

<https://doi.org/10.26160/2572-4347-2019-7-33-38>

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНТУРА ОБЪЕМА МЫШЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ ПРИ ДВИЖЕНИЯХ ЛУЧЕЗАПЯСТНОГО СУСТАВА

Масленников А.Л., Щербак О.Ю.

Ключевые слова: лучезапястный сустав, электромиография, поверхностная электромиография, контур объема мышечной активности, взаимнокорреляционные функции.

Аннотация. Рассматривается задача определения контура объема мышечной активности при движении лучезапястного сустава. Методика решения задачи включает в себя получение четырех сигналов поверхностной электромиографии, соответствующих четырем группам мышц, реализующих движение лучезапястного сустава, вычисление нормированных взаимнокорреляционных функций (для сигналов, соответствующих мышечным парам агонист-антагонист) и определение относительного усилия в каждый момент времени в плоскостях растяжения-сжатия и приведения-отведения.

CONTOUR OF MUSCULAR ACTIVITY IN WRIST JOINT MOTION

Maslennikov A.L., Scherbak O.Yu.

Keywords: wrist joint, electromyography, surface electromyography, contour of muscular activity, cross-correlations functions.

Abstract. The problem of computing contour of muscular activity in wrist joint motion is considered. The proposed solution is based on computation of normalized cross-correlation functions for the agonist-antagonist muscle pairs of surface electromyography signals. The difference between those normalized cross-correlation functions is considered as the relative muscle activity in flexion-extension and adduction-abduction.

Введение

В медицине широко распространены исследования, связанные с определением биопотенциалов, например электромиография – определение биопотенциалов, возникающих в скелетных мышцах [1, 2]. Существует множество методик и направлений проведения подобных исследований, например, применение поверхностной электромиографии для диагностики состояния мышц, реализующих движение определенного сустава. В биотехнических системах поверхностная электромиография может использоваться для управления экзопротезом или технической системой, созданной по образу и подобию сустава, например лучезапястного [3].

Движение лучезапястного сустава в плоскостях растяжения-сжатия и приведения-отведения реализуется четырьмя группами мышц, а именно: локтевой сгибатель запястья (I), локтевой разгибатель запястья (II), лучевой сгибатель запястья и длинная ладонная мышца (III), длинный лучевой разгибатель запястья и короткий лучевой разгибатель запястья (IV). Схематичное изображение данных групп мышц приведено на рис. 1. Отметим, что сгибание лучезапястного сустава реализуется I и III группой мышц, разгибание - II и IV, приведение - I и II, а отведение III и IV, [4].

В данной работе описывается методика определения контура объема мышечной активности при движении лучезапястного сустава, с использованием четырех сигналов поверхностной электромиографии,

полученных для соответствующих четырех групп мышц. Контур, по своей сути, соответствует контуру объема движения лучезапястного сустава, описанному в работе [5], но иллюстрирует максимальное усилие групп мышц при движении лучезапястного сустава во всем объеме движения.

