

**Andrzej Dąbrowski
Tomasz Tokarski**

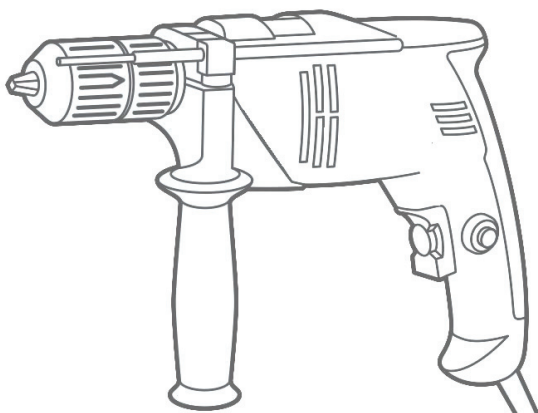
OBCIĄŻENIA UKŁADU MIĘŚNIOWO- -SZKIELETOWEGO

powodowane przez
momenty obrotowe
powstające przy obsłudze
maszyn ręcznych
z napędem elektrycznym

Andrzej Dąbrowski

Tomasz Tokarski

OBCIĄŻENIA UKŁADU
MIĘŚNIOWO-SZKIELETOWEGO
powodowane przez momenty
obrotowe powstające
przy obsłudze maszyn ręcznych
z napędem elektrycznym



Warszawa 2016

CIOP  **PIB**

Opracowano i wydano w ramach III etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” (2014–2016) finansowanego w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju.

Koordinator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Autorzy:

dr inż. Andrzej Dąbrowski, dr Tomasz Tokarski

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Opracowanie redakcyjne:

Lucyna Wyciszkievicz-Pardej

Opracowanie graficzne:

Dorota Marzec

Projekt okładki:

Anna Antoniszewska

© Copyright by Centralny Instytut Ochrony Pracy
– Państwowy Instytut Badawczy
Warszawa 2016

ISBN 978-83-7373-202-5

CIOP  **PIB**

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa
tel. (22) 623 36 98, fax (22) 623 36 93, 623 36 95, www.ciop.pl

Spis treści

Wstęp. Stosowanie maszyn ręcznych – zalety i zagrożenia	5
Zagrożenia układu mięśniowo-szkieletowego operatorów maszyn ręcznych z napędem elektrycznym.....	7
Momenty obrotowe generowane przez maszyny ręczne	7
Narażone mięśnie operatorów maszyn ręcznych.....	9
Sposób określania obciążenia mięśni	10
Wpływ sposobu trzymania maszyny ręcznej na obciążenie mięśni operatorów	11
Wpływ ustawienia maszyny ręcznej na obciążenie mięśni operatorów	14
Wpływ momentu obciążającego narzędzie maszyny ręcznej na obciążenie mięśni operatorów	15
Wpływ wieku operatorów maszyn ręcznych na obciążenie ich układu mięśniowo-szkieletowego	17
Podsumowanie	20

WSTĘP.

Stosowanie maszyn ręcznych – zalety i zagrożenia

Użytkowanie maszyn ręcznych z napędem elektrycznym wpływa na zwiększenie wydajności pracy ze względu na ich małą masę, a tym samym mobilność. Ich użytkowanie jest możliwe w różnych miejscach. W takich przypadkach nie ma potrzeby organizowania nowych stanowisk pracy, które trzeba wyposażać w maszyny stacjonarne. Dlatego też maszyny ręczne (głównie z napędem elektrycznym) są powszechnie stosowane zarówno w zakładach pracy, jak i w gospodarstwach domowych. Według przeprowadzonych badań rynkowych wzrost zapotrzebowania na maszyny ręczne na świecie wynosił średnio 4,4%, osiągając w 2015 roku wartość ok. 27,3 mld USD.

Powszechnie użytkowane maszyny ręczne z napędem elektrycznym to m.in.: frezarki, wiertarki, gwinciarki, wkrętarki, szlifierki, polerki, klucze udarowe (rys. 1).

