

ZMIANY PRZEWODNICTWA NERWOWO-MIĘŚNIOWEGO PRACOWNIKÓW W ZALEŻNOŚCI OD WIEKU

CHANGES IN NEUROMUSCULAR CONDUCTION
OF WORKERS DEPENDING ON AGE

Patrycja Łach

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy / Central Institute for Labour Protection –
National Research Institute, Warsaw, Poland
Zakład Ergonomii / Department of Ergonomics

STRESZCZENIE

Wstęp: Celem badań było określenie wpływu wieku na potencjalne zmiany czynnościowe zachodzące na drodze przekazywania impulsów nerwowych w nerwach ruchowych zaopatrujących wybrane mięśnie kończyny dolnej. Przeprowadzono pomiar parametrów przewodnictwa nerwowego w kończynie dolnej i zdolności do kontroli napięcia mięśniowego przy nacisku na pedał. **Materiał i metody:** Badaniem objęto grupę 54 mężczyzn, zróżnicowaną ze względu na wiek. W trakcie badań mierzono prędkość przewodnictwa nerwowego i amplitudę oraz latencję odpowiedzi ruchowej w nerwach piszczelowym i strzałkowym. W trakcie testu RAMP-contraction rejestrowano sygnał elektromiograficzny z mięśnia piszczelowego przedniego i głowy przyśrodkowej mięśnia brzuchatego łydki. **Wyniki:** Wykazano, że wraz z wiekiem obniża się zdolność do kontroli napięcia mięśniowego, zmniejsza się prędkość przekazywania impulsów elektrycznych i opóźnia się odpowiedź ruchowa, która cechuje się istotnie niższą amplitudą niż u młodszych osób. **Wnioski:** Obserwowane wraz z wiekiem osłabienie przewodnictwa nerwowo-mięśniowego i zmniejszenie kontroli generowanej wartości siły mięśniowej mogą skutkować pogorszeniem zdolności do obsługi urządzeń lub prowadzenia pojazdów. Ze względu na wydłużenie aktywności zawodowej zidentyfikowanie wszystkich czynników ograniczających funkcjonowanie starszego pracownika w środowisku pracy może być podstawą tworzenia wytycznych i rekomendacji pomocnych przy projektowaniu urządzeń oraz stanowisk dla starszych pracowników. Med. Pr. 2022;73(5):417–425

Słowa kluczowe: EMG, sterowanie, ENG, czucie siły, osoby starsze, prędkość przewodzenia

ABSTRACT

Background: The research was conducted to determine the effect of age on potential functional changes occurring through the transmission of nerve impulses in the motor nerves supplying selected muscles of the lower limb. The nerve conduction parameters in the lower limb were measured, as well as the ability to control muscle tension with pressure on the foot pedal. **Material and Methods:** The study included a group of 54 men, differentiated by age. During the research, the speed of nerve conduction, amplitude and latency of the motor response in the tibial and peroneal nerves were measured. During the RAMP-contraction test, the EMG signal was recorded from the tibialis anterior muscles and the gastrocnemius muscles of the medial head. **Results:** The results of the research showed that with age the ability to control muscle tone decreases, the speed of transmission of electrical impulses decreases, the motor response is delayed and its amplitude is significantly lower than in the case of younger people. **Conclusions:** The deterioration of neuromuscular conduction observed with age and a reduction in the ability to control the generated value of muscle strength may result in a deterioration of the ability to operate equipment or drive vehicles. From the point of view of prolonging the activity in working life, identifying all factors limiting the functioning of an older employee in the work environment may be the basis for creating guidelines and recommendations helpful in the design of devices and workstations for older employees. Med. Pr. 2022;73(5):417–25

Key words: EMG, motor skills, ENG, force control, elder people, conduction velocity

Autorka do korespondencji / Corresponding author: Patrycja Łach, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Ergonomii, ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa, e-mail: palac@ciop.pl
Nadesłano: 29 kwietnia 2022, zatwierdzono: 7 października 2022

WSTĘP

Budowa i czynność mięśni szkieletowych zmieniają się z upływem lat, co może wpływać na zdolność do wykonywania czynności zawodowych przez osoby starsze, szczególnie na stanowiskach nieprzystosowanych do ich zmieniającej się motoryki oraz ogólnej sprawności fizycznej.

Postępujący proces starzenia się społeczeństwa, który objawia się wzrostem odsetka osób starszych przy jednoczesnym zmniejszaniu się grupy osób młodych, znacząco wpływa na funkcjonowanie rynku pracy. Obserwowane zmiany demograficzne wymuszają na osobach starszych utrzymanie sprawności psychofizycznej umożliwiające jak najdłuższe, aktywne uczestniczenie w życiu zawodowym.

Dokładne zdiagnozowanie zmian wynikających z procesów starzenia się i porównanie ich z wymaganiami wykonywanej pracy może przyczynić się do znalezienia rozwiązań służących przystosowaniu stanowisk pracy do potrzeb osób starszych, co wydłuży ich aktywność zawodową.

Celem pracy była ocena, czy u badanych występuje zależność między parametrami przewodnictwa nerwowego w wybranych nerwach ruchowych a wiekiem i czy w związku z tym jest możliwa obserwacja zmniejszenia zdolności do kontroli napięcia mięśniowego w grupach mięśniowych zaopatrywanych przez badany nerw.

