Opracowanie metod wykonywania badań biomechaniki ruchu człowieka przy wykorzystaniu elektromiografii kinezyologicznej

JEL: L90 DOI: 10.24136/atest.2019.053

Data zgłoszenia: 15.12.2018 Data akceptacji: 08.02.2019

W artykule przedstawiono zagadnienia dotyczące opracowania metod wykonywania badań biomechaniki ruchu człowieka przy wykorzystaniu elektromiografii kinezyologicznej. Szczegółowo omówiono utworzone procedury dotyczące wyboru umiejscowienia elektrod, przygotowania pacjenta do badań, przeprowadzania eksperymentu oraz opracowania wyników pomiarów. Przedstawiono również wybrane wyniki badań wstępnych.

Słowa kluczowe: biomechanika ruchu, elektromiografia powierzchniowa, normalizacja, wózek inwalidzki

Wstęp

Wózki inwalidzie są środkiem lokomocji techniki asystującej dzięki którym możliwa jest niezależna egzystencja ludzi z niepełnosprawnością ruchową. Duża ilość obecnych na rynku rozwiązań konstrukcyjnych tych urządzeń sprawia, iż zasadne jest prowadzenie prac naukowych w kierunku ich badań. Dzięki temu możliwe będzie stworzenie podstaw do efektywniejszego ich projektowania. Ważnym zagadnieniem jest kwestia porównania różnego rodzaju wózków inwalidzkich. Jest to spowodowane, między innymi, wymaganiami związanymi z indywidualnymi potrzebami poszczególnych użytkowników. Celem rozwiązania tak postawionego problemu stworzono zespół badawczy, którego zadaniem głównym są badania biomechaniki napędzania ręcznych wózków inwalidzkich zorientowane na analizę parametrów układu antropotechnicznego człowiek-wózek inwalidzki. Ważnym zadaniem cząstkowym, niezbędnym do zrealizowania tak sformułowanego celu jest opracowanie procedur związanych z praktycznym przeprowadzeniem badań [8].

Poszczególne rozwiązania napędów wózka różnią się od siebie, w zależności od przeznaczenia, źródłem energii napędowej oraz konstrukcją. Istotnie więc staje się zagadnienie ich oceny oraz porównania. Jako jedno z kryteriów porównawczych można wskazać wysiłek jaki potrzebny jest do napędzania wózka inwalidzkiego. Do jakościowej oceny tak wybranego wskaźnika często wykorzystuje się elektromiografię powierzchniową [3, 7, 5]. Jest to technika doświadczalna której celem jest badanie aktywności bioelektrycznej mięśni. Polega ona na pomiarze różnic potencjałów pola elektromagnetycznego, które generowane są przez organizm podczas skurczów mięśni. Wyznaczona w ten sposób wartość napięcia elektrycznego jest zależna, między innymi, od pokonywanego obciążenia. Taki sposób analizy pozwala na zdefiniowanie aktywności wybranych grup mięśniowych w funkcji czasu podczas wykonywania określonych czynności. Nie jest przy tym możliwe wyznaczenie wartości siły którą generuje badany mięsień. Bezpośrednie porównanie charakterystyk wyznaczonych za pomocą elektromiografii powierzchniowej pomiędzy poszczególnymi osobami wykluczają stałe zmieniające się warunki fizykochemiczne ludzkiego organizmu. Pomimo pewnych ograniczeń, opisywana metoda jest popularna w badaniach dotyczących medycyny i rehabilitacji. Może być ona również wykorzystana do prac inżynierskich związanych z konstruowaniem wózków inwalidzkich [1, 3].

1. Procedura wyboru umiejscowienia elektrod

Klasyczny wózek inwalidzki napędzany jest siłą mięśni, za pomocą ciągów. Główny udział w wykonywanej pracy mają mięśnie kończyny górnej. Na potrzeby badań oraz dalszych analiz wybrano grupę czterech punktów pomiarowych znajdujących się na mięśniach: naramiennym – część przednia i tylna, trójgłowym ramienia, prostowniku promieniowym długim nadgarstka. Jako miejsca przytwierdzenia elektrod wybrano odpowiednie brzośnie, co zostało przedstawione na rysunku 1.