Podczas ich użytkowania na kończyny górne operatorów przenoszone są momenty obrotowe występujące np. jako skutek zakleszczenia narzędzia w obrabianym materiale (tzw. momenty utyku) lub zablokowania jego ruchu. W konsekwencji mogą powstawać zagrożenia dla układu mięśniowo-szkieletowego.

Zmiana struktury (starzenie się) społeczeństwa wymusza dostosowywanie stanowisk pracy do potrzeb starszych pracowników – odbywa się to głównie przez zmniejszenie obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego. Tego typu działania powinny dotyczyć także stanowisk pracy wyposażonych w maszyny ręczne.



Rys. 1. Przykłady powszechnie stosowanych maszyn ręcznych z napędem elektrycznym: a) szlifierka prosta, b) szlifierka kąтова, c) wiertarka, d) klucz udarowy

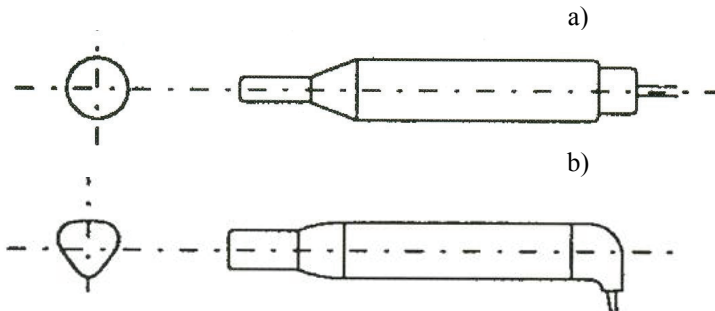
Publikacja jest adresowana zarówno do licznej grupy amatorów, jak i profesjonalistów stosujących maszyny ręczne (głównie z napędem elektrycznym) do swoich prac. Ich liczbę szacuje się w Polsce na ok. 3 mln użytkowników.

Będzie ona przydatna w dużych firmach oraz w sektorze MŚP z różnych sekcji gospodarki, tworzących i modernizujących stanowiska pracy z uwzględnieniem powszechnie stosowanych maszyn ręcznych z napędem elektrycznym. Docelowo trzeba mieć również na względzie aspekt starzenia się społeczeństwa. Według danych Eurostatu w 2010 roku stopa zatrudnienia osób w wieku 55–64 wynosiła 46,3% przy ogólnej stopie zatrudnienia 64,2%, co oznacza znaczny wzrost w porównaniu ze wskaźnikiem 36,9% na początku stulecia. Zwiększenie aktywności osób starszych (bardziej narażonych na różnego typu obciążenia i zagrożenia w pracy), w tym ich zatrudnienie, jest więc jednym z istotnych wyzwań zarówno w Europie, jak i na świecie. Ze względu na to, że liczba użytkowników tych maszyn ręcznych będzie w przyszłości rosła, potrzebna jest wiedza nt. zagrożeń przy ich użytkowaniu wśród pracodawców i pracowników, a także projektantów maszyn i stanowisk pracy oraz wśród pracowników organów kontrolnych, specjalistów ds. bezpieczeństwa i higieny pracy.

Zagrożenia układu mięśniowo-szkieletowego operatorów maszyn ręcznych z napędem elektrycznym

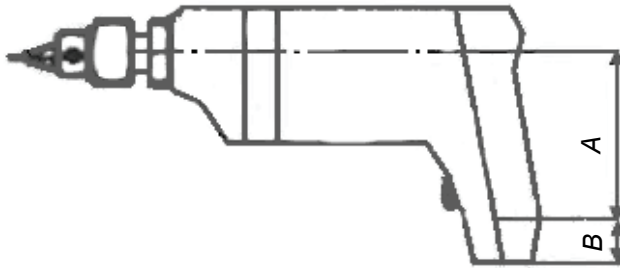
Momenty obrotowe generowane przez maszyny ręczne

Biorąc pod uwagę różne rodzaje uchwytów maszyn w Polskich Normach, określa się maksymalny moment obrotowy – powstający np. podczas zakleszczenia w materiale obrabianym (tzw. moment utyku). Dla maszyn ręcznych trzymany za obudowę maksymalny dopuszczalny moment obrotowy M_{Rmax} przenoszony na ręce operatora, w zależności od kształtu tej obudowy, wynosi 8 lub 10 Nm (rys. 2).



