

**Paweł BARTUZI, Danuta ROMAN-LIU**, Zakład Ergonomii, Centralny Instytut ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa

## WPLYW TYPU MIĘŚNIA NA PARAMETRY WIDMA MOCY SYGNAŁU EMG

Streszczenie. Celem pracy było opracowanie wskaźników, opartych na widmie mocy sygnału elektromiograficznego (EMG), obrazujących budowę morfologiczną mięśnia. Sygnał EMG został zarejestrowany z mięśni: czworoboczny część zstępująca (*trapezius pars descendens-TPD*), naramienny część obojczykowa (*deltoideus pars clavicularis-DPC*), naramienny część barkowa (*deltoideus pars acromialis-DPA*) oraz zginacz łokciowy nadgarstka (*flexor carpi ulnaris-FCU*), podczas badań w 6 wariantach obciążenia. W wyniku analizy opracowano parametry widma mocy sygnału EMG, szczególnie wrażliwe na zmiany w strukturze mięśnia.

### 1. WSTĘP

Zawarte w literaturze światowej wyniki badań wskazują na znaczny wpływ typu mięśnia w tym zawartości włókien mięśniowych określonego typu na wartości powszechnie stosowanych parametrów sygnału EMG. Stosunek ilości typu I (wolne) i typu II (szybkie) włókien mięśniowych ma wpływ na różnicę w amplitudzie powierzchniowego EMG wyrażającą siłę mięśnia [3], jak również na wartości parametrów częstotliwościowych *MPF* i *MF* [1, 2].

Wpływ struktury mięśnia na parametry sygnału EMG ma szczególne znaczenie podczas oceny zmęczenia mięśniowego z zastosowaniem analizy sygnału EMG. Stąd też istotne znaczenie ma analiza widma mocy uwzględniająca różnice wynikające ze zróżnicowania struktury mięśnia (typ włókien mięśniowych, wielkość i umiejscowienie mięśnia, grubość tkanki tłuszczowej). Brak jest badań, które wskazywałyby na pasma częstotliwości widma mocy sygnału EMG, które zależą od typu mięśnia, podczas gdy określanie, które pasma częstotliwości są szczególnie zależne od typu mięśnia miałyby istotne znaczenie w analizie zmęczenia mięśniowego.

Celem pracy było opracowanie parametrów odnoszących się do poszczególnych pasm częstotliwości widma mocy sygnału EMG wskazujących na różnice w budowie morfologicznej mięśnia.

W ramach realizacji celu przeprowadzono badania doświadczalne z zastosowaniem elektromiografii powierzchniowej. Na podstawie analizy zarejestrowanego sygnału EMG opracowano parametry widma mocy oraz określono, które z tych parametrów są szczególnie wrażliwe na zmiany w strukturze mięśnia.

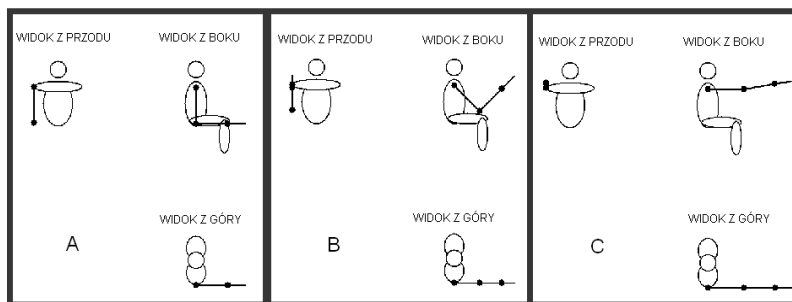
## 2. METODYKA BADAŃ

### 2.1. Badania doświadczalne

W czasie trwania badań mierzony był sygnał EMG z mięśni: czworoboczny część zstępująca (*trapezius pars descendens* - *TPD*), naramienny część obojczykowa (*deltoideus pars clavicularis* - *DPC*), naramienny część barkowa (*deltoideus pars acromialis* - *DPA*) oraz zginacz łokciowy nadgarstka (*flexor carpi ulnaris* - *FCU*) obręczy kończyny górnej prawej.