Rys. 1. Mięśnie kończyny górnej z naniesionymi obszarami umiejscawiania elektrod podczas badania; opracowano na podstawie [10]

Celem utworzenia takich procedur, które zagwarantują powtarzalność wyników opracowano metodykę lokalizowania elektrod podczas badań wskazanych wcześniej mięśni. Każda para elektrod musi być umieszczona w taki sposób, aby znajdowała się nad brzoścem mięśniowym w pozycji centralnej. Aby to osiągnąć niezbędne jest prawidłowe określenie położenia przyczepów: początkowego oraz końcowego dla każdego z wybranych mięśni. W kolejnym kroku procedury następuje wybór usytuowania elektrod. Powinny się one znajdować w środkowej części mięśnia, to jest w połowie odległości pomiędzy uprzednio zlokalizowanymi przyczepami.

1. Mięsień naramienny – część przednia

Pierwsza czynność związana jest z odnalezieniem wyrostka barkowego i obojczyka. Pierwszy z nich można zlokalizować poszukując, wzdłuż obojczyka delikatnego wgłębienia. Wgłębienie to ogranicza wyrostek barkowy od końca barkowego obojczyka. Koniec barkowy obojczyka jest miejscem w którym znajduje się poszukiwany przyczep początkowy. Kolejno przechodzi się do lokalizacji przyczepu końcowego. Aby to osiągnąć należy zgiąć kończynę górną w

stawie łokciowym, w taki sposób aby zachować pośrednią pozycję przedramienia. Zachowując tą pozycję wykonuje się rotację zewnętrzną i wewnętrzną ramienia, poszukując przy tym bolesnej nierówności na kości ramiennej. Nierówność ta wyznacza poszukiwane miejsce. Jest to guzowatość naramienna kości ramiennej i znajduje się na jej przednio-bocznej powierzchni, niewiele powyżej połowy trzonu.

2. Mięsień naramienny – część tylna

Przyczep początkowy zlokalizowany jest okolicy grzebienia łopatki. Wyczuwalny jest jako coraz bardziej wystająca listewka kostna oddzielająca przednią powierzchnię łopatki (żebrową) od powierzchni grzbietowej. Przyczep końcowy wyznaczono we wcześniejszym kroku, dotyczącym części przedniej mięśnia naramiennego.

3. Mięsień trójgłowy

Za miejsce umieszczenia elektrod przyjęto obszar połączenia głów mięśnia trójgłowego, to jest: długiej, przyśrodkowej oraz bocznej. Wyznaczenie tego miejsca wymaga odnalezienia trzech górnych przyczepów tego mięśnia. Górny przyczep głowy długiej zlokalizowany jest na guzku podpanewkowym łopatki. Górny przyczep głowy przyśrodkowej umiejscowiony jest w okolicy dolnej części powierzchni tylnej trzonu kości ramiennej. Ostatnia z poszukiwanych, to jest, głowa boczna ma swój początek w górnej części tej kości. Wszystkie z nich znajdują się one w okolicach pachy, patrząc od strony pleców. Wspólny przyczep końcowy wszystkich głów zlokalizowany jest na wyrostku łokciowym kości łokciowej. Procedura poszukiwania zdefiniowanego obszaru w tym przypadku jest trudna. Ułatwia ją jednak to, że właściwe miejsce można wskazać na podstawie największego obwodu napiętego brzuśca.

4. Prostownik promieniowy długi nadgarstka

Przyczep początkowy znajduje się w końcu dalszym kości ramiennej. Przyczep końcowy natomiast na powierzchni grzbietowej podstawy II kości śródręcza. W analizowanym obszarze występuje cała grupa mięśni (zwana boczną). Dokładne zlokalizowanie pojedynczego z nich jest trudnym zadaniem. Poszukiwane miejsce charakteryzuje największy obwód napiętego brzuśca. Aby je odnaleźć należy po pierwsze zgiąć kończynę górną w łokciu, a następnie zaciśnąć rękę w pięść, po czym rozluźnić. Pozwala to na dokładniejsze określenie poszukiwanego miejsca.