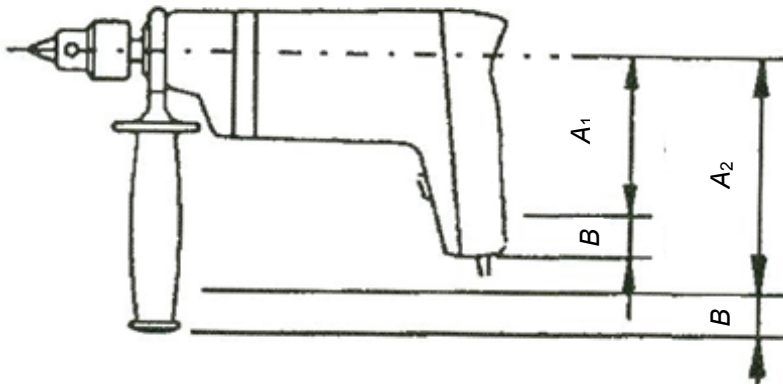
Rys. 2. Sposób określenia dopuszczalnego momentu obrotowego maszyny ręcznej trzymanej podczas pracy za obudowę: a) obudowa okrągła – $M_{Rmax} = 8$ Nm, b) obudowa o przekroju trójkątnym – $M_{Rmax} = 10$ Nm

Maksymalne momenty obrotowe w przypadku maszyn ręcznych trzymany za jeden lub dwa uchwyty są określane w inny sposób. W przypadku wiertarki trzymanej za jeden uchwyt moment obrotowy będzie zależał od długości uchwytu oraz położenia osi obrotu narzędzia (rys. 3).



Rys. 3. Sposób określenia dopuszczalnego momentu obrotowego wiertarki z jednym uchwytem: $M_{Rmax} = (400 \cdot A) \text{ Nm}$: $B = 0,04 \text{ m}$

Jeśli te same maszyny będą trzymane podczas użytkowania za dwa uchwyty, to wtedy moment obrotowy będzie zależał od długości dłuższego uchwyty oraz położenia osi obrotu narzędzia (rys. 4).



Rys. 4. Sposób określenia dopuszczalnego momentu obrotowego wiertarki z dwoma uchwytami: $M_{Rmax} = (400 \cdot A_2) \text{ Nm}$: $B = 0,04 \text{ m}$

Przykładowe obliczone dopuszczalne momenty obrotowe (rys. 3 i 4) wynoszą dla wiertarki z jednym uchwytem 56 Nm ($A = 0,14 \text{ m}$), natomiast dla wiertarki o większej mocy z dwoma uchwytami 76 Nm ($A_2 = 0,19 \text{ m}$).

Ze względu na techniczne ograniczenie maksymalnego momentu obrotowego praktycznie występujące momenty są dużo mniejsze od tych obliczeniowych. Badania wiertarek wykazały, że działanie sprzęgła przeciążeniowego bądź ograniczenie mocy silnika powoduje zatrzymanie ruchu wiertła przy momentach hamujących wynoszących kilkanaście Nm.

Ponadto w badaniach wykazano, że maksymalne momenty, jakie praktycznie mogli wyrzucić operatorzy (w najkorzystniejszych warunkach ergonomicznych), trzymając np. wyłączoną wiertarkę za oba uchwyty, nie przekraczały 50 Nm (wiertarka z dwoma uchwytami – $A = 0,19 \text{ m}$).