Grupę osób badanych stanowiło 10 mężczyzn w wieku od 20 do 25 lat. Średnia (odchylenie standardowe) wieku, masy ciała oraz wysokości ciała badanych osób odpowiednio wynoszą: 21,6 l. (1,5 l.); 73,2 kg (7,6 kg); 179,2 cm (7,1 cm).

Badania przeprowadzono dla trzech położeń kończyny górnej (rys. 1). Dla każdego z położeń kończyny górnej zapisywano sygnał EMG pochodzący z badanych mięśni w dwóch wariantach obciążenia (*R* - ruchomy i *S* - stacjonarny). W ten sposób uzyskano 6 wariantów badań, opisanych jako: *AR*, *AS*, *BR*, *BS*, *CR* i *CS*.



Rys.1. Położenia kończyny górnej podczas badań

### 2.2. Pomiar sygnału EMG i aparatura badawcza

Rejestracja sygnału EMG odbywała się za pomocą elektrod powierzchniowych. Przed przystąpieniem do badań odpowiednio przygotowano skórę poprzez ogolenie jeśli było to konieczne oraz oczyszczenie przy użyciu alkoholu. Po naklejeniu elektrod, uzyskano rezystancję między skórą a elektrodą poniżej 2 k $\Omega$ .

Sterowanie procesem pomiarowym odbywało się przy użyciu komputera. Do pomiarów i analizy wykorzystany został aparat *ME4000P*, który w połączeniu z komputerem umożliwia obserwację i rejestrację nieprzetworzonego sygnału. Częstotliwość próbkowania sygnału EMG wynosiła 1 kHz.

## 3. ANALIZA SYGNAŁU EMG

### 3.1. Analiza wstępna

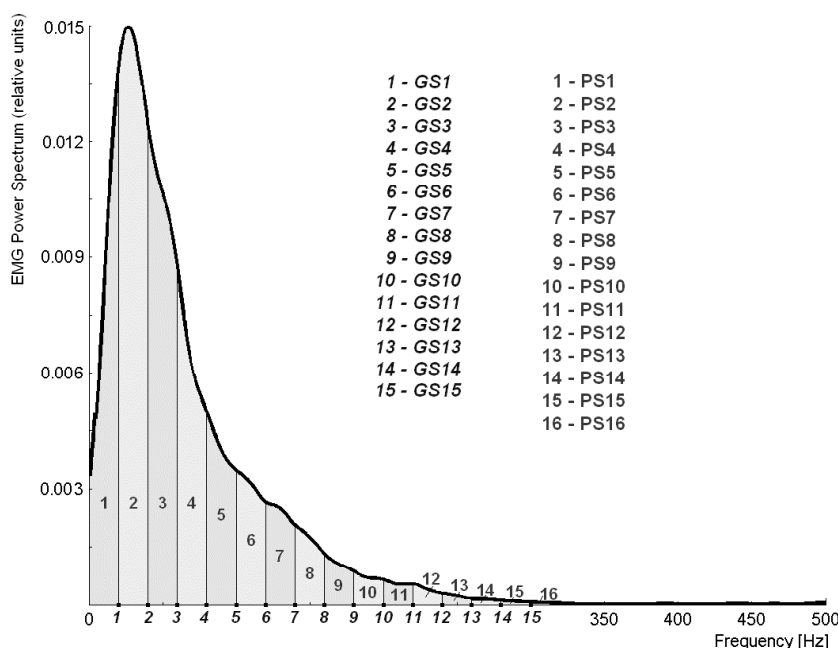
Zgromadzone w badaniach dane pomiarowe zostały poddane analizie mającej na celu określenie wpływu struktury mięśnia na parametry sygnału EMG. Badane mięśnie zostały pogrupowane według szacowanych proporcji włókien mięśniowych typu I oraz włókien typu II.

Przed obliczeniem parametrów sygnału EMG dane uzyskane z badań podzielone zostały na okna. Każde okno zawiera 1000 próbek, czyli 1000 wartości zapisanego sygnału EMG w kolejnych chwilach czasowych. Dla każdego okna wyznaczano wartości poszczególnych parametrów sygnału EMG.