MATERIAŁ I METODY

Grupa badana

Do badań doświadczalnych zakwalifikowano 54 mężczyzn w wieku 20–65 lat. Badanych podzielono na 3 grupy w zależności od wieku (G1: 20–25 lat, G2: 40–45 lat,

G3: 60–65 lat). Podstawą kwalifikacji do badań był wywiad lekarski dotyczący obecnego stanu zdrowia i przebytych chorób. Kandydaci musieli charakteryzować się dobrym ogólnym zdrowiem, brakiem urazów układu mięśniowo-szkieletowego badanych kończyn w przeciągu ostatnich 5 lat i zdiagnozowanych schorzeń neurologicznych oraz wskaźnikiem masy ciała w przedziale 18,9–25 kg/m². Charakterystykę badanych przedstawiono w tabeli 1. Wszyscy zakwalifikowani zostali poinformowani o charakterze prowadzonych badań i złożyli pisemną zgodę uczestnictwa. Komisja Etyki i Bioetyki Uniwersytetu Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie wyraziła zgodę na przeprowadzenie niniejszych badań.

Procedura badań

Badania doświadczalne składały się z 2 części. W pierwszej wykonano badania elektroneurograficzne (ENG), a w drugiej – elektromiograficzne (EMG) kończyny dolnej.

Badania szybkości przewodnictwa nerwowego – elektroneurografia

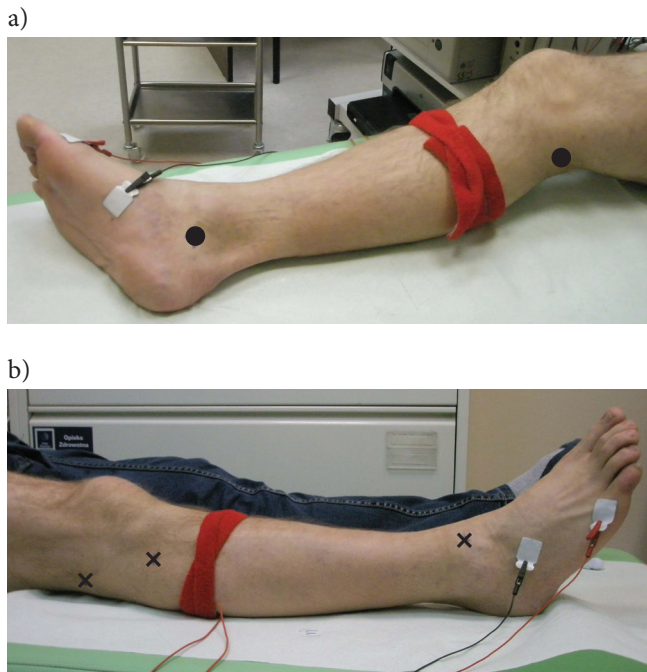
Badanie przewodnictwa nerwowego polegało na pomiarach prędkości przewodzenia we włóknach ruchowych. Wybrano nerwy strzałkowy i piszczelowy, które prowadzą wyłącznie włókna ruchowe, ze względu na obszary ciała, które te nerwy unerwiają (mięśnie przez nie zaopatrywane oceniano w badaniach EMG). Sygnał elektryczny zbierano z mięśnia prostownika palca krótkiego przy stymulowaniu nerwu strzałkowego i z mięśnia odwodziciela palucha przy pobudzaniu nerwu piszczelowego. Elektrode referencyjną umieszczono w miejscu obojętnym elektrycznie. Włókna ruchowe nerwu strzałkowego stymulowano na przedniej powierzchni stawu skokowego, przy głowie kości

Tabela 1. Charakterystyka 3 grup mężczyzn poddanych badaniom elektromiograficznym i elektroneurograficznym w laboratorium Pracowni Biomechaniki CIOP-PIB, Warszawa, 2015

Table 1. Characteristics of 3 groups of men tested to electromyographic and electroneurographic at the Biomechanics laboratory of CIOP-PIB, Warsaw, 2015

Zmienna Variable	Badani Participants (N = 54)		
	G1 (N = 18)	G2 (N = 20)	G3 (N = 16)
Wiek [lata] / Age [years] (M±SD)	22,94±1,86	42,44±2,04	62,74±3,77
Masa ciała / Body weight [kg] (M±SD)	75,94±9,95	81,17±13,08	77,16±10,25
Wysokość ciała / Body height [cm] (M±SD)	179,44±5,06	178,33±6,51	174,63±5,22

G1 – grupa wiekowa 20–25 lat / age group 20–25 years, G2 – grupa wiekowa 40–45 lat / age group 40–45 years, G3 – grupa wiekowa 60–65 lat / age group 60–65 years.