Narażone mięśnie operatorów maszyn ręcznych

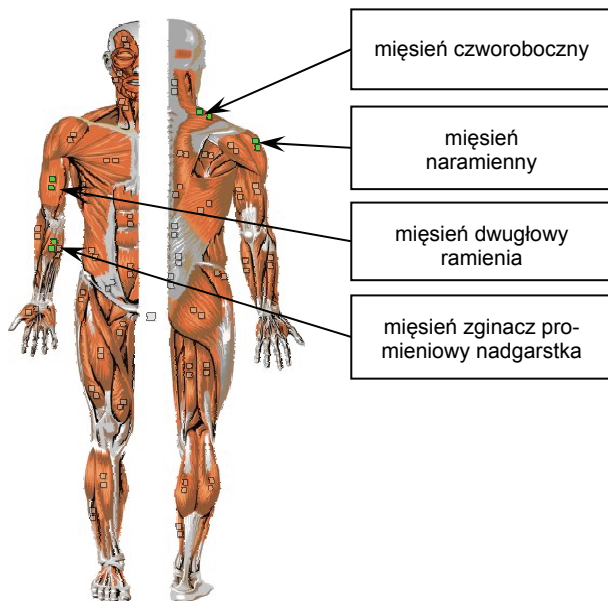
Podczas obsługi maszyn ręcznych najbardziej narażone na obciążenie pochodzące od momentów obrotowych generowanych przez maszyny ręczne są mięśnie przedramienia, ramienia i obręczy barkowej. W zależności od pozycji przyjmowanej przez operatorów podczas pracy mogą to być następujące mięśnie: czworoboczny – część górna (*trapezius pars descendens*), naramienny – część środkowa (*deltoides pars media*), dwugłowy ramienia – głowa długa (*biceps brachii – caput longum*), zginacz promieniowy nadgarstka (*flexor carpi radialis*) (rys. 5).

Podczas pracy maszyną ręczną ich obciążenie wynika ze spełniania przez nie różnych funkcji.

Mięsień czworoboczny i naramienny realizują przede wszystkim funkcję utrzymania kończyny górnej w ustalonej pozycji.

Funkcję utrzymania maszyny w określonej pozycji realizują mięśnie dwugłowy ramienia oraz zginacz promieniowy nadgarstka.

Dodatkowo mięsień zginacz promieniowy nadgarstka jest obciążony podczas włączania maszyny.



Rys. 5. Położenie wybranych mięśni przedramienia, ramienia i obręczy barkowej odpowiedzialnych za realizację różnych funkcji podczas obsługi maszyny ręcznej (zielone punkty oznaczają miejsca przyłączenia elektrod EMG podczas badań ich obciążenia)

Sposób określania obciążenia mięśni

Aby stwierdzić, jakie jest rzeczywiste obciążenie poszczególnych mięśni, przeprowadzono test maksymalnie aktywujący każdy z nich. Uzyskiwano w ten sposób maksymalną wartość amplitudy sygnału EMG – elektromiografia (rys. 6) pochodzącego od poszczególnych mięśni podczas badań z zastosowaniem maszyn ręcznych. Wartość ta odpowiadała wartości maksymalnego napięcia mięśnia MVC (ang. *maximum voluntary contraction*).

Dla wszystkich prób z elektrycznymi maszynami ręcznymi napięcie poszczególnych mięśni (wartość amplitudy sygnału EMG) odnoszono do odpowiednich wartości MVC, określając w ten sposób obciążenie mięśni wyrażone w % MVC.



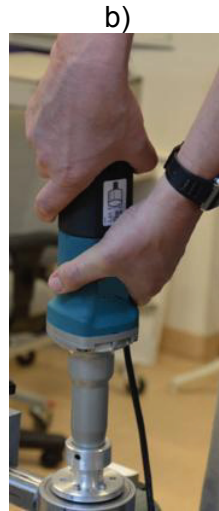
Rys. 6. Sposób przyczepu elektrody EMG dla badanego mięśnia

Wpływ sposobu trzymania maszyny ręcznej na obciążenie mięśni operatorów

Budowa maszyn ręcznych, a zwłaszcza różne rozwiązania techniczne umożliwiające ich trzymanie podczas pracy mają wpływ na obciążenie układu mięśniowo-szkieletowego operatorów.

W przypadku trzymania szlifierki prostej (rys. 7) za obudowę średnie obciążenie badanych mięśni operatorów w wieku 20–30 lat nie przekraczało 30% MVC, przy momencie obciążającym wynoszącym 8 Nm.

O wiele bardziej korzystna dla tych samych operatorów (w aspekcie ergonomii) jest praca maszynami trzymanymi oburącz za uchwyty (rys. 8) w porównaniu z pracą maszyną trzymaną oburącz za obudowę (rys. 7).