### 3.2. Wyznaczanie parametrów sygnału EMG

Analizowano parametry sygnału EMG w dziedzinie czasu (amplituda średniokwadratowa *RMS*) oraz parametry sygnału EMG w dziedzinie częstotliwości (parametry widma mocy), które zostały wyznaczone po przeprowadzeniu szybkiej transformaty Fouriera (*FFT*). Z każdego okna zawierającego sygnał EMG otrzymano widmo mocy. W następnym kroku widma mocy poddane zostały normalizacji. Normalizacja polegała na podzieleniu wartości w konkretnym widmie przez sumę składników całego widma. Znormalizowanie widm umożliwiło określenie charakterystycznych parametrów widma mocy.

Parametry widma mocy sygnału EMG zostały wyznaczone w wyniku podziału widm mocy sygnału EMG na zakresy określane przez częstotliwości graniczne. Częstotliwości graniczne przyjęto jako stałe numery poszczególnych próbek (każdej próbce odpowiada określona częstotliwość) i przypisano im następujące nazwy i wartości: *GS1*=20Hz, *GS2*=40Hz, *GS15*=300Hz (maksymalna częstotliwość w widmie wynosi 500Hz) (rys. 2). W wyniku podziału widma mocy otrzymano 16 przedziałów częstotliwości, w których obliczana jest moc widma (parametry od *PS1* do *PS16*), jako suma wszystkich próbek z danego przedziału.



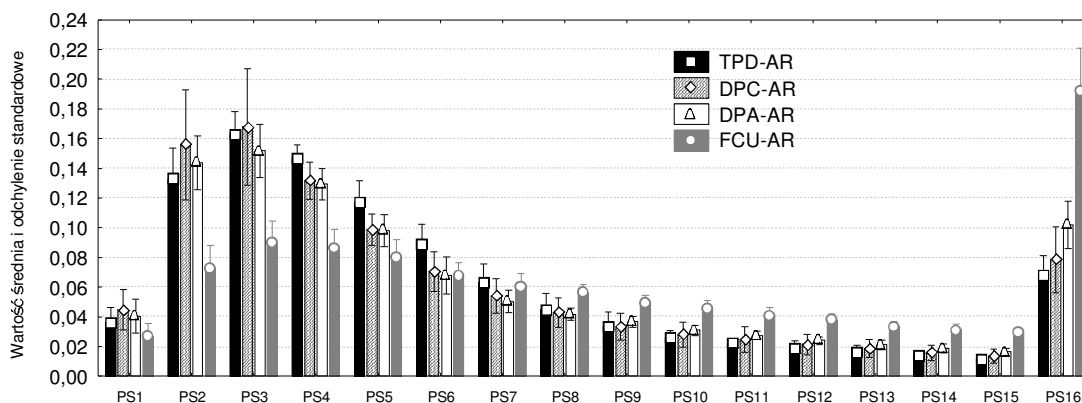
Rys.2. Podział widma mocy na zakresy częstotliwości. Wartości na osi rzędnych uzyskano w wyniku normalizacji, polegającej na podzieleniu wartości w widmie mocy sygnału EMG przez sumę składników całego widma

### 3.3. Analiza parametrów sygnału EMG

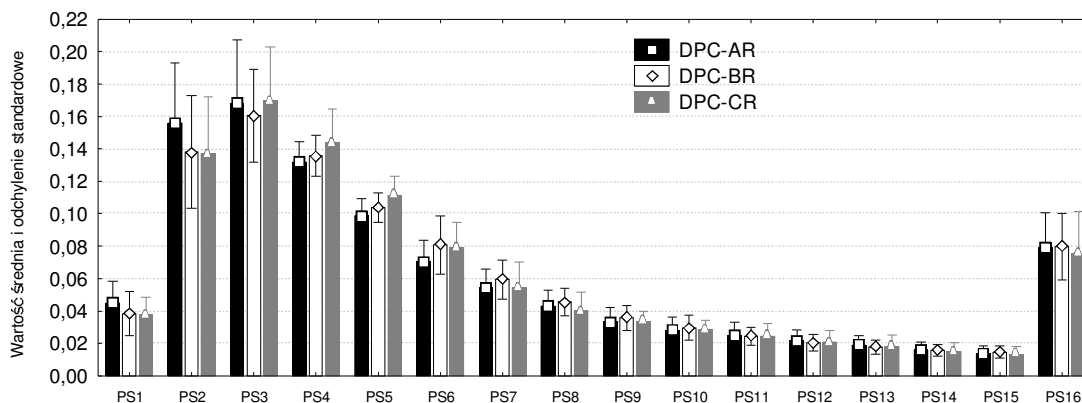
Przedmiotem analizy były wartości parametrów sygnału EMG uzyskane na początku obciążenia. Dla każdego z parametrów sygnału EMG wyznaczono parametr, który przedstawia średnią wartość z kilku pierwszych sekund pomiaru przy obciążeniu mięśni.