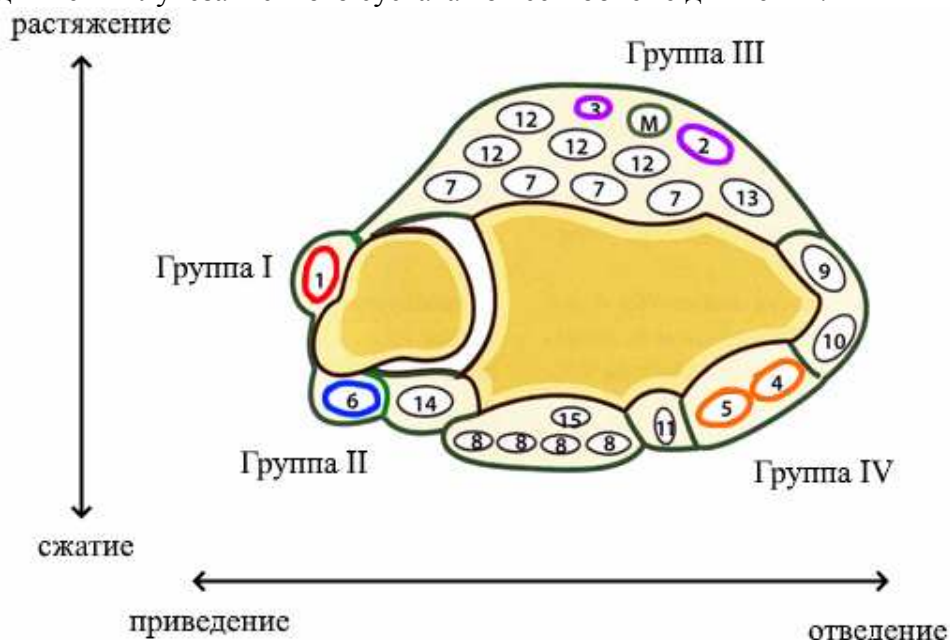


Рис. 1. Группы мышц, реализующих движение лучезапястного сустава (заимствовано из [4])

Технические средства и постановка эксперимента

Для получения четырех синхронизированных по времени сигналов поверхностной электромиографии используется разработанная система сбора данных, состоящая из четырех датчиков MyoWare, платы STM32-NUCLEO-144 и программного обеспечения, написанного в программной среде National Instruments LabVIEW [6]. Датчики MyoWare закрепляются на предплечье в местах наиболее близких к анатомическому положению соответствующих групп мышц. В ходе эксперимента испытуемый совершает круговые движения кистью со средней скоростью, стараясь в каждый момент времени отклонить кисть на максимальный угол относительно нейтрального положения. Длительность эксперимента не должна превышать 60 секунд, что позволяет не учитывать нестационарные составляющие в составе нервно-мышечной динамики.

Алгоритм определения контура объема мышечной активности

При поверхностной электромиографии на измеряемые значения биопотенциалов влияют особенности строения кожных и подкожных покровов человека, а также неточность геометрического расположения электродов электромиографии, в следствии чего они смещаются относительно правильного анатомического расположения мышцы. Вследствие этого

использовать полученные в ходе эксперимента непосредственно значения биопотенциалов (в вольтах или дискретах съема) для определения контура объема мышечной активности не представляется возможным.

В физиологии известно, что одна мышца или группа скелетных мышц, как правило, взаимодействуют по принципу агонист-антагонист. В этом случае можно констатировать, что сигналы электромиографии, полученные для пары агонист-антагонист, должны иметь сильно выраженную корреляцию, а корреляция двух пар (пара растяжения-сжатия и пара приведения-отведения) должна практически отсутствовать. Последнее утверждение позволяет рассматривать мышечные усилия, формируемые для реализации движения в каждой плоскости (приведения-отведения и растяжения-сжатия), практически независимыми друг от друга.

Таким образом, можно предположить, что наличие сильной корреляции в определенный момент времени в одной паре агонист-антагонист свидетельствует об относительно сильном мышечном усилии, формируемым этой парой, а слабая корреляция – наоборот свидетельствует об фактическом отсутствии мышечного усилия. На основании этих предположений алгоритм построения контура объема мышечной активности лучезапястного сустава можно сформулировать следующим образом.

Для полученных экспериментально четырех сигналов поверхностной электромиографии, соответствующих описанным выше группам мышц, вычисляются нормированные взаимнокорреляционные функции:

$$R_{I,III}(\tau) = \frac{\hat{R}_{I,III}(\tau)}{\sqrt{\hat{R}_{I,I}(0)\hat{R}_{III,III}(0)}},$$

$$R_{II,IV}(\tau) = \frac{\hat{R}_{II,IV}(\tau)}{\sqrt{\hat{R}_{II,II}(0)\hat{R}_{IV,IV}(0)}},$$

$$R_{I,II}(\tau) = \frac{\hat{R}_{I,II}(\tau)}{\sqrt{\hat{R}_{I,I}(0)\hat{R}_{II,II}(0)}},$$

$$R_{III,IV}(\tau) = \frac{\hat{R}_{III,IV}(\tau)}{\sqrt{\hat{R}_{III,III}(0)\hat{R}_{IV,IV}(0)}},$$

