

dr inż. PAWEŁ BARTUZI  
 dr hab. inż. DANUTA ROMAN-LIU, prof. CIOP-PIB  
 Centralny Instytut Ochrony Pracy  
 – Państwowy Instytut Badawczy

# Ocena obciążenia mięśniowo-szkieletowego w aspekcie wieku pracownika

W artykule przedstawiono zjawisko starzenia się społeczeństwa oraz związane z tym problemy, a także omówiono wpływ starzenia się na procesy zachodzące w mięśniach. Zaprezentowano także sposób oceny obciążenia i zmęczenia układu mięśniowo-szkieletowego, z zastosowaniem elektromiografii powierzchniowej (EMG), uwzględniającej wiek i płeć pracownika.

## Evaluating musculoskeletal load and the aging of employees

This article discusses the phenomenon of the aging society and related problems as well as the impact of aging on processes taking place in human muscles. It also presents a method of evaluating musculoskeletal load and fatigue with the use of surface electromyography (EMG), taking into account the worker's age and gender.



Fot. Robert Kneschke/Bigstockphoto

## Wstęp

Praca jest istotnym elementem życia, umożliwiającym zaspokajanie potrzeb człowieka i jego rozwój. Bardzo często jednakże sposób wykonywania pracy może sprzyjać powstawaniu różnego typu dolegliwości mięśniowo-szkieletowych, które są jedną z najczęstszych przyczyn absencji w pracy [1].

W I półroczu 2010 r. w Polsce zarejestrowano 8 433,8 tys. zaświadczeń lekarskich o czasowej niezdolności do pracy osób ubezpieczonych w ZUS na łączną liczbę dni absencji chorobowej 103 419,3 tys. Osoby w wieku 50 lat i więcej stanowiły 24% wszystkich osób przebywających na zwolnieniach lekarskich, przy czym średnia długość trwania absencji chorobowej dla wszystkich osób przebywających na zwolnieniach wynosiła 25,71 dnia, natomiast w przypadku osób w wieku 50 lat i więcej – 29,06 dnia. Zgodnie z danymi ZUS do najczęstszych przyczyn powodujących absencję w pracy należały choroby układu kostno-stawowego, mięśniowego i tkanki łącznej, które były przyczyną 12,4% niezdolności do pracy w I półroczu 2010 roku.

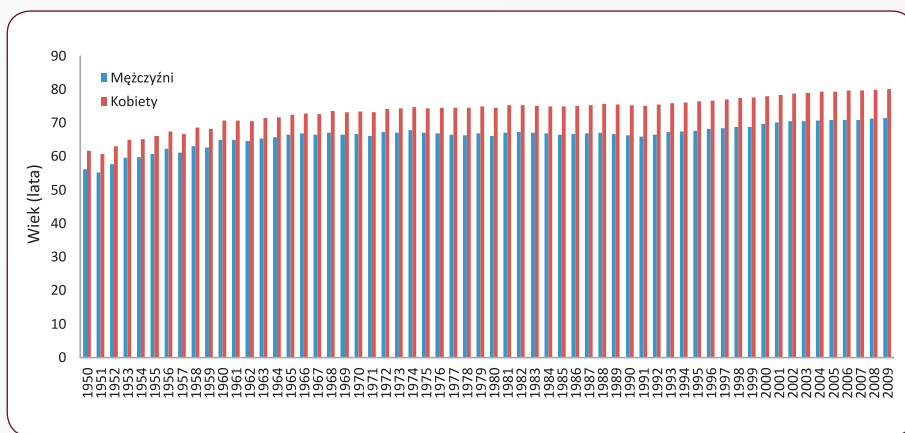
Przyczyną rozwoju dolegliwości mięśniowo-szkieletowych może być zmęczenie mięśni, związane z długotrwałym wykonywaniem różnego rodzaju prac, również tych, wymagających stosunkowo niewielkiej aktywacji mięśni. Do zmęczenia pracownika prowadzi najczęściej obciążenie układu mięśniowo-szkieletowego. Oznacza to, że ograniczanie obciążenia i zmęczenia w warunkach pracy może być ważnym elementem na drodze do zmniejszenia zakresu występowania dolegliwości mięśniowo-szkieletowych.