● punkt stymulacji na powierzchni przyśrodkowej kostki i w dole podkolanowym / point of stimulation on the medial surface of the ankle and in the popliteal fossa
 × punkty stymulacji na przedniej powierzchni stawu skokowego, głowie kości strzałkowej i w dole podkolanowym / points of stimulation on the anterior surface of the ankle joint, head of the fibula and in the popliteal fossa

Rycina 1. Badanie przewodnictwa we włóknach ruchowych: a) nerwu piszczelowego i b) nerwu strzałkowego w 3 grupach mężczyzn, laboratorium Pracowni Biomechaniki CIOP-PIB, Warszawa, 2015

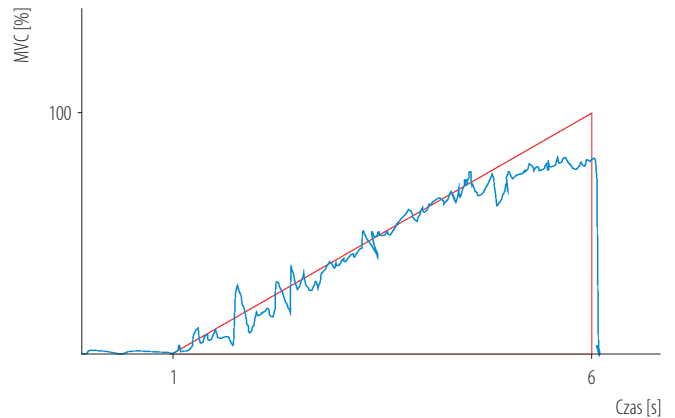
Figure 1. Measurement of conductivity in motion fibers: a) the tibial nerve and b) peroneal nerve in 3 groups of men, the Biomechanics laboratory of CIOP-PIB, Warsaw, 2015

strzałkowej i w dole podkolanowym, a nerwu piszczelowego – z tyłu kostki przyśrodkowej i w dole podkolanowym (rycina 1).

Przed badaniem dokładnie ogolono i odfuszczone skórę w miejscach stymulacji oraz odbioru sygnału. Częstotliwość bodźca stymulującego (prąd stały) wyniosła 3 Hz, a jego długość – 0,2 ms. Bodziec elektryczny miał kształt kwadratowy. Stymulację rozpoczynano od wartości 0 mA, którą następnie stopniowo zwiększano przy jednoczesnej obserwacji wzrostu amplitudy odpowiedzi ruchowej. Natężenie prądu zwiększano tak długo, jak długo rosła amplituda odpowiedzi, aż do supramaksymalnego natężenia bodźca. Pomiaru ENG wykonano z użyciem aparatu Viking Select (prod. Viasys Healthcare, USA).

Badania aktywności elektrycznej mięśni – elektromiografia

Do pomiarów aktywności elektrycznej mięśni wybrano głowę przyśrodkową mięśnia brzuchatego łydki



— wzorec znormalizowany względem maksymalnego skurczu izometrycznego (maximum voluntary contraction – MVC), narasta od 0% do 100% MVC / standard normalized to maximum voluntary contraction (MVC), increases from 0% to 100% MVC
 〰 sygnał EMG / EMG signal

Rycina 2. Przykład przebiegu sygnału elektromiograficznego (EMG) w teście RAMP-contraction przeprowadzonego w 3 grupach mężczyzn, laboratorium Pracowni Biomechaniki CIOP-PIB, Warszawa, 2015

Figure 2. Example of the electromyographic (EMG) signal during RAMP-contraction test carried out in 3 groups of men, the Biomechanics laboratory of CIOP-PIB, Warsaw, 2015

(*gastrocnemius medial head* – GMH) oraz mięsień piszczelowy przedni (*tibialis anterior* – TA). Rejestracji sygnału dokonano w 2 testach. Przeprowadzono pomiar maksymalnego skurczu izometrycznego (*maximum voluntary contraction* – MVC). Sygnał zarejestrowany w teście wykorzystano do normalizacji sygnału w kolejnych pomiarach. Przy aktywacji GMH i TA stosowano stanowisko do pomiaru momentów sił w stawie skokowym. Podczas badania osoby badane znajdowały się w pozycji siedzącej, z kątami zgięcia w stawach biodrowym i kolanowym wynoszącymi 90°. Podczas aktywacji GMH badani wywierali siłę w kierunku odpowiadającym unoszeniu pięty, pokonując opór taśmy stabilizującej umieszczonej nad stawem kolanowym, natomiast przy aktywacji TA – w kierunku odpowiadającym unoszeniu śródstopia.

Rejestracja sygnału według procedury RAMP-contraction

Badany w czasie rzeczywistym obserwował czynność elektryczną mięśnia w postaci krzywej wyświetlanej na ekranie (niebieska krzywa na rycinie 2). Jego zadaniem podczas pomiaru było tak sterować napięciem mięśnia, aby jak najlepiej odwzorować zadany kształt (czerwona krzywa na rycinie 2). Prezentowana krzywa była znormalizowana względem zmierzonej dla każdego badanego wartości MVC. Pomiar powtarzano 5-krotnie, z przerwą pomiędzy kolejnymi próbami. Wszystkie

pomiary wykonano w warunkach izometrycznych. Badanych poproszono o przyjęcie ściśle określonej pozycji, która była determinowana przez oceniany mięsień. Do rejestracji sygnału EMG zastosowano aparat Bagnoli-16 PDsEMG i oprogramowanie EMGWorks 4.0.5 (prod. Delsys, USA), które umożliwia obserwację oraz rejestrację nieprzetworzonego sygnału EMG. Częstotliwość próbkowania sygnału EMG wynosiła 4 kHz. Pasmo przenoszenia aparatu Bagnoli-16 PDsEMG zawiera się w przedziale 20–450 Hz.

