdrowia - wybrane zagadnienia*. AWF, Katowice, 2018, 113–131.
- [30] Polechoński J, Tomik R., Dobias M.: Wykorzystanie gry wideo sterowanej ruchem do oceny szybkości reakcji dzieci w wieku 11–13 lat, *Rozpr. Nauk. Akad. Wych. Fiz. we Wrocławiu*, 44, 2014, 93–98.
- [31] Polechonski J., Zajac-Gawlak I., Groffik D.: Próba wykorzystania komputerowej gry tanecznej do porównania rytmizacji ruchów tancerzy „break dance” i studentów Wychowania Fizycznego, *Aktywność ruchowa ludzi w różnym wieku*, 12, 2008, 224-229.
- [32] Sandlund M.: Motion interactive games for children with motor disorders: Motivation, physical activity, and motor control, PhD Thesis, Umea a university, 2011.
- [33] Smallwood S.R., Morris M.M., Fallows S.J., Buckley J.P., Physiologic responses and energy expenditure of kinect active video game play in schoolchildren, *Arch. Pediatr. Adolesc. Med.*, 166, 2012, 1005–1009.
- [34] Smith S.T., Sherrington C., Studenski S., Schoene D., Lord S.R.: A novel Dance Dance Revolution (DDR) system for in-home training of stepping ability: basic parameters of system use by older adults, *Br. J. Sports Med.*, 45, 2011, 441–445.
- [35] Staiano A.E, Flynn R.: Therapeutic uses of active videogames: a systematic review, *Games Health J.*, 3, 2014, 351–365.

- [36] Su H., Chang Y.K., Lin Y.J., Chu I.H.: Effects of training using an active video game on agility and balance., *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 55, 2015, 914–921.
- [37] Trout J., Christie B.: Interactive video games in physical education, *J. Phys. Educ. Recreat. Dance*, 78, 2007, 29–45.
- [38] Wei-Che T., Ru-Lan H., Effects of short-term active video game play on community adults: under International Classification of Functioning, Disability and Health consideration, *Chin. Med. J.*, 126, 2013, 2313–2319.
- [39] World Health Organization, *Global recommendations on physical activity for health*, Geneva, 2010.

## **ASSESSMENT OF REPETITION ACCURACY OF MOVEMENTS AND LEARNING POSSIBILITIES OF THE DANCE ARRANGEMENT BY PROFESSIONAL DANCERS AND STUDENTS DURING ACTIVE VIDEO GAMES PLAY**

**Abstract:** The aim of this study is to assess the accuracy of repetition of dance movements and the possibilities of learning the dance arrangement by professional dancers and students of the Academy of Physical Education in Katowice (AWF) during an active video game. 13 professional dancers from the Rozrywka Theatre in Chorzów and 28 students of the AWF were examined. Accuracy of movement repetition and learning possibilities of the dance arrangement was assessed using the Kinect system cooperating with the Xbox 360 console and an interactive dance video game. The participants during the subsequent trials where learning dance moves demonstrated by a virtual teacher. The results of the tests showed that the quality of repetition of the arrangement depends both on the women's dance experience and the number of repetitions performed. Professional dancers performed new movement acts much more accurately than students. Participants in subsequent attempts more accurately reflected the dance arrangements. This may indicate the possibility of effective learning of dance moves using an active video game.

**Robert SOBOTA<sup>1</sup>, Kamil JOSZKO<sup>3</sup>, Bożena GZIK-ZROSKA<sup>2</sup>,  
Jarosław MARKOWSKI<sup>1</sup>, Edyta KAWLEWSKA<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> I Katedra i Klinika Laryngologii, Śląski Uniwersytet Medyczny, Katowice.

<sup>2</sup> Katedra Biomateriałów i Inżynierii Wyrobów Medycznych, Politechnika Śląska, Gliwice.

<sup>3</sup> Katedra Biomechatroniki, Wydział Inżynierii Biomedycznej, Politechnika Śląska, Gliwice.