2.Procedura przygotowania do badań

Ten etap prac badawczych dotyczy procedury przygotowania do przeprowadzenia badań. Jego właściwe przeprowadzenie jest kluczowe dla poprawnego przeprowadzenia eksperymentów. Utworzenie niezbędnych zasad postępowania ma na celu minimalizację błędów oraz nieporządnego szumów w mierzonym sygnale. Utworzona procedura została ujęta w postaci uporządkowanych punktów.

1. Przedstawienie i omówienie pacjentowi czynności wykonywanych w kolejnych krokach, z uwzględnieniem ich kolejności.
2. Zidentyfikowanie miejsc umieszczenia elektrod.
 - Organoleptyczne ustalenie położenia brzuśców zdefiniowanych mięśni lub grup mięśniowych.
 - Oznaczenie wybranych miejsc.
3. Umieszczenie i sprawdzenie elektrod.
 - Przygotowanie miejsc umieszczenia elektrod (usunięcie owłosienia, oczyszczenie skóry jałową gazą ze środkiem odkażającym).
 - Przymocowanie elektrod zgodnie z planem rozmieszczenia.
 - Sprawdzenie impedancji elektrod (sprawdzenie przylegania elektrod do skóry badanego, oczyszczenie górnej powierzchni elektrod).
 - Podłączenie elektrod oraz przymocowanie przewodów (należy osobno mocować wzmacniacz sygnału oraz przewody; przewody powinny być przymocowane jak najbliżej elektrod pomiarowych;

niedopuszczalne jest ich krzyżowanie się oraz zbyt luźne przymocowanie).

4. Przeprowadzenie testu impedancji.
 - Wstępne przeprowadzenie testu impedancji.
 - W przypadku negatywnego wyniku testu, wykonywać w kolejności odwrotnej czynności punktu numer 3 i wykonywać ponownie test impedancji po każdej z nich (w pierwszym kroku należy sprawdzić przymocowanie kabli oraz wzmacniacza; w kolejnym kroku oczyścić powierzchnie elektrod oraz sprawdzić ich przyleganie; w skrajnym przypadku wymienić elektrody po uprzednim, ponownym przygotowaniu miejsca umieszczenia, zgodnie z procedurą).
 - W przypadku pozytywnego wyniku, przejść do dalszej części prac.

3.Procedura przeprowadzania badań

Ten etap prac badawczych dotyczy procedury przeprowadzania badań. Została ona ujęta w postaci uporządkowanych punktów.

1. Przedstawienie i omówienie pacjentowi czynności wykonywanych w kolejnych krokach, z uwzględnieniem ich kolejności.
2. Przedstawienie pacjentowi planu ćwiczeń.
3. Przeprowadzenie pomiarów:
 - przedstawienie i prezentacja wybranych ćwiczeń,
 - omówienie najczęściej popełnianych błędów związanych z techniką wykonywania danego ćwiczenia,
 - omówienie cyklu pomiarowego: (zerowanie pomiaru w pozycji początkowej, rozpoczęcie pomiaru, rozpoczęcie ruchu – lekkie obciążanie pacjenta podczas wykonywania ćwiczenia, koniec ruchu – pełne obciążenie pacjenta w pozycji końcowej wykonywanego ćwiczenia, utrzymanie stanu pełnego obciążenia przez 3-5 sekund, odciążenie pacjenta, powtórzenie cyklu 3-5 razy, zakończenie pomiaru).
 - wykonanie pomiarów zgodnie z zaplanowanym cyklem,
 - weryfikacja wyników (w przypadku stwierdzenia poprawności zmierzonych wartości przejść do następnego ćwiczenia, w przypadku stwierdzenia niepoprawności zmierzonych wartości, pomiar należy powtórzyć, zgodnie z procedurą badawczą).

Cykl wykonywania pomiarów, przeprowadzany jest zgodnie z przedstawioną procedurą, jego schemat przedstawia rysunek 2.