Rys. 7. Typowe ustawienie szlifierki prostej podczas pracy: a) poziome, b) pionowe



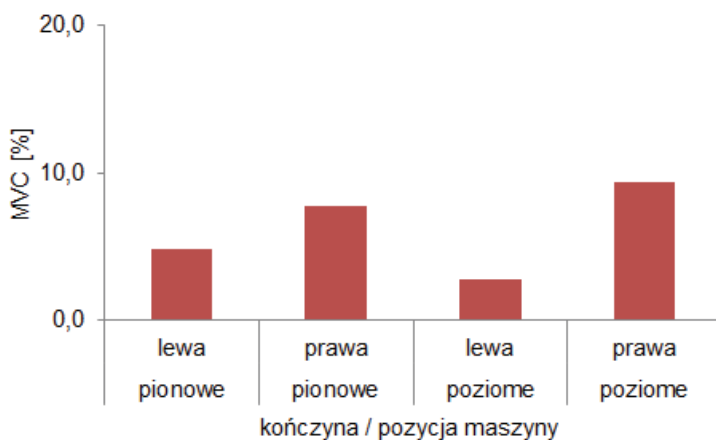
Rys. 8. Praca maszyną ręczną trzymaną za dwa uchwyty, ustawienie: a) poziome, b) pionowe

W takim przypadku występuje mniejsze średnie obciążenie mięśni u młodszych operatorów przy większym momencie obciążającym

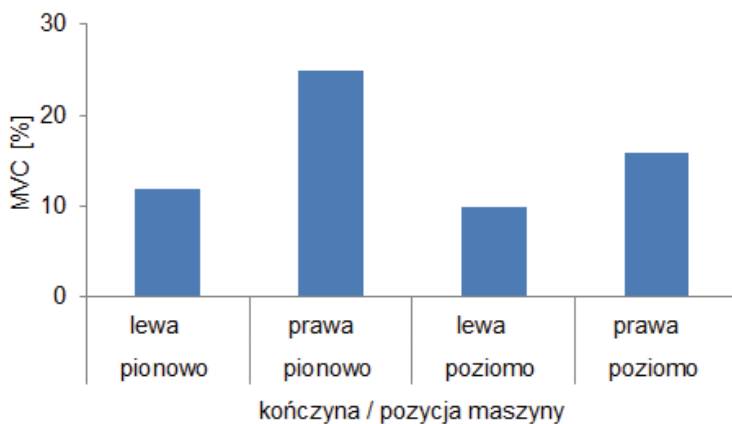
wynoszącym 10 Nm. Różnice w obciążeniu wynoszą od 10 do nawet 300%.

Największe różnice są widoczne w przypadku mięśnia dwugłowego ramienia, co przedstawiono na rysunku 9.

a)

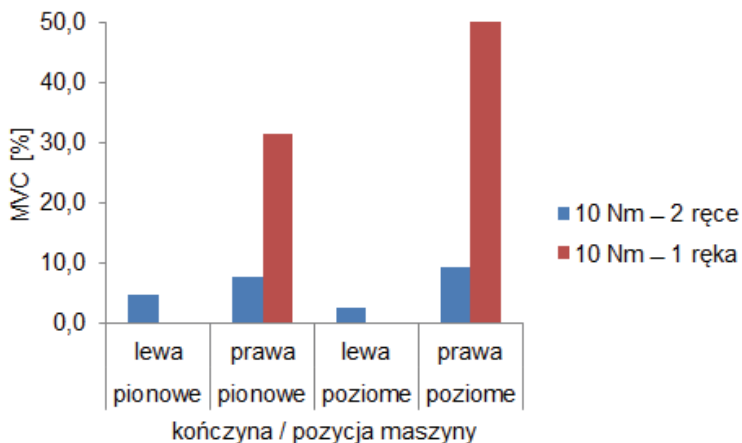


b)



Rys. 9. Największa różnica średniego obciążenia występująca dla mięśnia dwugłowego ramienia: a) obsługa oburęczna wiertarki (moment obciążający 10 Nm), b) trzymanie szlifierki prostej oburącz za obudowę (moment obciążający 8 Nm)