Ze względu na to, że ocena obciążenia i zmęczenia mięśniowego jest istotnym krokiem w ich eliminacji, a co za tym idzie w ograniczaniu dolegliwości i chorób układu mięśniowo-szkieletowego, istotne znaczenie mają metody i algorytmy oceny obciążenia i zmęczenia mięśni. Jednakże, biorąc pod uwagę zjawisko „starzenia się” polskiego społeczeństwa oraz fakt, iż wraz z wiekiem następują zmiany w morfologicznych, metabolicznych i czynnościowych właściwościach mięśni szkieletowych, ocena obciążenia i zmęczenia powinna uwzględniać wiek pracownika.

Zmiana struktury społecznej pracowników dotyczy nie tylko wieku, ale także i płci. Obec-

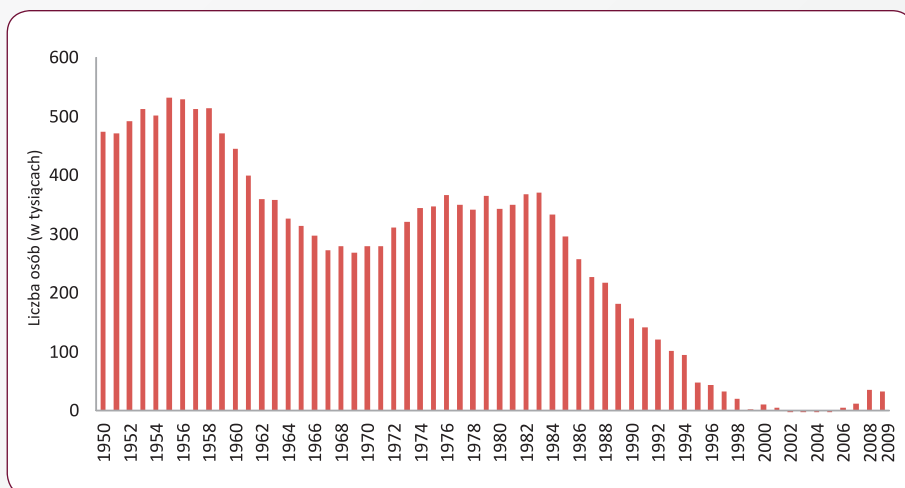
nie coraz więcej kobiet pracuje w zawodach wymagających znacznego wysiłku fizycznego, takich jak służby mundurowe (wojsko, straż pożarna, policja), ratownik medyczny, czy też kierowca autobusu. Nie ma jednakże wytycznych wskazujących, które z wykonywanych zawodów wiążą się z nadmiernym obciążeniem, a które nie stanowią zwiększonego zagrożenia dolegliwościami mięśniowo-szkieletowymi, uwzględniających charakterystykę pracownika wynikającą z jego wieku i płci. Odczuwa się także brak metod, które umożliwiłyby ocenę obciążenia i zmęczenia mięśni z uwzględnieniem wieku i płci pracownika.

Celem niniejszego artykułu jest omówienie zjawiska starzenia się społeczeństwa i związanych z tym problemów dotyczących oceny obciążenia i zmęczenia mięśni pracowników w różnym wieku. Dokładniejsze poznanie procesu zmęczenia mięśniowego u kobiet i mężczyzn z uwzględnieniem ich wieku może wpłynąć na bardziej adekwatne i efektywne dostosowywanie powierzanych zadań do możliwości pracowników, dzięki czemu możliwe będzie zmniejszenie zakresu niepełnosprawności oraz przedłużenie aktywności zawodowej pracowników.



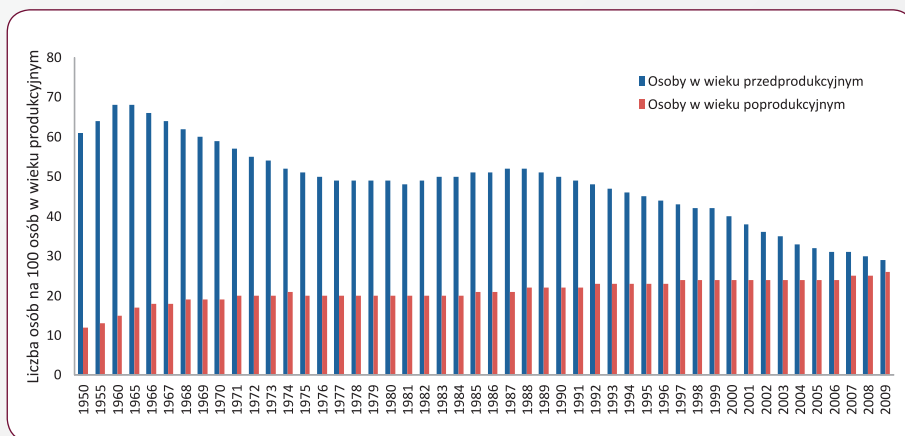
Rys. 1. Przeciętna długość życia kobiet i mężczyzn urodzonych w Polsce w latach 1950-2009 [2]