где $R_{I,III}(\tau)$, $R_{II,IV}(\tau)$, $R_{I,II}(\tau)$ и $R_{III,IV}(\tau)$ – оценки взаимнокорреляционных функций, вычисляемых следующим образом:

$$\hat{R}_{x,y}(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N x(t+\tau)y(t).$$

Затем в $R_{I,III}(\tau)$, $R_{II,IV}(\tau)$, $R_{I,II}(\tau)$ и $R_{III,IV}(\tau)$ отбрасывается половина, соответствующая, отрицательным значениям τ , после чего проводится удаление линейных трендов. На заключительном этапе вычисляются разность полученных нормализованных взаимнокорреляционных функций,

соответствующих мышечным усилиям в плоскостях растяжения-сжатия (РС) и приведения-отведения (ПО):

$$S_{PC}(\tau) = R_{I,III}(\tau) - R_{II,IV}(\tau),$$

$$S_{PO}(\tau) = R_{I,II}(\tau) - R_{III,IV}(\tau).$$

Полученные сигналы $S_{PC}(\tau)$, $S_{PO}(\tau)$ характеризуют относительное мышечное усилие и его направление в соответствующей мышечной паре агонист-антагонист в каждый момент времени. Для определения контура объема мышечной активности необходимо дополнительно определить точки, максимально отклоненные от центра, например методами, описанными в работах [7-9]. Результат определения контура мышечной активности при движении лучезапястного сустава представлен на рис. 2.

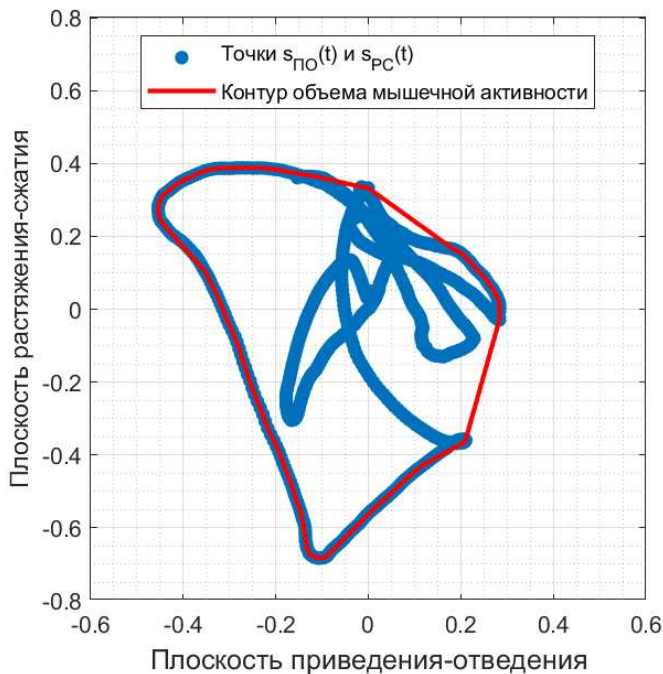


Рис. 2. Контур объема мышечной активности лучезапястного сустава

Контур объема мышечной активности при движении лучезапястного сустава для последующего анализа может быть аппроксимирован полиномиальной функцией [5, 10-11].

Заключение

В статье предложена методика определения контура объема мышечной активности при движении лучезапястного сустава с использованием нормализованных взаимнокорреляционных функций. Дано описание последовательности обработки экспериментальных данных, показана взаимосвязь алгоритма с физиологией движения лучезапястного сустава человека.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта «УМНИК» Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (договор №13174ГУ/2018 от 24.05.2018)/