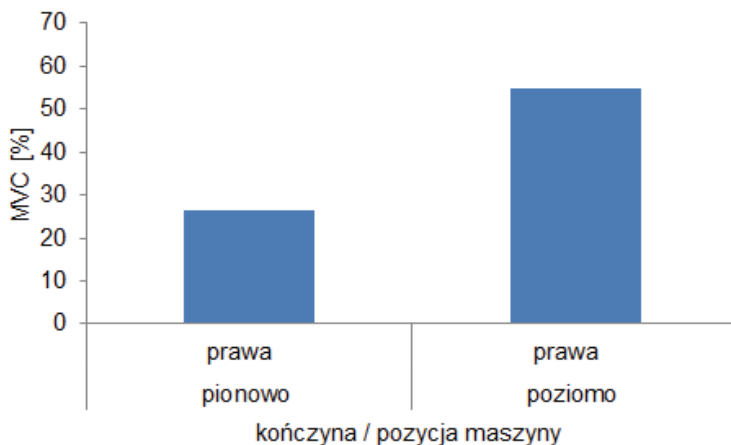
Uzasadnione jest także stosowanie oburęcznego trzymania maszyny za uchwyty, tam gdzie jest to możliwe (np. w przypadku wiertarki z mocowanym drugim uchwytem), ze względu na znaczące zmniejszenie obciążenia mięśni. Na rysunku 10 przedstawiono te różnice (dochodzące nawet do 500%) w przypadku mięśnia dwugłowego ramienia przy momencie obciążającym wynoszącym 10 Nm.



Rys. 10. Średnie obciążenie mięśnia dwugłowego ramienia kończyn górnych operatorów przy obsłudze oburęcznej i jednoręcznej wiertarki – moment obciążający 10 Nm: „2 ręce” – oznacza trzymanie za dwa uchwyty, „1 ręka” – oznacza trzymanie maszyny jedną ręką za jeden uchwyt

Wpływ ustawienia maszyny ręcznej na obciążenie mięśni operatorów

Wpływ ustawienia maszyny można rozpatrywać w dwóch najczęściej występujących jej położeniach pracy, czyli pionowym i poziomym. Różnice w obciążeniu w tym przypadku występują zwłaszcza w mięśniu dwugłowym ramienia realizującym funkcje utrzymania maszyny w określonej pozycji (rys. 11).



Rys. 11. Średnie obciążenie mięśnia dwugłowego ramienia prawej kończyny górnej operatorów przy jednoręcznej obsłudze wiertarki – moment obciążający wynoszący 10 Nm

Zwiększenie obciążenia występuje przy poziomym ustawieniu maszyny (w porównaniu z ustawieniem pionowym), a zwłaszcza jest to widoczne (prawie dwukrotne zwiększenie obciążenia) w przypadku trzymania maszyny za uchwyt jedną ręką.

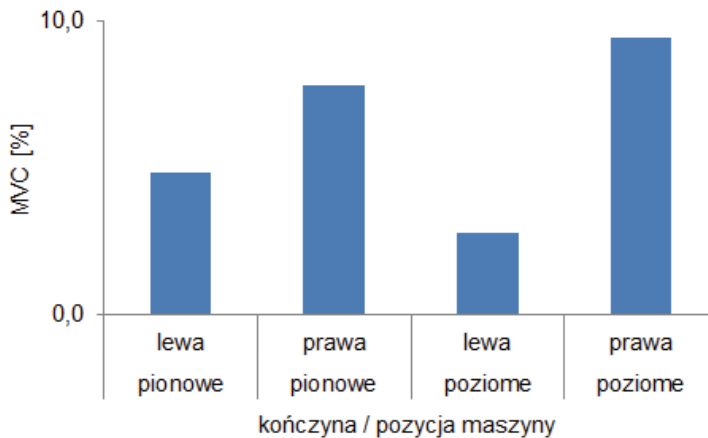
Wpływ momentu obciążającego narzędzie maszyny ręcznej na obciążenie mięśni operatorów

W maszynach ręcznych będą występowały różnice w momentach obciążających kończyny górne ich operatorów wynikające z zastosowanych rozwiązań technicznych, mocy ich silników itd. W maszynach nie zawsze będą jednak występowały sprzęgła przeciążeniowe ograniczające moment do kilkunastu Nm. Dlatego możliwe jest występowanie większych momentów, które według norm mogą być kilkukrotnie wyższe.