Rys. 2. Schematyczne przedstawienie cyklu pomiarowego

4.Procedura obróbki wyników badań

Zarejestrowane w wyniku przeprowadzenia eksperymentów wyniki wymagają obróbki i opracowania. Celem ich porównania oraz analizy niezbędne jest przeprowadzenie normalizacji amplitudy zmierzonych sygnałów. W pierwszym kroku sygnał poddawany jest konwersji w taki sposób, aby nie posiadał wartości ujemnych. Następnie wyznacza się jego wartość RMS (Root Mean Square) aby określić, tak zwaną, wartość referencyjną. Została ona zdefiniowana jako

średnia arytmetyczna z amplitudy najwyższego odcinka sygnału o stałym czasie trwania wynoszącym 1000 ms. Do normalizacji sygnału EMG wykorzystano największą wartość z tak obliczonego zbioru. Jako jej błąd przyjęto odchylenie standardowe średniej arytmetycznej. Przedstawiony sposób normalizacji amplitudy sygnału EMG nie zmienia jego przebiegu. W efekcie przeprowadzonej obróbki, zostaje on przedstawiony w skali procentowej, która odnosi się do największej zarejestrowanej wartości. Test MVC jest jednym z najczęściej stosowanych sposobów normalizacji sygnału EMG [2, 4, 6, 9]. Na tej podstawie zachodzi możliwość porównania oraz szczegółowej oceny wyników badań. Poszczególne etapy obróbki przykładowych zarejestrowanych danych przedstawiają rysunki od 3 do 6.

Rys. 3. Surowe dane pomiarowe

Rys. 4. Dane po konwersji na wartości nieujemne

Rys. 5. Dane po wygładzeniu (zastosowano pierwiastek z kwadratu średniej – RMS)

Rys. 6. Znormalizowany sygnał EMG z zaznaczonym odcinkiem referencyjnym (wartość średnia stałego okna o czasie trwania wynoszącym 1000 ms)

5. Badania wstępne

Na podstawie opracowanych procedur przeprowadzono badania wstępne. Do rejestracji sygnału wykorzystano aparat Myotrace 400, firmy Noraxon współpracujący z oprogramowaniem MyoResearch XP MT400 4CH Clinical Edition. Badaniu poddano jedną osobę płci żeńskiej, o wzroście 173 cm i wartości współczynnika BMI 20,4 kg/m². Rysunek 7 przedstawia rozmieszczenie elektrod podczas wykonywanych badań.

Rys. 7. Rozmieszczenie elektrod podczas wykonywanych badań

Badania przeprowadzono zgodnie z opracowanym programem. Zadaniem osoby badanej było wykonanie ćwiczenia o nazwie rotacja wewnętrzna ramienia. Zebrane wyniki opracowano zgodnie z przedstawionymi procedurami. Wybrane wyniki testu, dla mięśnia naramiennego, część przednia (B) i tylna (A) przedstawia rysunek 8. Znormalizowane wartości uzyskane w wyniku obliczeń przedstawiają rysunki 9 oraz 10.

Rys. 8. Wybrane wyniki badań wstępnych z naniesionymi odcinkami najwyższego sygnału o stałym czasie trwania wynoszącym 1000 ms

Rys. 9. Wyniki pomiarów po normalizacji dla przedniej części mięśnia naramiennego (B)

Rys. 10. Wyniki pomiarów po normalizacji dla tylnej części mięśnia naramiennego (A)

Podsumowanie

W ramach przeprowadzonych prac utworzono niezbędne procedury dotyczące przygotowania pacjentów oraz wykonywania pomiarów. Opracowano metody rejestrowania oraz dalszego przetwarzania danych. Pozwoliło to na wyznaczenie poszukiwanych wartości oraz przeprowadzania normalizacji sygnału EMG. Otrzymane wyniki oraz zdobyte doświadczenie pozwolą w przyszłości na polepszenie efektywności prac związanych z określaniem aktywności wybranych grup mięśniowych podczas napędzania ręcznych wózków inwalidzkich. Będzie to stanowić podstawę do oceny ich jakości. Planowane w przyszłości prace umożliwią jakościowe porównanie różnych konstrukcji tych urządzeń.