## **OCENA WŁAŚCIWOŚCI WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH MATERIAŁÓW NA RURKI TRACHEOSTOMIJNE**

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono wyniki badań wytrzymałościowych materiału wykorzystywanego do produkcji rurek tracheostomijnych oraz dwóch materiałów, przewidzianych do ich produkcji w nowej technologii wywarzania. Przebadano trzy materiały (polietylen małej gęstości przeznaczony do wytłaczania - polietylen nr 2 oraz dwóch polietylenów małej gęstości przeznaczonych do przetwarzania za pomocą procesu wtrysku - polietylen nr 1 oraz polietylen nr 3) dla których wyznaczono maksymalną siłę zginającą i ściskającą oraz maksymalne naprężenia. Uzyskane wyniki badań poddano analizie w celu poszukiwania optymalnego materiału wykorzystywanego w procesie produkcyjnym.

**Słowa kluczowe:** rurki tracheostomijne, właściwości mechaniczne, biomateriały.

### **1. WSTĘP**

Polietyleny są powszechnie stosowane we współczesnej medycynie, w tym również w otolaryngologii. Jednym z przykładów stosowania takich materiałów w otolaryngologii są powszechnie stosowane rurki tracheostomijne. Stosuje się je zarówno w przypadku całkowitego usunięcia krtani, jak i w zwężeniach krtani i tchawicy [1,3,4].

Rodzaj biomateriału ma podstawowe znaczenie dla prawidłowego przebiegu procesu gojenia. Wszystkie wyroby medyczne muszą spełniać wymagania normy ISO 10993 (PN-EN ISO 10993-1 Biologiczna ocena wyrobów medycznych – część 1: Ocena i badanie w procesie zarządzania ryzykiem), co oznacza, że wszystkie biomateriały użyte do wytwarzania wyrobów medycznych muszą podlegać tym wymogom. Zanim jednak wybrany materiał (wyrób z niego wytworzony) przejdzie szereg badań biologicznych wyrób musi spełnić określone wymagania fizyczne.

Wytwarzane dotychczas rurki tracheostomijne w Zakładzie Detali Medycznych DEMED spełniają wymagania biozgodności i cieszą się bardzo dobrą biokompatybilnością co zostało potwierdzone w artykule Gierek T. i in. [2]. Autorzy na podstawie własnych doświadczeń klinicznych podkreślili, że dzięki zastosowaniu materiału odpornego na promieniowanie radiacyjne rurka może być stosowana u chorych naświetlanych z powodu raka krtani. Ponadto odpowiednie właściwości hydrofobowe materiału i gładkość powierzchni rurki eliminuje w dużym stopniu osadzanie się na jej powierzchni wydzieliny śluzowej z tchawicy.



Elastyczność materiału, z którego wykonana jest rurka, zapobiega zapadaniu się tkanek w kanale tchawicy i w obrębie tracheostomy podczas zmiany ułożenia ciała [2].

Dotychczasowa metoda wytwarzania wykorzystująca zjawisko termokurczliwości wymagała łączenia dwóch elementów w procesie zgrzewania co znacznie wydłużało proces produkcyjny. Stosowany w niej jest polietylen małej gęstości przeznaczony do wytłaczania (POLI NR 2 ). W celu zwiększenia wydajności produkcyjnej poszukuje się nowych metod wytwarzania co wiąże się z koniecznością zmiany materiału z jednoczesnym zachowaniem odpowiednich właściwości wytrzymałościowych gotowego wyrobu. W związku z tym za cel pracy przyjęto ocenę właściwości wytrzymałościowych rurek tracheostomijnych wykonanych metodą wtrysku. (POLI NR 1 i POLI NR 3).

## 2. METODYKA BADAWCZA

Materiał do badań został dostarczony przez Zakład Detali Medycznych Demed. W ramach badań wyznaczono właściwości mechaniczne rurek tracheostomijnych przy pomocy maszyny wytrzymałościowej MTS Insight 2. Zastosowana maszyna wytrzymałościowa umożliwia przeprowadzanie prób statycznych rozciągania, ściskania i zginania z komputerową rejestracją pomiaru siły i wydłużenia.

Specyfikacja parametrów:

- zakres pomiarowy 0 – 2 kN
- dokładność wskazań siły: 0.01 N
- wymiary średnic dla próbek okrągłych: 3 – 12.7 mm

Maksymalne wymiary dla próbek płaskich:

- szerokość: 25 mm
- grubość: 13.2 mm
- długość: 500 mm.