Список литературы

1. Николаев С.Г. Атлас по электромиографии. – 2е изд., испр. и доп. – Иваново: ПресСто, 2015, 488 с.
2. Николаев С.Г. Электромиография: клинический практикум. Иваново: ПресСто, 2013, 394 с.
3. Гаврилов А.И., Со Со Тав У. Применение данных электромиографии в системах управления экзоскелетными устройствами // Инженерный журнал: наука и инновации. Электрон. журн. 2017, вып. 6. URL: <http://engjournal.ru/catalog/mech/bmech/1623.html>
4. Кападжи А.И. Верхняя конечность. Физиология суставов. Том 1. - 6-е изд. – М.: Эксмо, 2009, 368 с.
5. Масленников А.Л., Щербак О.Ю. Определение контура объема движения лучезапястного сустава с использованием блока инерциальных измерений // Journal of Advanced Research in Technical Science. 2019. №14. С. 124-129.
6. Щербак О.Ю., Масленников А.Л., Задорожная Н.М. Система сбора данных поверхностной электромиографии // Проблемы и перспективы студенческой науки. 2018. №1(3). С. 33-34.
7. Edelsbrunner H. Weighted alpha shapes. Technical Report UIUCDCS-R-92-1760, Dept. Comput. Sci., Univ. Illinois, Urbana, IL, 1992.
8. Bernardini F., Bajaj. C. Sampling and reconstructing manifolds using alpha-shapes. Technical Report CSD-TR-97-013, Dept. Comput. Sci., Purdue Univ., West Lafayette, IN, 1997.
9. Barber C. B., Dobkin D.P., Huhdanpaa H.T., "The Quickhull Algorithm for Convex Hulls," ACM Transactions on Mathematical Software, Vol. 22, No. 4, Dec. 1996, p. 469-483.
10. Щербак О.Ю., Масленников А.Л., Задорожная Н.М. Аппроксимация полиномиальной функцией объема движения лучезапястного сустава // Молодежный научно-технический вестник. Электронный журнал, 2017, вып. 7. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30723544>
11. Щербак О.Ю., Масленников А.Л., Задорожная Н.М. Повышение качества аппроксимации полиномиальной функцией объема движения лучезапястного сустава // Политехнический молодежный журнал МГТУ имени Н.Э. Баумана. Электронный журнал, 2018, вып. 1. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32243858>

References

1. Nikolaev S.G. Electromyography Atlas. - 2nd ed., Corr. and add. - Ivanovo: Press, 2015. 488 p.
2. Nikolaev S.G. Electromyography: clinical workshop. Ivanovo: Press, 2013. 394p.

3. Gavrilov A.I., So So Tav U. Electromyography data application in control systems of exoskeleton devices // Engineering Journal: Science and Innovation, 2017, vol. 6. Available at: <http://engjournal.ru/catalog/mech/bmech/1623.html>
4. Kapadzhi A.I. Upper limb. Physiology of the joints. Volume 1. - 6th ed. - Moscow: Eksmo, 2009, 368 p.
5. Maslennikov A.L., Scherbak O.Yu. Wrist joint range of motion computation utilizing IMU // Journal of Advanced Research in Technical Science. 2019. Is.14. P. 124-129.
6. Scherbak O.Yu., Maslennikov A.L. Data collection system for surface electromyography // Problems and perspectives of student science. 2018. №1(3). P. 33-34.
7. Edelsbrunner H. Weighted alpha shapes. Technical Report UIUCDCS-R-92-1760, Dept. Comput. Sci., Univ. Illinois, Urbana, IL, 1992.
8. Bernardini F., Bajaj. C. Sampling and reconstructing manifolds using alpha-shapes. Technical Report CSD-TR-97-013, Dept. Comput. Sci., Purdue Univ., West Lafayette, IN, 1997.
9. Barber C. B., Dobkin D.P., Huhdanpaa H.T., "The Quickhull Algorithm for Convex Hulls," ACM Transactions on Mathematical Software, vol. 22, No. 4, Dec. 1996, p. 469-483.
10. Scherbak O.Yu., Maslennikov A.L. Wrist joint range of motion closed curve approximation by the polynomial function // Youth herald of the Bauman Moscow State Technical University, 2017, vol. 7. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30723544>
11. Scherbak O.Yu., Maslennikov A.L. Quality of the wrist range of motion curve approximation by the polynomial function // Youth herald of the Bauman Moscow State Technical University, 2018, vol. 1. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35295256>

Масленников Андрей Леонидович – ассистент кафедры «Системы автоматического управления», amas@bmstu.ru	Maslennikov Andrey Leonidovich – teaching assistant, Departament “Automatic Control Systems”, amas@bmstu.ru
Щербак Ольга Юрьевна – студент Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, Москва, Россия	Scherbak Olga Yurievna – student Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Received 16.05.2019