Fig. 1. Average lifespan of Polish women and men born between 1950 and 2009 [2]



Rys. 2. Przyrost naturalny ludności w Polsce w latach 1950-2009 [2]

Fig. 2. Population growth in Poland between 1950 and 2009 [2]



Rys. 3. Ludność w Polsce w wieku nieprodukcyjnym (przedprodukcyjnym i poprodukcyjnym) w latach 1950-2009 [2]

Fig. 3. Population of non-productive Poles (not yet able to work and already retired) between 1950 and 2009 [2]

## Zmiany demograficzne w Polsce

Związany z postępowaniem technologicznym rozwój aparatury medycznej oraz nowoczesnych metod leczenia i diagnostyki, a także wzrost świadomości społeczeństwa w zakresie zdrowego stylu życia, mają swoje odzwiercie-

dlenie w wydłużaniu się przeciętnego trwania życia oraz w związaniu z nim spadku natężenia zgonów. Jak wynika z danych i prognoz GUS, przeciętna długość trwania życia kobiet i mężczyzn urodzonych w 1950 r. wynosi odpowiednio 61,68 lat i 56,07 lat, podczas gdy długość ta dla osób urodzonych w 2009 r.

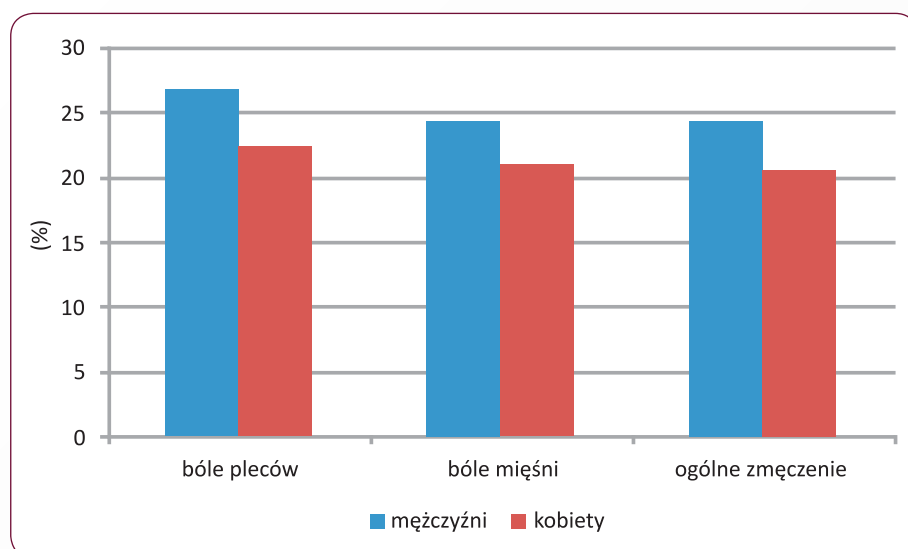
jest szacowana na 80,05 lat dla kobiet i 71,53 lat w przypadku mężczyzn [2]. Wykres prezentujący przeciętne dalsze trwanie życia kobiet i mężczyzn urodzonych w latach 1950-2009 przedstawiono na rys. 1.

Obserwowany w ostatnim trzydziestolecu spadek przyrostu naturalnego ludności w Polsce (rys. 2.) oraz wydłużanie się przeciętnego trwania życia powodują zmianę rozkładu wieku społeczeństwa polskiego. Dane przedstawione na rys. 3. świadczą o stałym wzroście liczby osób w wieku poprodukcyjnym oraz spadku liczby osób w wieku przedprodukcyjnym. Sytuacja taka pociąga za sobą pewne problemy. Jedną z trudności, towarzyszących zjawisku starzenia się społeczeństwa jest wzrost obciążenia finansowego wynikającego ze zwiększenia liczby świadczeń emerytalno-rentowych oraz z wyższych kosztów opieki nad grupą osób w wieku podeszłym i starszym. Według danych GUS kwota świadczeń emerytalno-rentowych w Polsce w 2009 r. wyniosła 161 949 mln zł i była wyższa o 9,7% w porównaniu z 2008 r.