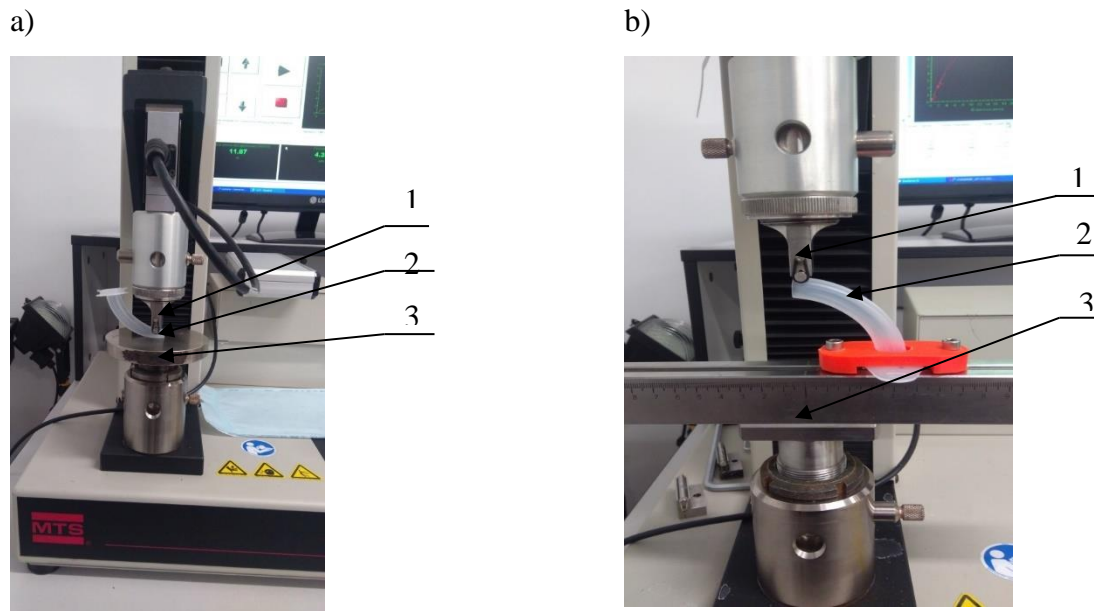
Materiał do badań stanowiły rurki tracheostomijne jak na rysunku 1 wykonane z trzech materiałów (polietylenu małej gęstości przeznaczonego do wytłaczania oraz dwóch polietylenów małej gęstości przeznaczonych do wtrysku). Badaniom poddano próbki wykonane z surowego materiału jak i próbki poddane 60 dniowemu procesowi degradacji hydrolitycznej oraz 60 dniowemu procesowi degradacji przez utlenianie. W celu dokonania analizy porównawczej badania przeprowadzono również na gotowych surowych rurekach tracheostomijnych wykonanych przez innych producentów.



**Rys. 1. Rurka tracheostomijna.**

W ramach zrealizowanych badań wykonano próbę zginania oraz ściskania przekroju poprzecznego rurki (rys.2). Obie próby przeprowadzono z prędkością 5 mm/min. W ramach przeprowadzonych badań wyznaczono:

- Maksymalną siłę  $F$  [N], .
- Maksymalne naprężenie [MPa].



Rys. 2. Stanowisko pomiarowe: a) ściskanie, b) zginanie: 1- uchwyt górny, 2- próbka badana, 3- uchwyt dolny.

### 3. WYNIKI BADAŃ

Badania przeprowadzono w dwóch etapach. Łącznie przebadano 97 próbek i przeprowadzono następujące badania:

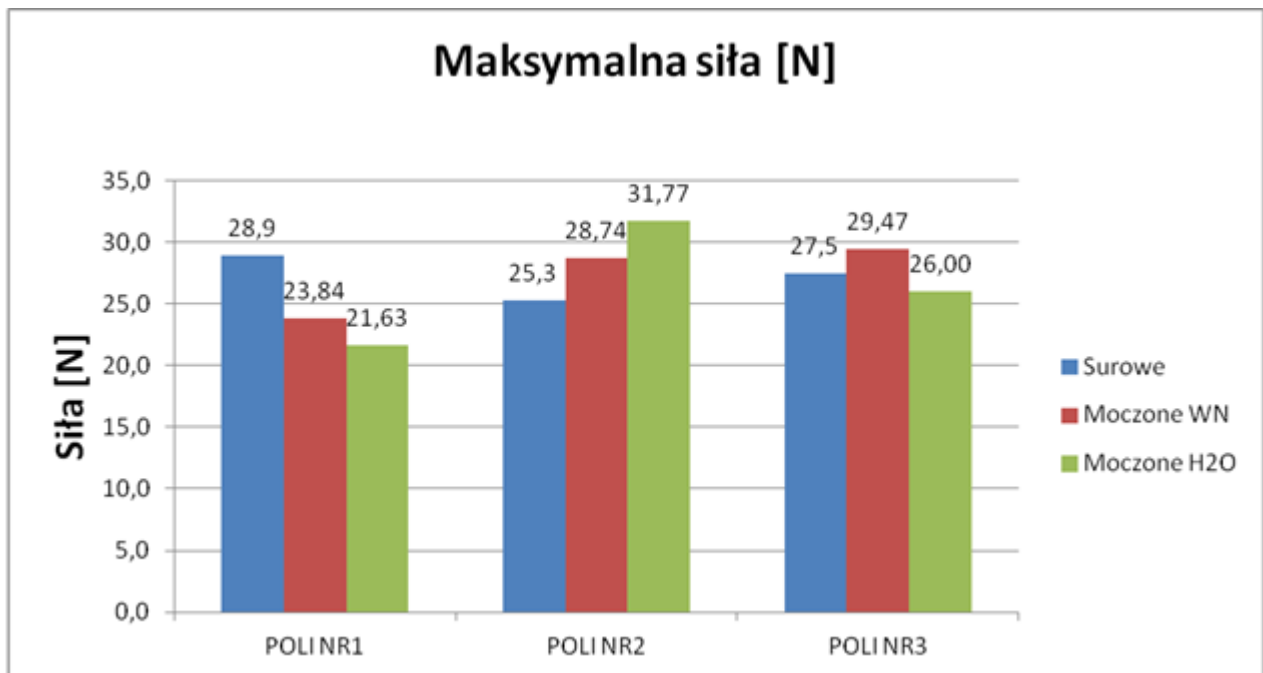
#### **Etap I**

- 3 materiały razy 5 próbek = 15 pr. w stanie surowym
- 3 materiały razy 5 próbek = 15 pr. poddane ekspozycji 60 dni (woda utleniona WN)
- 3 materiały razy 5 próbek = 15 pr. poddane ekspozycji 60 dni ( $H_2O$ )