Mierzone i analizowane parametry

Podczas badania ENG wyznaczono następujące parametry:

- Amplitudę A_m złożonego potencjału mięśniowego, która jest proporcjonalna do liczby czynnych włókien w nerwie i liczby włókien mięśnia, nad którym umieszczona jest elektroda powierzchniowa.
- Prędkość przewodzenia CV bodźca pomiędzy poszczególnymi punktami stymulacji, czyli prędkość przejścia bodźca na odcinku 7 cm pomiędzy najbardziej dystalnym punktem stymulacji (stopą) a elektrodą odbiorczą. W najbardziej dystalnym odcinku nerwu pomiar prędkości przewodzenia nie jest możliwy ze względu na liczne rozgałęzienia końcowe nerwu w mięśniu, z którego odbierany jest złożony potencjał mięśniowy.
- Latencję L – czas od wywołania bodźca do pojawienia się odpowiedzi ruchowej.

Parametry te wyznaczono, odpowiednio, dla nerwów strzałkowego i piszczelowego z uwzględnieniem miejsca stymulacji.

Dla sygnału EMG obliczono następujące parametry:

- Pole M_{area} przestrzeni ograniczonej wykresami zmierzonego sygnału oraz przebiegu wzorcowego. Dla sąsiednich punktów przebiegu EMG sprawdzano, czy znajdują się one po tej samej stronie względem wzorca (poniżej lub powyżej, wówczas jest liczone pole trapezu) czy po stronach przeciwnych (wtedy jest liczone pole 2 trójkątów). Zwracana jest suma pól.
- Sumę kwadratów względem błędu SSE (*sum of squares due to error*), czyli statystykę mierzącą całkowite odchylenie wartości zmierzonego sygnału od wartości z wzorca (wzór 1).

$$SSE = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2 \quad (1)$$

gdzie:

\hat{y} – wartość sygnału wzorcowego w punkcie i -tym,

y_i – wartość sygnału EMG w punkcie i -tym.

Błąd średniokwadratowy RMSE (*root mean squared error*) – jest to oszacowanie odchylenia standardowego składnika losowego danych (wzór 2). Wartość RMSE bliższa zeru oznacza lepsze dopasowanie danych do wzorca.

$$RMSE = \sqrt{\frac{SSE}{n-2}} \quad (2)$$

gdzie:

n – liczba próbek,

SSE – suma kwadratów względem błędu dopasowania (wzór 1).

Dla sprawdzenia istotności statystycznej zaobserwowanych zależności dokonano analizy ukierunkowanej na ocenę różnic między wartościami parametrów w badanych grupach wiekowych. Przeprowadzono testowanie jednorodności rozkładu zmiennych z zastosowaniem testu Levene'a. Do porównania badanych grup wykorzystano test ANOVA dla zmiennych spełniających warunek jednorodności wariancji, w innym wypadku przeprowadzono test Kruskala-Wallisa. Badania pomiędzy którymi z grup występują zależności przeprowadzono za pomocą testów *post hoc*.