Starzenie się społeczeństwa wiąże się również z koniecznością podjęcia działań mających na celu zachowanie sprawności fizycznej i psychicznej oraz ograniczanie kosztów wynikających z opieki medycznej nad osobami starszymi. Dlatego też istotne jest dokładne poznanie procesów starzenia się organizmu oraz rozwój metod umożliwiających profilaktykę zdrowotną. Dużą rolę odgrywa w niej zapewnienie ergonomicznych warunków podczas pracy, przekładające się między innymi na zmniejszanie ryzyka i stopnia występowania dolegliwości mięśniowo-szkieletowych. Ograniczanie występowania dolegliwości układu mięśniowo-szkieletowego nie jest jednak możliwe bez odpowiednich narzędzi umożliwiających skuteczną ocenę obciążenia i zmęczenia pracownika. Zastosowanie takich narzędzi może nie tylko ułatwić komfort życia i wpłynąć na poprawę stanu zdrowia osób starszych, ale także, poprzez wydłużenie aktywności zawodowej, przyczynić się do zmniejszenia kosztów wynikających ze świadczeń emerytalno-rentowych.

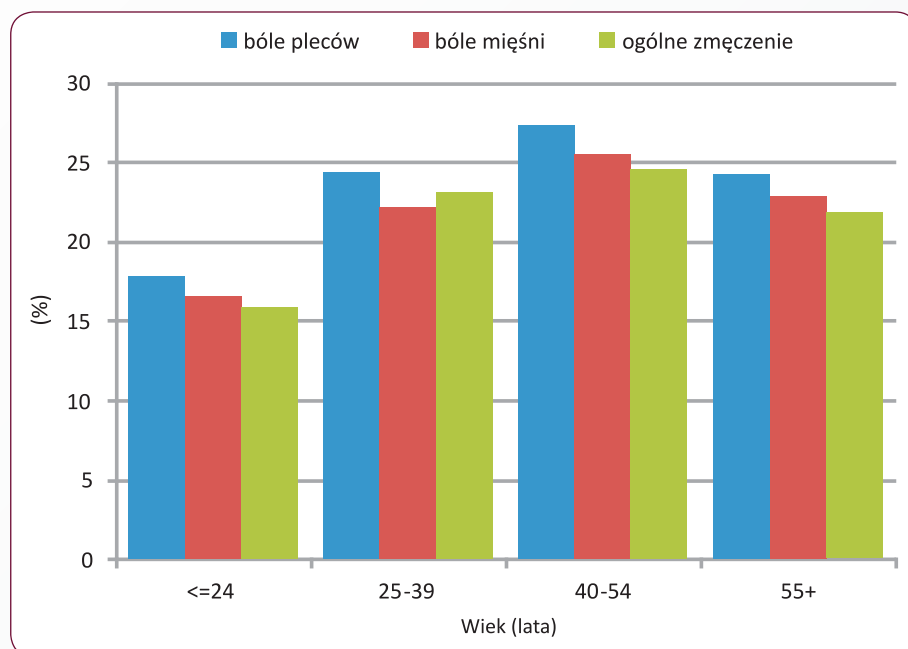
## Wiek i płeć a dolegliwości mięśniowo-szkieletowe

Jak wynika z raportu Europejskiej Agencji Bezpieczeństwa i Zdrowia w Pracy, jednym z czynników ryzyka związanego z rozwojem dolegliwości mięśniowo-szkieletowych jest wiek pracownika [3]. Według tego opracowania dolegliwości mięśniowo-szkieletowe są największym problemem zdrowotnym w Europie związanym z pracą – 25% pracowników skarży się na bóle pleców, natomiast 23% – na bóle mięśniowe. Agencja Eurofound [4], zajmująca się m.in. badaniem warunków pracy



Rys. 4. Procentowy udział głównych dolegliwości mięśniowo-szkieletowych u kobiet i mężczyzn w odniesieniu do wszystkich dolegliwości mięśniowo-szkieletowych [4]

Fig. 4. Percentage of main musculoskeletal complaints in women and men in relation to all kinds of musculoskeletal complaints [4]



Rys. 5. Występowanie dolegliwości mięśniowo-szkieletowych w różnych grupach wiekowych pracowników [4]

Fig. 5. Musculoskeletal complaints in various age groups of workers [4]

wskazuje, że stopień występowania dolegliwości mięśniowo-szkieletowych jest uzależniony zarówno od wieku, jak i od płci pracownika. Na rys. 4. przedstawiono procentowy udział głównych dolegliwości mięśniowo-szkieletowych u kobiet i mężczyzn, natomiast na rys. 5. rozkład występowania dolegliwości mięśniowo-szkieletowych w różnych grupach wiekowych pracowników.