Badania finansowano ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach programu LIDER VII, nr projektu badawczego LIDER/7/0025/L-7/15/NCBR/2016.

Bibliografia:

1. Boninger M. L., Koontz A. M., Sisto S. A., Dyson-Hudson T. A., Chang M., Price R., Cooper R. A., Pushrim biomechanics and injury prevention in spinal cord injury: Recommendations based on CULP-SCI investigations. *Journal of Rehabilitation Research & Development*, vol. 42, no. 3, pp. 9-20, 2005.
2. Cestelein B., Cagnie B., Parlevliet T., Danneels L., Cools A., Optimal Normalization Tests for Muscle Activation of the Levator Scapulae, Pectoralis Minor, and Rhomboid Major: An Electromyography Study Using Maximum Voluntary Isometric Contractions. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, vol. 96, is. 10, pp. 1820-1827, 2015.
3. Cooper R. A., VanSickle D. P., Robertson R. N., Boninger M. L., Ensminger G. J., A Method for Analyzing Center of Pressure During Manual Wheelchair Propulsion. *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, vol. 3, no. 3, pp. 289-298, 1995.
4. Ekstrom R. A., Soderberg G. L., Donatelli R. A., Normalization procedures using maximum voluntary isometric contractions for

the serratus anterior and trapezius muscles during surface EMG analysis. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, vol. 15, is. 4, pp. 418-428, 2004.

5. Glaser R. M., Foley D. M., Laubach L. L., Sawka M. N., Suryaprasad A. G.: An Exercise Test to Evaluate Fitness for Wheelchair Activity, *Paraplegia*, is. 16, pp. 341-349, 1979.
6. Halaki M., Ginn K., Normalization of EMG Signals: To Normalize or Not to Normalize and What to Normalize to?, In: *Computational Intelligence in Electromyography Analysis - A Perspective on Current Applications and Future Challenges*, Chapter: 7, Publisher: Rijeka, InTech, 2012, ISBN 978-953-51-0805-4.
7. Jahani O., Schnorenberg A. J., Hawi L., Slavens B. A.: Upper Extremity Joint Dynamics and Electromyography (EMG) During Standard and Geared Manual Wheelchair Propulsion, In: *Proceedings of the Annual Conference of the American Society of Biomechanics*, Columbus, OH, 2015.
8. Kukla M., Wieczorek B., Warguła Ł.: Development of methods for performing the maximum voluntary contraction (MVC) test, *MATEC Web of Conferences*, vol. 157, p. 050515-1-05015-8, 2018.
9. Nieminen H., Taklal E. P., Viikari-Juntura E., Normalization of electromyogram in the neck-shoulder region. *European Applied Journal of Physiology and Occupational Physiology*, vol. 67, is. 3, pp. 199-207, 1993.
10. Sylwanowicz W., Michajlik A., Ramotowski W.: *Anatomia i fizjologia człowieka Podręcznik dla średnich szkół medycznych*, Warszawa 1980, Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich, ISBN 83-200-0468-4.

Test methods development of biomechanics of human movement utilizing the kinesiological electromyography

The article presents the issues concerning the development of methods for performing human biomechanics research utilizing kinesiological electromyography. The procedures concerning the selection of the location of electrodes, patient preparation for testing, conducting the experiment and the development of measurement results are discussed in detail. Selected preliminary test results were also presented.

Keywords: biomechanics of movement, surface electromyography, normalization, wheelchair

Autorzy:

dr inż. **Mateusz Kukla** – Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, Politechnika Poznańska, ul. Piotrowo 3/424., 60-965 Poznań, adres e-mail: mateusz.kukla@put.poznan.pl, tel.: +48 61 224 45 14

dr inż. **Bartosz Wieczorek** – Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, Politechnika Poznańska

dr inż. **Łukasz Warguła** – Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, Politechnika Poznańska