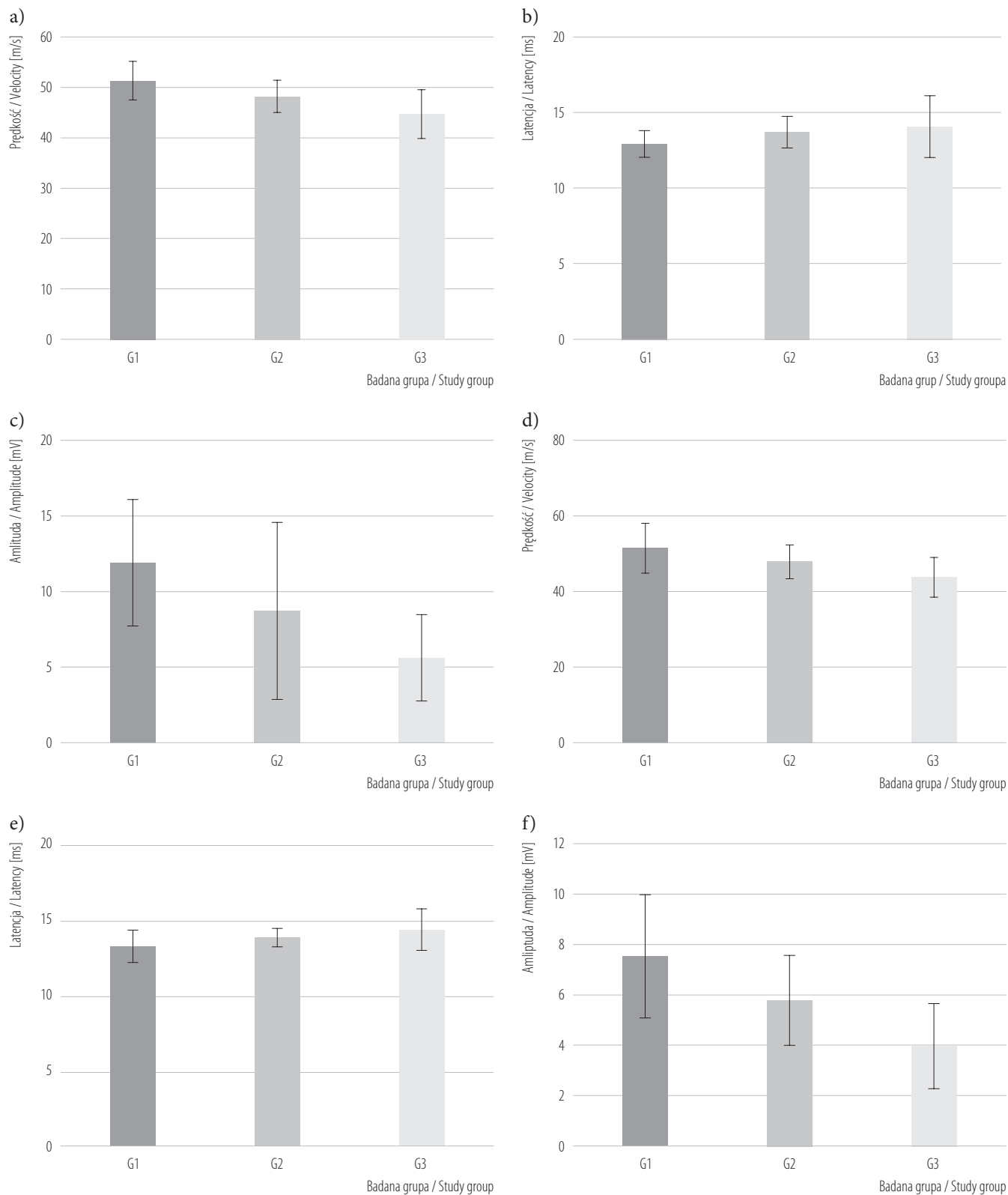
WYNIKI

Na rycinie 3 przedstawiono wyniki badań ENG, średnie wartości prędkości przewodzenia, czas latencji i wielkość amplitudy sygnału przewodzonego w nerwach, odpowiednio, piszczelowym i strzałkowym przy stymulacji w dole podkolanowym.

Poniżej przedstawiono wyniki analizy statystycznej pomiarów parametrów przewodnictwa nerwowego. Zbadano, czy zmierzone parametry sygnału ENG w istotny sposób różnicowały badane grupy wiekowe. Zbadano także jednorodność wariancji zmiennych z zastosowaniem testu Levene'a. Dla zmiennych, dla których wykazano jednorodny rozkład wariancji, przeprowadzono analizę istotności różnic między 3 grupami w wartościach mierzonych parametrów z zastosowaniem testu ANOVA (tabela 2).

Dla parametrów, które w istotny sposób różnicowały badane grupy, przeprowadzono analizę *post hoc* w celu znalezienia zależności między którymi z 3 grup (G1, G2, G3) występują różnice. Wyniki analizy przedstawiono w tabeli 3.

Analiza wyników uzyskanych podczas badań ENG wykazała istotne różnice w wartościach zmierzonych parametrów między 3 grupami wiekowymi. Nie



Punkt stymulacji – dół podkolanowy / Stimulation point – popliteal fossa.

G1 – grupa wiekowa 20–25 lat / age group 20–25 years, G2 – grupa wiekowa 40–45 lat / age group 40–45 years, G3 – grupa wiekowa 60–65 lat / age group 60–65 years.

Rycina 3. Czas latencji, amplituda oraz prędkość przewodzenia we włóknach ruchowych nerwu a–c) piszczelowego i d–f) strzałkowego, zmierzone w 3 grupach mężczyzn w badaniach prowadzonych w laboratorium Pracowni Biomechaniki CIOP-PIB, Warszawa, 2015

Figure 3. The latency time, amplitude and conduction velocity in the motor fibers of the a–c) tibial and d–f) peroneal nerve, measured in 3 groups of men in studies conducted at the Biomechanics laboratory of CIOP-PIB, Warsaw, 2015

Tabela 2. Wyniki testu ANOVA istotności różnic między 3 badanymi grupami mężczyzn na podstawie wartości mierzonych parametrów uzyskanych w badaniach przeprowadzonych w laboratorium Pracowni Biomechaniki CIOP-PIB, Warszawa, 2015

Table 2. The results of the ANOVA test, the significance of the existence of differences between the 3 studied groups of men, on the basis of the values of the measured parameters, obtained in the tests carried out at the Biomechanics laboratory of CIOP-PIB, Warsaw, 2015

Zmienna Variable	F	p
Nerw strzałkowy / Peroneal nerve		
An		
Am	9,79235	0,000252**
F		
Am	11,3772	0,000082**
CV	16,84539	0,000002**
L	3,47977	0,038314*
Pf		
Am	13,40164	0,000021**
CV	8,32956	0,000741**
L	4,83338	0,011962*
Nerw piszczelowy / Tibial nerve		
An		
L	0,38473	0,682592
Pf		
CV	11,98676	0,000054**
L	3,1261	0,052401

Am – amplituda / amplitude, An – kostka / ankle, CV – prędkość przewodzenia / conduction velocity, F – głowa kości strzałkowej / fibula head, L – latencja / latency, Pf – dół podkolanowy / popliteal fossa.

* Różnica istotna statystycznie dla $p < 0,05$ / Statistically significant difference for $p < 0.05$.