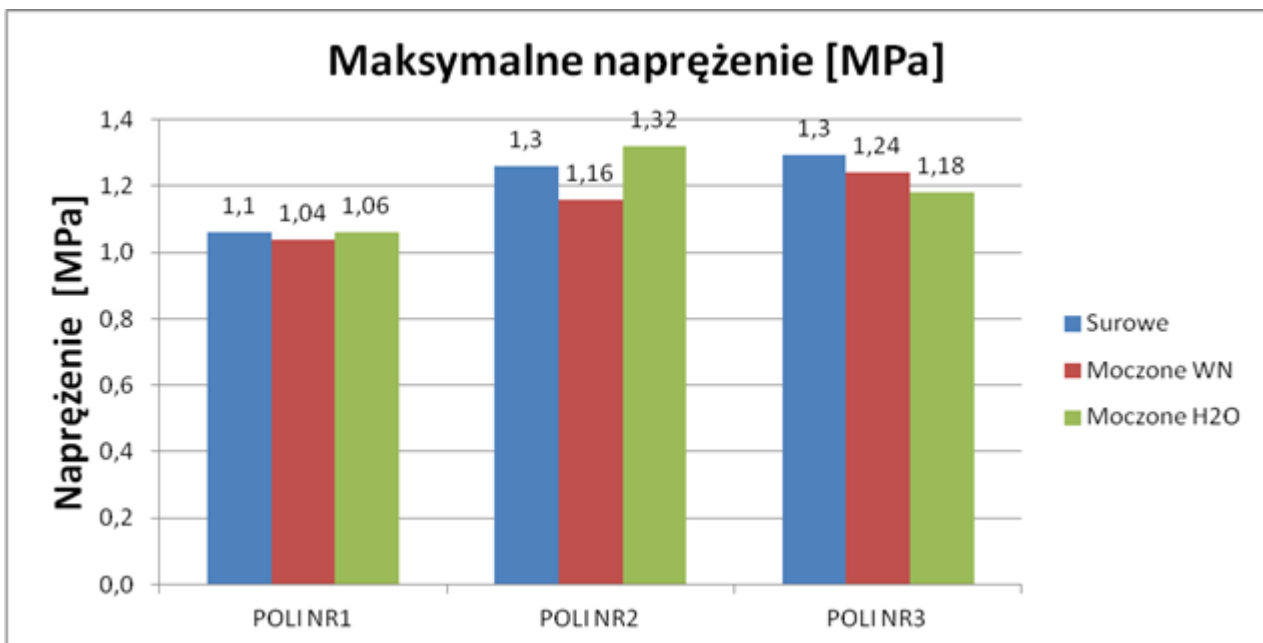
#### **Etap II**

- 3 materiały razy 5 próbek = 15 pr. surowe
- 3 materiały razy 5 próbek = 15 pr. poddane ekspozycji 60 dni (woda utleniona WN)
- 3 materiały razy 5 próbek = 15 pr. poddane ekspozycji 60 dni ( $H_2O$ )

Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono średnie wartości dla maksymalnych sił i naprężeń zarejestrowanych podczas przeprowadzonych prób ściskania.

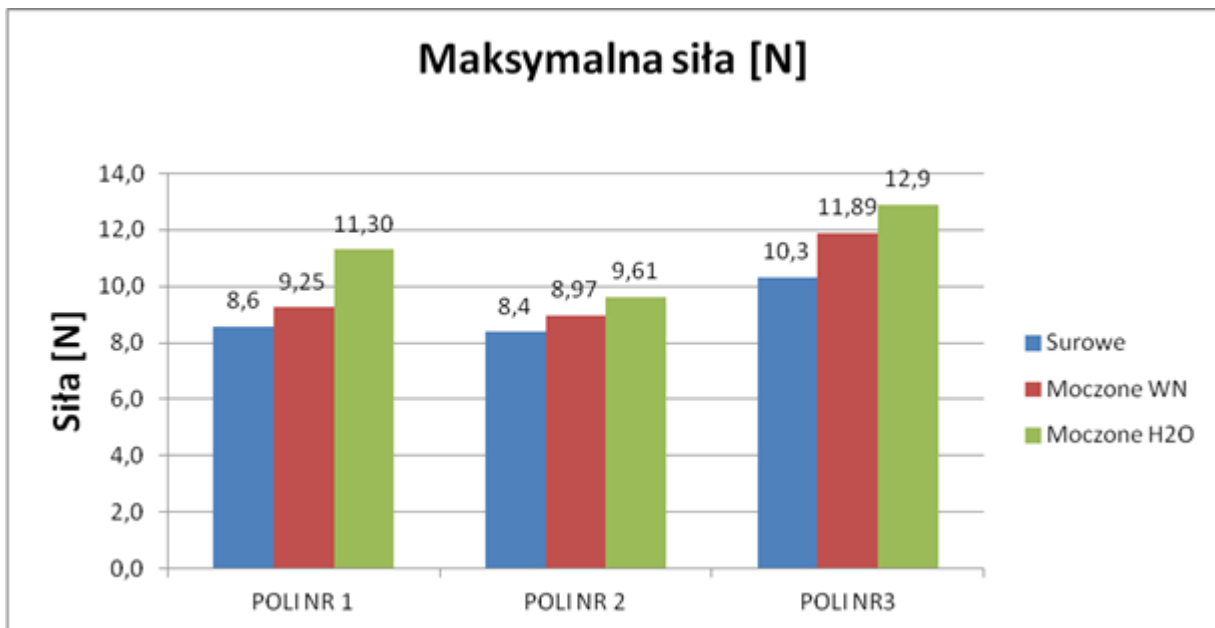


Rys. 3. Wartości maksymalnych średnich sił - ściskanie.