Z rys. 4. wynika, że wśród wszystkich dolegliwości mięśniowo-szkieletowych największy udział mają bóle pleców, bóle mięśni oraz ogólne zmęczenie. Z kolei rys. 5. wska-

zuje, że dolegliwości te najbardziej dokuczają pracownikom w wieku 40-54 lata, natomiast są mniej uciążliwe dla pracowników młodszych.

### Wpływ starzenia się na charakterystykę mięśni szkieletowych

Starzenie się pociąga za sobą liczne zmiany w organizmie. Wraz z wiekiem dochodzi m.in. do zmian właściwości anatomicznych oraz czynnościowych mięśni szkieletowych [5, 6], wśród których można wyszczególnić

zmniejszenie masy mięśniowej (sarkopenia) i związane z tym procesem zmniejszenie siły skurczu mięśni, zmiany kurczliwości włókien mięśniowych i unerwienia mięśni, jak również spadek wytrzymałości mięśni na zmęczenie. Oznacza to, że osoby starsze, ze względu na częstszą ekspozycję na nadmierny wysiłek i zmęczenie, są bardziej narażone na występowanie dolegliwości mięśniowo-szkieletowych.

Jak wskazuje K. Budzińska, głównym czynnikiem prowadzącym do sarkopenii jest stopniowa degeneracja układu nerwowego sterującego pracą mięśni [5]. W wyniku degeneracji układu nerwowego dochodzi do zaniku jednostek odpowiedzialnych za skurcz mięśnia (jednostek ruchowych). Zanik ten między wiekiem młodzieńczym a starszym może wynosić nawet 25% masy mięśniowej.

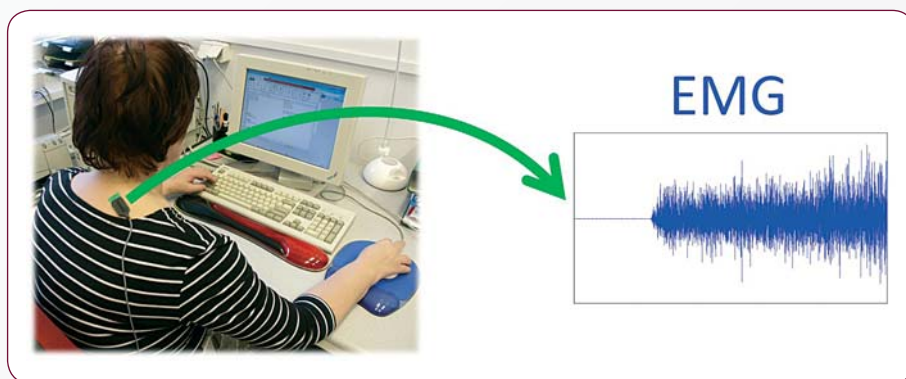
Podczas zwiększania siły skurczu mięśnia istnieje określony schemat pobudzania poszczególnych jednostek motorycznych [7]. Siła skurczu mięśnia może być zwiększana poprzez wzrost liczby pobudzonych jednostek ruchowych, wzrost częstotliwości ich pobudzenia oraz synchronizację skurczów poszczególnych jednostek ruchowych.

W wyniku starzenia się organizmu zmienia się sposób i częstotliwość pobudzania mięśni do pracy [5]. Zachodzącemu z wiekiem zanikowi unerwienia mięśni towarzyszy proces reinerwacji (ponownego unerwienia) włókien mięśniowych poprzez wypustki aksonalne pochodzące z innych, nieuszkodzonych jednostek ruchowych w mięśniu. Zjawisko to może powodować błędne unerwienie włókien mięśniowych. W wyniku tego może dochodzić do zmian w schemacie pobudzania włókien mięśniowych, przekładających się na zaburzenia synchronizacji skurczów jednostek ruchowych. W przypadku, gdy zanik unerwienia zachodzi w większym stopniu niż reinerwacja, następuje zamiana włókien mięśniowych na tkankę tłuszczową i włóknistą, co wiąże się ze zmniejszeniem masy mięśniowej oraz, wynikającym z tego, zmniejszeniem siły mięśnia.