** Różnica istotna statystycznie dla $p < 0,001$ / Statistically significant difference for $p < 0.001$.

stwierdzono istotnych różnic jedynie w 4 z 29 wyznaczonych parametrów, tj. czasach latencji zmierzonych dla nerwów kończyny dolnej, dokładniej nerwu piszczelowego, w przypadku stymulacji zarówno w kostce, jak i w dole podkolanowym. Pozostałe parametry różnicowały badane grupy wiekowe. Parametrem różnicującym wszystkie grupy była prędkość przewodzenia. W nerwie piszczelowym z wartości ok. 51 m/s zmniejszała się ona do nieco ponad 44 m/s, podobnie we włóknach nerwu strzałkowego, gdzie spadła z 50 m/s do 44 m/s. Jednocześnie zauważono, że dochodziło do wydłużenia czasu latencji i zmniejszenia amplitudy sygnału odbieranego na mięśniu po stymulacji nerwu.

Wyniki testu *RAMP-contraction* pokazały, że wartość błędu dopasowania rosła w istotny sposób (tabela 4) wraz z wiekiem w przypadku sterowania siłą mięśnia brzuchatego łydki (rycina 4).

OMÓWIENIE

W analizie wyników otrzymanych w badaniach ENG w pomiarach aktywności mięśniowej z zastosowaniem EMG wykazano, że we wszystkich omawianych obszarach dochodziło do pogorszenia wartości mierzonych parametrów wraz z upływem lat. Wyniki przeprowadzonych badań potwierdzają, że starzenie jest procesem, któremu towarzyszą zmiany fizjologiczne obejmujące spowolnienie kurczliwości mięśni, zmniejszenie szybkości przewodzenia nerwowego i redukcję generowanych sił mięśniowych. Badania przewodnictwa nerwowego są jednymi z najbardziej wrażliwych i powtarzalnych metod oceny stanu czynnościowego nerwów obwodowych i diagnozowania zaburzeń obwodowego układu nerwowego. Na ich podstawie było możliwe zdiagnozowanie zmian zachodzących na drodze przewodnictwa nerwowo-mięśniowego we włóknach ruchowych.

W literaturze jest dostępnych wiele prac poświęconych badaniom zmian zachodzących w obwodowym układzie nerwowym pod wpływem różnych czynników. Otrzymane w niniejszym badaniu wyniki są zgodne z danymi prezentowanymi przez innych uczonych. Tong i wsp. [1] przeprowadzili badania przekrojowe na temat zmian w prędkości przewodzenia we włóknach czuciowych. Wykazali oni, że wartość ta zmniejszała się średnio o ok. 0,14 m/s z każdym rokiem, natomiast Werner i wsp. [2] zaobserwowali jej spadek nawet o 0,41 m/s.

Falco i wsp. [3], porównując ze sobą 3 grupy wiekowe, obserwowali znaczący ubytek w prędkości przewodzenia po 46 r.ż. Dostępne się również prace, w których podaje się, że prędkość przewodzenia zaczyna spadać już między 30 a 40 r.ż. [4], co znalazło potwierdzenie w wynikach niniejszych badań, gdyż nie tylko grupa najmłodsza 20–25-latków uzyskiwała istotnie lepsze rezultaty niż grupa 60+, ale również wypadła lepiej na tle średniej grupy wiekowej, tj. 40–45-latków. Ponadto liczne badania potwierdzają to, że to wiek jest czynnikiem silnie wpływającym na zmiany czynnościowe i morfologiczne w mięśniach na skutek degeneracji sterującego nimi układu nerwowego [5–13]. Zaobserwowany wzrost wartości czasu latencji zachodzący wraz z wiekiem jest związany m.in. z demielinizacją włókien

Tabela 3. Wyniki testu (*post hoc*) sprawdzającego, czy analizowane parametry sygnału elektroneurograficznego istotnie różnicują 3 badane grupy mężczyzn, laboratorium Pracowni Biomechaniki CIOP-PIB, Warszawa, 2015

Table 3. The test results (*post hoc*) checking whether the analyzed parameters of the electroneurographic signal significantly differentiate the 3 study groups of men, the Biomechanics laboratory of CIOP-PIB, Warsaw, 2015