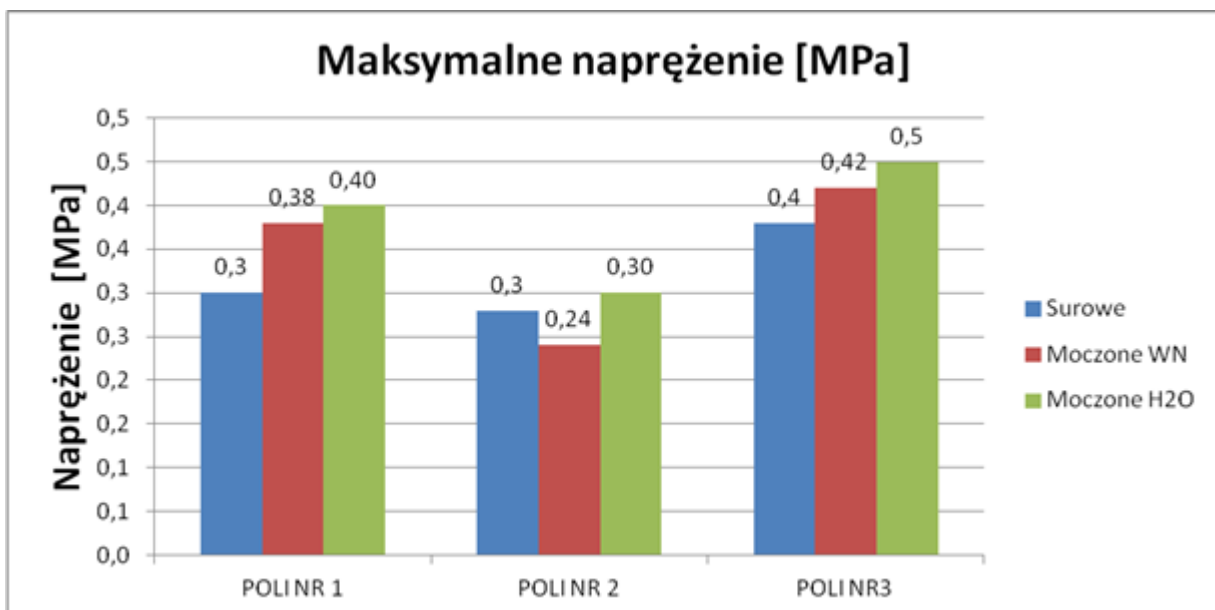


Rys. 4. Wartości maksymalnych średnich naprężeń - ściskanie.

Na rysunkach 5 i 6 przedstawiono średnie wartości dla maksymalnych sił i naprężeń zarejestrowanych podczas przeprowadzonych prób zginania.



Rys. 5. Wartości maksymalnych średnich sił - zginanie.



Rys. 6. Wartości maksymalnych średnich naprężeń - zginanie.

### 3. ANALIZA WYNIKÓW I PODSUMOWANIE

W pierwszym etapie próbki poddano próbie ściskania na podstawie której zaobserwowano, że zarówno proces degradacji hydrolitycznej jak i degradacji przez utlenianie powoduje zmiany we właściwościach wytrzymałościowych badanych materiałów. W przypadku polietylenu nr 1 zarówno proces degradacji hydrolitycznej jak i degradacji przez utlenianie spowodował spadek maksymalnej siły ściskającej odpowiednio o 25,2% oraz 17,5 %. Natomiast dla materiału stosowanego obecnie (POLI NR 2) zarówno degradacja hydrolityczna jak i proces utleniania spowodował wzrost wartości siły odpowiednia o 20 % i 10,4%. Polietylen (POLI NR 3) w przypadku degradacji przez utlenianie charakteryzował się wzrostem siły ściskającej o 7,4% natomiast dla degradacji hydrolitycznej odnotowano jej spadek o 5,45%. Wartości maksymalnego naprężenia w przypadku degradacji przez

utlenianie dla wszystkich rodzajów badanych materiałów uległy obniżeniu w stosunku do próbek surowych odpowiednio polietylen (POLI NR 2) o 5,45 %, polietylen nr 1 o 10,76 %, polietylen nr 3 o 4,6%. Natomiast degradacja hydrolityczna w przypadku polietylenów wtryskowych spowodowała niewielki spadek wartości naprężenia odpowiednio o 3,6% oraz o 15,6%, natomiast dla materiału nr 1 zaobserwowano małodznaczący wzrost tej wartości o 1,5 %. Podsumowując pierwszy etap badań najlepsze parametry uzyskał polietylen nr 3 ze względu na najmniejsze różnice w uzyskiwanych właściwościach mechanicznych po procesie degradacji hydrolitycznej i przez utlenianie. Podobną zależność zaobserwowano dla materiału nr 1 gdzie również występują niewielkie różnice procentowe w wyznaczonych właściwościach mechanicznych. Oba polietyleny wtryskowe wydają się być odpowiednie do produkcji rurek tracheostomijnych.