### Ocena obciążenia i zmęczenia układu mięśniowo-szkieletowego

Ocenę obciążenia i zmęczenia układu mięśniowo-szkieletowego można przeprowadzić na podstawie obciążenia zewnętrznego, uwarunkowanego wykonywanymi czynnościami pracy, bądź na podstawie obciążenia wewnętrznego, będącego reakcją organizmu na występujące obciążenie zewnętrzne.

Do oceny obciążenia zewnętrznego wykorzystuje się metody polegające na analizie parametrów biomechanicznych, opisujących położenie poszczególnych członów ciała, siły wywieranej przez pracownika oraz sekwencji



Rys. 6. Sposób rejestracji sygnału EMG oraz przykładowy sygnał zarejestrowany z zastosowaniem czujnika przyklejonego na skórę nad mięśniem

Fig. 6. EMG signal registration and a sample signal registered with the use of a sensor glued to the skin above a muscle

czasowych obciążenia [8]. Natomiast obciążenie wewnętrzne i zmęczenie pracownika może być badane na podstawie oceny subiektywnej lub z zastosowaniem metod obiektywnych, polegających na analizie wskaźników fizjologicznych, takich jak np. częstość skurczów serca, ciśnienie krwi, czy też na analizie aktywności elektrycznej pobudzenia mięśni z wykorzystaniem elektromiografii (EMG).

Ocena obciążenia i zmęczenia pracownika może więc być przeprowadzana z zastosowaniem różnych metod, przy czym wybór metody z jednej strony uzależniony jest od charakteru pracy, z drugiej zaś wpływa na dokładność przeprowadzanej oceny.

Obiektywna i dokładna ocena obciążenia i zmęczenia układu mięśniowo-szkieletowego, w odniesieniu do poszczególnych grup mięśniowych może być przeprowadzona z zastosowaniem elektromiografii powierzchniowej [9, 10]. Metoda ta, dzięki nowoczesnej aparaturze pomiarowej umożliwia bezinwazyjną ocenę obciążenia i zmęczenia układu mięśniowo-szkieletowego na podstawie parametrów sygnału EMG, zarejestrowanego jednocześnie z kilku lub nawet kilkunastu grup mięśniowych. Ocena ta dotyczy nie tylko znacznego wysiłku, ale także prac wymagających rozwijania niewielkich sił. Sposób rejestracji sygnału EMG oraz przykładowy sygnał zarejestrowany z zastosowaniem czujnika przyklejonego na skórę nad mięśniem przedstawiono na rys. 6.

Na charakterystykę sygnału EMG rejestrowanego za pomocą elektrod powierzchniowych mają wpływ różne czynniki. Można wyróżnić czynniki wewnętrzne, dotyczące fizjologii oraz właściwości geometrycznych i anatomicznych mięśni, jak również czynniki zewnętrzne związane z poziomem aktywacji mięśnia, czasem utrzymywania obciążenia oraz warunkami panującymi podczas rejestracji sygnału. Wyniki badań wskazują, że charakterystykę sygnału rejestrowanego z mięśni determinują również czynniki osobnicze, związane

z wiekiem i płcią osoby badanej. Obecnie trwają prace ukierunkowane na opracowanie wskaźników jeszcze skuteczniej opisujących zjawiska zachodzące w mięśniach w sposób ilościowy, przy uwzględnieniu wieku i płci pracownika. Mają one na celu dostarczenie narzędzi umożliwiających określenie, czy prace powodujące zmęczenie mięśniowe stanowią zagrożenie dla pracowników z grup szczególnie podatnych na rozwój chorób i dolegliwości (pracownicy starsi) oraz dla kobiet pracujących w zawodach związanych z dużym obciążeniem fizycznym. Lepsze poznanie zależności pomiędzy wiekiem i płcią a charakterystyką sygnału EMG i zmęczeniem mięśni może się przyczynić do dokładniejszego poznania zjawiska zmęczenia występującego u starszych kobiet i mężczyzn, co może wpłynąć na poprawę stanu zdrowia pracowników i ograniczanie występowania dolegliwości mięśniowo-szkieletowych.