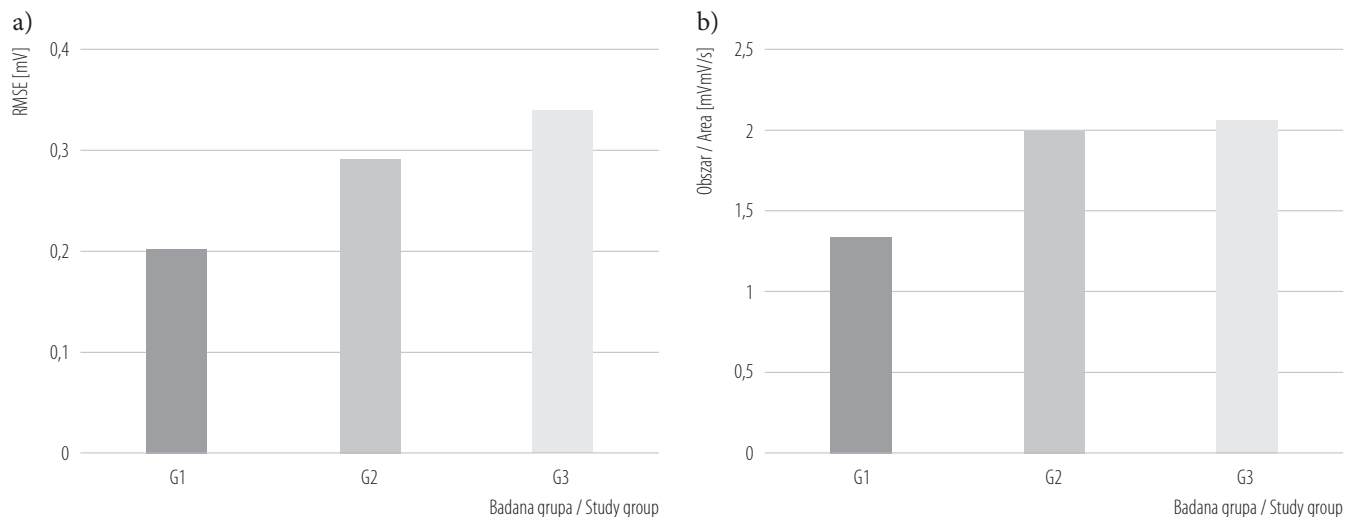
Zmienna Variable	Średnia Mean	P		
		G1 (N = 18)	G2 (N = 20)	G3 (N = 16)
Nerw strzałkowy / Peroneal nerve				
An				
Am [mV]				
G1	7,9111		0,060313	0,000053**
G2	6,5819	0,060313		0,010396*
G3	4,6813	0,000053**	0,010396*	
F				
Am [mV]				
G1	7,2389		0,042008*	0,000016**
G2	5,8888	0,042008*		0,006215**
G3	3,9813	0,000016**	0,006215**	
CV [m/s]				
G1	50,611		0,015525*	0
G2	48,162	0,015525*		0,000964**
G3	44,625	0	0,000964**	
L [ms]				
G1	10,956		0,13765	0,01132*
G2	11,421	0,13765		0,223947
G3	11,813	0,01132*	0,223947	
Pf				
Am [mV]				
G1	7,5333		0,009794**	0,000004**
G2	5,7856	0,009794**		0,009325**
G3	3,9688	0,000004**	0,009325**	
CV [m/s]				
G1	51,500		0,048883*	0,000158**
G2	47,906	0,048883*		0,030423*
G3	43,813	0,000158**	0,030423*	
L [ms]				
G1	13,200		0,094092	0,003116**
G2	13,775	0,094092		0,132997
G3	14,306	0,003116**	0,132997	
Nerw piszczelowy / Tibial nerve				
Pf				
CV [m/s]				
G1	51,389		0,018493*	0,00001**
G2	48,269	0,018493*		0,010461*
G3	44,750	0,00001**	0,010461*	

Am – amplituda / amplitude, An – kostka / ankle, CV – prędkość przewodzenia / conduction velocity, F – głowa kości strzałkowej / fibula head, L – latencja / latency, Pf – dół podkolanowy / popliteal fossa.

G1 – grupa wiekowa 20–25 lat / age group 20–25 years, G2 – grupa wiekowa 40–45 lat / age group 40–45 years, G3 – grupa wiekowa 60–65 lat / age group 60–65 years.

* Różnica istotna statystycznie dla $p < 0,05$ / Statistically significant difference for $p < 0.05$.

** Różnica istotna statystycznie dla $p < 0,001$ / Statistically significant difference for $p < 0.001$.



RMSE – błąd średniokwadratowy / root mean squared error.

G1 – grupa wiekowa 20–25 lat / age group 20–25 years, G2 – grupa wiekowa 40–45 lat / age group 40–45 years, G3 – grupa wiekowa 60–65 lat / age group 60–65 years.

Rycina 4. Średnie wartości a) błędu dopasowania do wzorca dla testu *RAMP-contraction* dla mięśnia brzuchatego łydki oraz b) obszar (pola) między wzorcem a sygnałem elektromiograficznym (EMG) zmierzone w 3 grupach mężczyzn w badaniach prowadzonych w laboratorium Pracowni Biomechaniki CIOP-PIB, Warszawa, 2015

Figure 4. Mean values of a) error of fit to the pattern for the *RAMP-contraction* test for the gastrocnemius muscle, value of b) the area (field) between the pattern and the EMG electromyographic signal measured in 3 groups of men in studies conducted at the Biomechanics laboratory of CIOP-PIB, Warsaw, 2015

nerwowych, co wydłuża czas od powstania bodźca do jego odbioru na efektorze i – w konsekwencji – spowalnia reakcję.

Badania EMG umożliwiły obserwację potencjałów czynnościowych mięśni, które nie były pobudzone zewnętrznymi impulsami elektrycznymi, a sterowane bez-

pośrednio przez badanego. Wykazano, że u starszych osób zdolność generowania siły na odpowiednim poziomie jest niższa, gdy konieczna jest jego ścisła kontrola przy próbie sterowania napięciem w narzucony sposób. Różnice te są szczególnie zauważalne przy niskich wartościach sił, tj. 10% czy 20% MVC, co może być skutkiem powstających zmian morfologicznych, które objawiają się zmianami mechanicznymi. Zachodzącemu z wiekiem zanikowi unerwienia towarzyszy proces reinerwacji, czyli ponownego unerwienia włókien mięśniowych poprzez wypustki aksonalne pochodzące z innych, nieuszkodzonych jednostek ruchowych. Zjawisko to może powodować inny niż u młodych osób sposób unerwienia włókien mięśniowych, w wyniku czego może dochodzić do zmian w schemacie pobudzenia mięśni, przekładających się na zaburzenia w synchronizacji skurczów jednostek ruchowych.