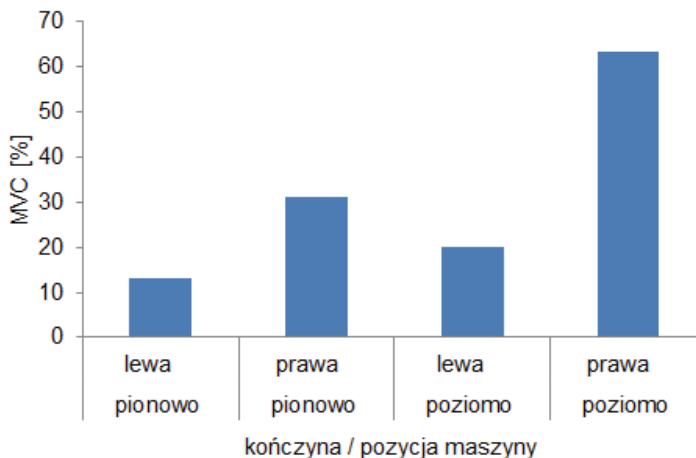
Biorąc pod uwagę możliwości młodszych operatorów (wiek 20–30 lat), przeprowadzono próby obciążania ich mięśni momentami do-

puszczalnymi przez normy. Porównując pracę maszynami przy momentach obciążających zwiększanych z 10 do 50 Nm w przypadku maszyny trzymanej oburęcznie za uchwyty, stwierdzono znaczące różnice w średnim obciążeniu mięśni (rys. 12).

a)



b)



Rys. 12. Średnie obciążenie mięśnia dwugłowego ramienia kończyn górnych operatorów przy obsłudze oburęcznej wiertarki – moment obciążający: a) 10 Nm; b) 50 Nm

Jako przykład można podać różnice w obciążeniu mięśnia dwugłowego ramienia w przypadku trzymania wiertarki oburącz za uchwyty przy momencie obciążającym wynoszącym 10 Nm (rys. 12a) oraz 50 Nm (rys. 12b).

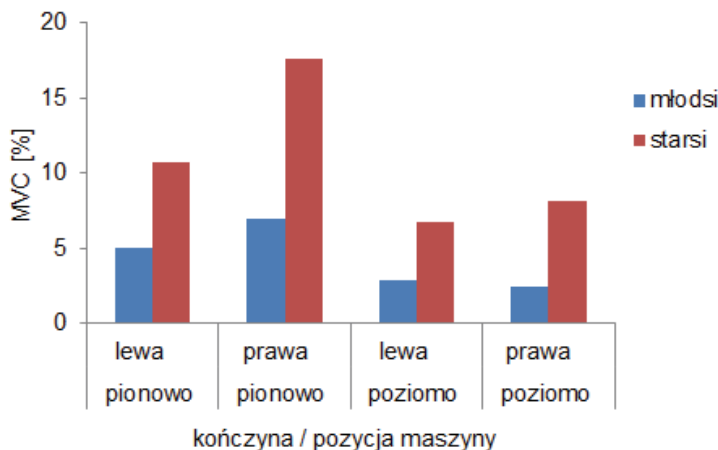
Jak widać na rysunku 12, pięciokrotne zwiększenie momentu obciążającego spowodowało sześciokrotny wzrost obciążenia mięśnia dwugłowego ramienia – prawej kończyny górnej.