W etapie drugim badań wykonano statyczną próbę zginania rurek tracheostomijnych. Celem badania było zasymulowanie przypadkowego zamknięcia przekroju poprzecznego rurki poprzez dociśnięcie brody do klatki piersiowej. W trakcie tego badania wyznaczano maksymalną siłę jaka jest potrzebna do zgięcia rurki i zamknięcia przekroju poprzecznego. Na podstawie przeprowadzonych badań zaobserwowano, że wraz z różnymi metodami degradacji hydrolitycznej i przez utlenianie następuje poprawa własności mechanicznych rurki poprzez jest usztywnienie. Polietylen (POLI NR 1) pod wpływem degradacji przez utlenianie zwiększył wartość maksymalnej siły zginającej o 7,55% a w wyniku degradacji hydrolitycznej o 31,5%. Materiały 2 i 3 również zwiększyły wartość maksymalnej siły zginającej odpowiednio:

- POLI NR 1:
  - metoda degradacji przez utlenianie - wzrost siły o 6,7 %,
  - metoda degradacji hydrolitycznej - wzrost siły o 14,4 %.
- POLI NR 2:
  - metoda degradacji przez utlenianie - wzrost siły o 15,4 %,
  - metoda degradacji hydrolitycznej - wzrost siły o 25,2%.

Podobną tendencję zaobserwowano dla materiałów POLI NR 1 oraz POLI NR 3 natomiast materiał nr 2 wykazał spadek maksymalnego naprężenia dla degradacji przez utlenianie, a dla degradacji hydrolitycznej wartość ta uległa nie wielkiej zmianie. Uzyskane wartości wynoszą odpowiednio:

- POLI NR 1:
  - metoda degradacji przez utlenianie - wzrost naprężeń o 26,7%,
  - metoda degradacji hydrolitycznej - wzrost naprężeń o 33,3%.
- POLI NR 2:
  - metoda degradacji przez utlenianie - spadek naprężeń o 20%,
  - metoda degradacji hydrolitycznej - wzrost o 7%.
- POLI NR 3:
  - metoda degradacji przez utlenianie - wzrost naprężeń o 5%,
  - metoda degradacji hydrolitycznej - wzrost naprężeń o 25%.

Na podstawie badań przeprowadzonych w drugim etapie projektu można stwierdzić, że właściwości mechaniczne polietylenów przeznaczonych do przetwórstwa metodą wtryskową uległy znaczącej poprawie po procesie degradacji przez utlenianie i hydrolitycznej. Dla polietylenu POLI NR 3 odnotowano największy wzrost rejestrowanych parametrów (maksymalnej siły, maksymalnego naprężenia). Na drugim miejscu najlepsze właściwości mechaniczne zarejestrowano dla polietylenu POLI NR 1, dla którego również zaobserwowano wzrost rejestrowanych parametrów. Zarejestrowane właściwości

mechaniczne dla polietylenu nr 3 i nr 1 są zbliżone do właściwości mechanicznych polietylenu obecnie stosowanego nr 2.

#### LITERATURA

- [1] Fernandes JR, Driscoll DN.: Burn Ear Reconstruction Using Porous Polyethylene Implants and Tissue Expansion. *J Burn Care Res.* 2016 Jul-Aug;37(4):e348-52
- [2] Gierek T., Majzel K., Markowski J.: Rurka do tracheotomii z tworzywa sztucznego typu Luer., *Otolaryngologia Polska* 1998 LII, 4.
- [3] Olędzka E., Sobczak M., Kołodziejski W.L.: Polimery w medycynie – przegląd dotychczasowych osiągnięć. *Polimery* Nr 11-12 (793-916) Listopad-Grudzień 2007.
- [4] Peng MY, Merbs SL.: Orbital fracture repair outcomes with preformed titanium mesh implants and comparison to porous polyethylene coated titanium sheets., *J Craniomaxillofac Surg.* 2017 Feb;45(2):271-274
- [5] Wilhelm SK, Henrichsen JL.: Polyethylene in total knee arthroplasty: Where are we now?, *J Orthop Surg (Hong Kong).* 2018 May-Aug;26(3)

### **ASSESSMENT OF THE STRENGTH PROPERTIES OF TRACHEOSTOMY TUBES**

**Abstract:** The paper presents the results of strength tests of the material used for the production of tracheostomy tubes and two materials intended for their production in the new manufacturing technology. Three materials (low density polyethylene intended for extrusion - polyethylene No. 2 and two low density polyethylenes intended for injection molding - polyethylene No. 1 and polyethylene No. 3) were tested for which the maximum bending and compressive force and maximum stress were determined. The obtained test results were analyzed in order to search for the optimal material used in the production process.