Tabela 4. Wyniki testów (*post hoc*) sprawdzających, czy parametr sygnału elektromiograficznego zarejestrowany na mięśniu brzuchatym łydki istotnie różnicuje 3 badane grupy mężczyzn, laboratorium Pracowni Biomechaniki CIOP-PIB, Warszawa, 2015

Table 4. The test results (*post hoc*) checking whether the EMG (electromyographic) signal parameter recorded on the gastrocnemius muscle significantly differentiate the study groups of men, the Biomechanics laboratory of CIOP-PIB, Warsaw, 2015

P	Błąd dopasowania Matching error		
	G1 (N = 18)	G2 (N = 20)	G3 (N = 16)
G1		0,04711*	0,00646**
G2	0,04711*		0,34055
G3	0,00646**	0,34055	
M	1,30	1,94	2,28

G1 – grupa wiekowa 20–25 lat / age group 20–25 years, G2 – grupa wiekowa 40–45 lat / age group 40–45 years, G3 – grupa wiekowa 60–65 lat / age group 60–65 years.

M – średnia / mean.

* Różnica istotna statystycznie dla $p < 0,05$ / Statistically significant difference for $p < 0.05$.

** Różnica istotna statystycznie dla $p < 0,001$ / Statistically significant difference for $p < 0.001$.

WNIOSKI

Przeprowadzone badania wykazały zależność między parametrami przewodnictwa nerwowego a wiekiem. Potwierdzono również, że wiek istotnie zmniejsza zdolność do kontroli napięcia mięśniowego. Zmiany te mogą wpływać na zdolności do wykonywania czynności pracy, szczególnie na stanowiskach nieprzystosowanych do zmieniającego się poziomu sprawności fizycznej i motoryki osób starszych. Dalsze badania

powinny być skoncentrowane na określeniu wytycznych niezbędnych do zaprojektowania takiego stanowiska pracy, które umożliwiłyby starszym pracownikom podtrzymanie aktywności zawodowej i bezpieczne jej wykonywanie bez ryzyka narażenia na nadmierne obciążenie układu mięśniowo-szkieletowego, urazy lub wypadki przy pracy.

PIŚMIENNICTWO

1. Tong HC, Werner RA, Franzblau A. Effect of aging on sensory nerve conduction study parameters. *Muscle Nerve*. 2004;29(5):716–20. <https://doi.org/10.1002/mus.20026>.
2. Werner RA, Franzblau A, D'Arcy HJ, Evanoff BA, Tong HC. Differential aging of median and ulnar sensory nerve parameters. *Muscle Nerve*. 2012;45(1):60–4. <https://doi.org/10.1002/mus.22233>.
3. Falco FJ, Hennessey WJ, Braddom RL, Goldberg G. Standardized nerve conduction studies in the upper limb of the healthy elderly. *Am J Phys Med Rehabil*. 1992;71(5):263–71. <https://doi.org/10.1097/00002060-199210000-00003>.
4. Mossa M, Marbut, Raja S, Najim, Muammar AM. Determination of normal values of nerve conduction of tibial and peroneal nerves among normal healthy subjects. *Tikrit Med J*. 2012;18(2):1–8.
5. Lexell J. Evidence for nervous system degeneration with advancing age. *J Nutr*. 1997;127(5):1011S–1013S. <https://doi.org/10.1093/jn/127.5.1011S>.
6. Aagaard P, Suetta C, Caserotti P, Magnusson SP, Kjaer M. Role of the nervous system in sarcopenia and muscle atrophy with aging: strength training as a countermeasure. *Scand J Med Sci Sports*. 2010;20(1):49–64. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.01084.x>.
7. Campbell MJ, McComas AJ, Petito F. Physiological changes in ageing muscles. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 1973;36(2):174–82. <https://doi.org/10.1136/jnnp.36.2.174>.
8. Lexell J. Human aging, muscle mass, and fiber type composition. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 1995;50 Spec No: 11–6. https://doi.org/10.1093/gerona/50a.special_issue.11.
9. Budzińska K. Wpływ starzenia się organizmu na biologię mięśni szkieletowych. *Gerontol Pol*. 2005;13(1):1–7.
10. Żołądź JA, Majerczak J, Duda K. Starzenie się a wydolność fizyczna człowieka. In: Górski J, editor. *Fizjologia wysiłku i treningu fizycznego*. Wydawnictwo Lekarskie PZWL; 2011. p. 157–165.
11. Carville SF, Perry MC, Rutherford OM, Smith IC, Newham DJ. Steadiness of quadriceps contractions in young and older adults with and without a history of falling. *Eur J Appl Physiol*. 2007;100(5):527–33. <https://doi.org/10.1007/s00421-006-0245-2>.
12. Doherty TJ. Invited review: Aging and sarcopenia. *J Appl Physiol* (1985). 2003;95(4):1717–27. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00347.2003>.
13. Hunter GR, McCarthy JP, Bamman MM. Effects of resistance training on older adults. *Sports Med*. 2004;34(5):329–48. <https://doi.org/10.2165/00007256-200434050-00005>.