Można wyszczególnić wiele różnych metod oceny obciążenia i zmęczenia pracowników, należy jednak pamiętać, że większość z nich została opracowana na podstawie kryteriów odnoszących się głównie do osób młodych. Oznacza to, że stosowanie tych metod w ocenie obciążenia pracowników starszych może się wiązać z pewnymi nieścisłościami w analizie i interpretacji uzyskiwanych wyników.

Ze względu na fakt, iż na obciążenie i zmęczenie układu mięśniowo-szkieletowego człowieka mają wpływ czynniki osobnicze oraz związane ze środowiskiem pracy, trwają prace mające na celu poszukiwanie nowych metod oceny obciążenia i zmęczenia pracownika, uwzględniających takie czynniki jak: poziom obciążenia, pozycja ciała, zawartość tkanki tłuszczowej czy płeć [11]. Istotne jest także poszukiwanie metod oceny i wskaźników opisujących zmęczenie mięśnia, dla różnych grup wiekowych, przy uwzględnieniu płci pracownika.

## Podsumowanie

W starzejącym się społeczeństwie ograniczenie ryzyka rozwoju dolegliwości mięśniowo-szkieletowych nabiera szczególnego znaczenia. Ze względu na zachodzące wraz z wiekiem zmiany w charakterystyce mięśni szkieletowych istotne jest precyzyjne monitorowanie i ocena zmęczenia pracowników starszych. Ważne jest więc opracowywanie i udoskalanie narzędzi umożliwiających skuteczne diagnozowanie zmęczenia mięśniowego u osób w różnym wieku.

Na obciążenie i zmęczenie układu mięśniowo-szkieletowego mają wpływ nie tylko warunki panujące na stanowisku pracy, ale także czynniki osobnicze, takie jak wiek, czy płeć. W związku z tym do oceny obciążenia i zmęczenia pracownika należy stosować nie tylko metody uwzględniające parametry charakteryzujące stanowisko i czynności pracy, ale przede wszystkim odnoszące się do czynników osobniczych pracownika.

## PIŚMIENICTWO

- [1] Informacja o absencji chorobowej osób ubezpieczonych w ZUS w I półroczu 2010 roku. Zakład Ubezpieczeń Społecznych, Warszawa 2010
- [2] Rocznik demograficzny 2010. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2010
- [3] European Agency for Safety and Health at Work, 2007 <http://osha.europa.eu/en/publications/reports/TE7606536ENC/view>
- [4] Forth European Working Conditions Survey. European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions, 2007 <http://www.eurofound.europa.eu/pubdocs/2006/98/en/2/ef0698en.pdf>
- [5] K. Budzińska *Wpływ starzenia się organizmu na biologię mięśni szkieletowych*. „Gerontologia Polska” 13 (1)2005
- [6] J. A. Żołądź, J. Majerczak, K. Duda *Starzenie się a wydolność fizyczna człowieka w: Fizjologia wysiłku i treningu fizycznego* pod red. J. Górskiego. Wyd. Lekarskie PZWL Warszawa 2011, s. 157-165
- [7] A. Bogucki, J. Pigońska *Budowa jednostki ruchowej w: Neurofizjologia kliniczna. Elektromiografia i elektroneurografia* pod red. B. Emeryk-Szajewskiej i M. Niewiadomskiej-Wolskiej. Medycyna Praktyczna. Kraków 2008, s. 47-54
- [8] D. Roman-Liu *Ocena ryzyka rozwoju dolegliwości mięśniowo-szkieletowych z zastosowaniem metody REBA*. „Bezpieczeństwo Pracy” 11 (458)2009
- [9] P. Bartuzi, J. Kamińska *Obciążenie i dolegliwości układu mięśniowo-szkieletowego a poziom wiedzy pracowników w zakresie ergonomii stanowiska komputerowego*. „Bezpieczeństwo Pracy” 2 (461)2010
- [10] P. Bartuzi, D. Roman-Liu *Ocena obciążenia i zmęczenia układu mięśniowo-szkieletowego z zastosowaniem elektromiografii*. „Bezpieczeństwo Pracy” 4 (427)2007
- [11] P. Bartuzi *Wpływ fluktuacji siły na niskich poziomach obciążenia i zmian długości mięśnia na charakterystykę widmową sygnału EMG (rozprawa doktorska)*. CIOP-PIB, Warszawa 2011

*Publikacja opracowana na podstawie wyników II etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2011-2013 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.*