## 4. WYNIKI BADAŃ

Analizie poddano wartości opracowanych parametrów widma mocy sygnału EMG (pasma częstotliwości od  $PS1$  do  $PS16$ ). Na rysunku 3 przedstawiono wykres pasm częstotliwości ( $PS$ ) widma mocy sygnału EMG dla analizowanych mięśni ( $TPD$ ,  $DPC$ ,  $DPA$  i  $FCU$ ), reprezentujących różne grupy mięśniowe, w wariacie badania (konfiguracji kończyny górnej)  $AR$ . Na rysunku 4 przedstawiono natomiast wykres pasm częstotliwości ( $PS$ ) widma mocy sygnału EMG dla mięśnia  $DPC$  w trzech wariantach badania ( $AR$ ,  $BR$  i  $CR$ ).



Rys.3. Wartości średnie i odchylenia standardowe parametrów od  $PS1$  do  $PS16$  dla mięśni  $TPD$ ,  $DPC$ ,  $DPA$  i  $FCU$ , reprezentujących różne grupy mięśniowe, w wariacie badania  $AR$



Rys.4. Wartości średnie i odchylenia standardowe parametrów od  $PS1$  do  $PS16$  dla mięśnia  $DPC$  w trzech wariantach badania ( $AR$ ,  $BR$  i  $CR$ )

Na podstawie wykresy przedstawionego na rysunku 3 stwierdzono, że większość parametrów  $PS$ , pochodzących z mięśni  $DPC$  i  $DPA$  ma zbliżone wartości średnie. W wariacie  $AR$  dla parametrów od  $PS4$  do  $PS6$  można zauważyć różnice pomiędzy wartościami średnimi wyznaczonymi z mięśnia  $TPD$ , a wartościami średnimi wyznaczonymi

z pozostałych mięśni. Najwięcej jednak różnic w wartościach średnich parametrów *PS* odnotowano pomiędzy mięśniem przedramienia *FCU*, a mięśniami *TPD*, *DPA* i *DPC*, będącymi mięśniami obręczy barkowej. Analizując przedstawiony na rysunku 4 wykres pasm częstotliwości *PS* (od *PS1* do *PS16*) stwierdzono także, iż w trzech przedstawionych wariantach badania, odpowiadających różnym konfiguracjom kończyny górnej, dla mięśnia *DPC*, uzyskano zbliżone wartości średnie analizowanych parametrów.

Przeprowadzono także analizę statystyczną wyznaczonych parametrów sygnału z zastosowaniem testu Kruskala-Wallisa z pakietu Statistica 6.0. Analiza dotyczyła zarówno różnych wariantów badania jak i różnych mięśni. Analizę parametrów sygnału EMG przeprowadzono tylko dla takich przypadków, dla których brak było różnic istotnych statystycznie pomiędzy mięśniami w parametrze określającym napięcie mięśniowe, czyli w amplitudzie sygnału EMG odniesionej do amplitudy sygnału zarejestrowanego podczas maksymalnego napięcia mięśnia. Brak różnic istotnych statystycznie pomiędzy mięśniami wskazywał na brak różnic w poziomie napięcia mięśniowego. Oznacza to, że różnice w parametrach innych niż *RMS* wskazują na różnice wynikające z innych czynników niż poziom napięcia mięśniowego.

Podsumowanie wyników analizy statystycznej przedstawiono w tabeli 1, w której dla każdego parametru *PS* przedstawiono liczbę przypadków różnicujących warianty badania istotnie statystycznie. W kolumnie *suma* zawarto liczbę wszystkich analizowanych przypadków, czyli takich dla których brak było istotnych statystycznie różnic w parametrze *RMS*.