Wpływ wieku operatorów maszyn ręcznych na obciążenie ich układu mięśniowo-szkieletowego

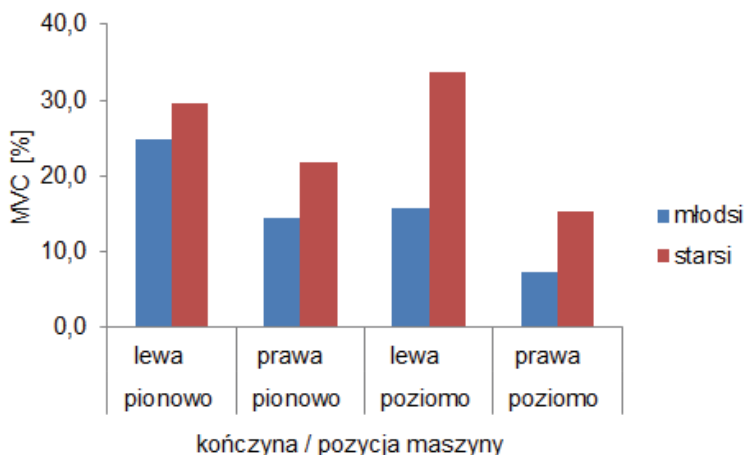
Ze względu na zjawisko zmniejszania się siły mięśniowej wraz z wiekiem określony moment obrotowy maszyn ręcznych skutkuje większym obciążeniem układu mięśniowo-szkieletowego u starszych pracowników.

Momenty przenoszone przez uchwyty/uchwyt maszyn ręcznych z napędem elektrycznym na mięśnie starszych operatorów (60–70 lat) generują u nich relatywnie większe wartości średnie obciążeń układu mięśniowo-szkieletowego (mierzone jako stosunek wartości siły poszczególnych mięśni potrzebnej do utrzymania maszyny za uchwyty/uchwyt do wartości siły maksymalnej możliwej do uzyskania dla danego mięśnia).

Różnice w obciążeniu mięśni można zaobserwować np. przy obsłudze szlifierki prostej (rys. 1a) czy wiertarki (rys. 1c). Dla zilustrowania tej różnicy wybrano przykładowo średnie obciążenie mięśnia naramiennego – część środkowa (rys. 13) oraz mięśnia czworobocznego – części górnej (rys. 14) w grupie młodszych (20–30 lat) i starszych (60–70 lat) operatorów.



Rys. 13. Średnie obciążenie mięśnia naramiennego kończyn górnych operatorów przy obsłudze oburęcznej szlifierki prostej – moment obciążający 8 Nm



Rys. 14. Średnie obciążenie mięśnia czworobocznego kończyn górnych operatorów przy oburęcznej obsłudze wiertarki – moment obciążający 50 Nm

Różnice obciążenia mięśni między grupą osób starszych a młodszych w zdecydowanej większości badań były istotne. W różnych przypadkach nobciążenia dla poszczególnych badanych mięśni u osób starszych dochodziły nawet do 100 % (MVC), co może

sprzyjać powstawaniu dolegliwości mięśniowo-szkieletowych lub urazów.

Analizując różnice obciążenia między badanymi grupami osób starszych i młodszych, można stwierdzić, że były one większe nawet o 70% w grupie starszych osób.

Podsumowanie

Opory ruchu narzędzi maszyn ręcznych w materiale obrabianym są przyczyną zagrożeń dla mięśni przedramienia, ramienia i obręczy barkowej ich operatorów. Wyniki badań ergonomicznych wskazują, że średnie obciążenie tych mięśni nie powinno przekraczać 15% MVC w ośmiogodzinnym wymiarze czasu. Oznacza to, że jeśli występują większe jego wartości, należy odpowiednio skracać czas pracy tymi maszynami ręcznymi.

Przedstawione w publikacji dane wskazują, że możliwe jest przekroczenie wartości granicznej obciążenia nawet w maszynach ręcznych z napędem elektrycznym, które są wyposażone w sprzęgła przeciążeniowe. Utrzymywanie tych przekroczeń w dłuższym wymiarze czasu może doprowadzić do dolegliwości, a nawet urazów układu mięśniowo-szkieletowego operatorów.

Dlatego oprócz zapewnienia odpowiedniej jakości zabezpieczeń stosowanych w maszynach, należy mieć także na uwadze czas pracy tymi maszynami.

Ze względu na starzejące się społeczeństwo, a tym samym fizyczne możliwości części pracowników trzeba również brać pod uwagę konieczność relatywnego zmniejszenia obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego na stanowiskach pracy wyposażonych w maszyny ręczne.