Tabela.1. Podsumowanie analizy statystycznej z zastosowaniem testu Kruskala-Wallisa wskazujące liczbę istotnych statystycznie różnic dla parametrów *PS*

	FCU-TPD	FCU-DPA	FCU-DPC	TPD-DPA	TPD-DPC	DPA-DPC
suma	33	28	22	36	29	23
PS1	0	1	0	0	0	0
PS2	10	15	10	0	0	0
PS3	18	13	8	0	0	0
PS4	27	6	5	0	0	0
PS5	25	7	0	0	0	0
PS6	7	3	0	0	0	0
PS7	0	0	0	6	0	0
PS8	5	6	0	0	0	0
PS9	18	2	0	0	0	0
PS10	22	2	9	0	0	0
PS11	33	2	7	0	0	0
PS12	32	2	13	0	0	0
PS13	33	2	14	0	0	0
PS14	33	3	14	0	0	0
PS15	33	2	11	0	0	0
PS16	33	0	13	0	0	0

Zawarte w tabeli 1 porównanie między mięśniami *FCU* i *TPD* wskazuje na istotne statystycznie różnice w pasmach od *PS2* do *PS5* oraz od *PS9* do *PS16*. Podobnie w przypadku porównania mięśnia *FCU* z mięśniami *DPA* i *DPC*. Jednakże, w porównaniu mięśnia *FCU* z mięśniami *DPA* i *DPC* przypadków zróżnicowanych istotnie statystycznie jest znacznie mniej. Porównanie między mięśniami *TPD*, *DPA* i *DPC* wskazuje na brak istotnych statystycznie różnic w wartościach analizowanych parametrów.

## 5. PODSUMOWANIE

Wyniki przeprowadzonych badań wskazują na brak różnic w analizowanych pasmach częstotliwości *PS* widma mocy sygnału EMG pomiędzy tymi samymi mięśniami w różnych wariantach badania oraz pomiędzy różnymi mięśniami o podobnej strukturze jak np. *TPD* (*trapezius pars descendens*), *DPC* (*deltoideus pars clavicularis*) i *DPA* (*deltoideus pars acromialis*). Jednocześnie wyniki analizy wskazują na występowanie różnic pomiędzy mięśniami pochodzącymi z różnych grup mięśniowych, czyli pomiędzy mięśniem przedramienia *FCU* (*flexor carpi ulnaris*), a pozostałymi mięśniami uwzględnionymi w badaniu (*TPD*, *DPA* i *DPC*), będącymi mięśniami obręczy barkowej. Można także zauważyć, że pasma częstotliwości *PS* widma mocy sygnału EMG mają podobne wartości średnie w trzech różnych konfiguracjach kończyny górnej.

Na podstawie przeprowadzonej analizy statystycznej, można stwierdzić, że opracowane pasma częstotliwości *PS*, a w szczególności pasma od *PS2* do *PS5* oraz od *PS9* do *PS16* wykazują dużą zależność od struktury mięśnia. Uznano, że wykorzystanie opracowanych parametrów w analizie innych wyników badań może przyczynić się do dokładniejszego poznania wpływu struktury mięśnia na poszczególne pasma częstotliwości widma mocy sygnału EMG.

## LITERATURA

- [1] Bilodeau M., Arsenault A.B., Gravel D., Bourbonnais D., EMG power spectra of elbow extensors during ramp and step isometric contractions, *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1991, 63(1), s. 24-8
- [2] Gerdle B., Henriksson-Larsen K., Lorentzon R., Wretling M.L., Dependence of the mean power frequency of the electromyogram on muscle force and fibre type, *Acta Physiol Scand.* 1991, 142(4), s. 457-65
- [3] Lawrance J.H., De Luca C.J., Myoelectric signal versus force relationship in different human muscles, *Eur J Appl Physiol*, 1983, 54, s. 1653-1659

## THE INFLUENCE OF MUSCLE TYPE ON EMG POWER SPECTRUM PARAMETERS

Summary. The aim of this study was to develop coefficients of electromyographic (EMG) signal, which show the morphological properties of muscle. Measurements of EMG signal from muscles: *trapezius pars descendens* (*TPD*), *deltoideus pars clavicularis* (*DPC*), *deltoideus pars acromialis* (*DPA*) and *flexor carpi ulnaris* (*FCU*), during research in 6 variants of load were realized. As the result of analysis the parameters based on power spectrum of EMG signal were worked out. Differences between morphological structure of muscle can be described using these parameters.