



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2020-18-8-53-61>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 616-073.97

АЛГОРИТМ АНАЛИЗА ПАТТЕРНА ДВИЖЕНИЯ МЫШЕЧНО-СУСТАВНОГО КОМПЛЕКСА ВИСОЧНО-НИЖНЕЧЕЛЮСТНОГО СУСТАВА НА ОСНОВЕ ОБРАБОТКИ МНОГОКАНАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОМИОГРАММ

САМУЙЛОВ И.В.¹, ДАВЫДОВ М.В.¹, САГАЙМАРУФ Г.Г.¹, БАРАДИНА И.Н.²,
РУБНИКОВИЧ С.П.²

¹Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(г. Минск, Республика Беларусь)

²Белорусская медицинская академия последипломного образования (г. Минск, Республика Беларусь)

Поступила в редакцию 17 ноября 2020

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2020

Аннотация. Заболевания мышечно-суставного комплекса являются одним из ведущих направлений в обеспечении стоматологического здоровья. Нарушения мышечно-суставного комплекса могут проявляться в виде синдрома Костена, щелкающей челюсти, синдромом болевой дисфункции, повышенной стираемости зубов, сколов, трещин, мышечных спазмов, болями или чувством дискомфорта в мышцах. В исследовании были поставлены следующие цели: разработать алгоритм анализа паттерна движения мышечно-суставного комплекса путем разработки алгоритма регистрации, анализа, фильтрации и обработки многоканальных электромиограмм мышц челюстно-лицевой области. Анализ предложенного алгоритма обработки многоканальных электромиограмм показал, что 7,2 % многоканальных электромиограмм не удалось проанализировать из-за нарушений пациентами алгоритма движения. Среди проанализированных электромиограмм пришлось откорректировать 8,7 % значений контрольных точек. Анализ полученных данных показал, что для группы без нарушений функций височно-нижнечелюстного сустава характерно преобладание коэффициента расслабления левой височной мышцы над коэффициентом правой мышцы. Для группы с нарушениями характерен противоположный результат. Полученные данные также свидетельствуют, что значение коэффициента сжатия больше 2,5 для височных мышц характерно для группы с нарушениями функций мышечно-суставного комплекса височно-нижнечелюстного сустава. Максимальное разделение исследуемых групп наблюдается при анализе коэффициентов расслабления височных мышц. При анализе данного коэффициента удалось истинно определить наличие или отсутствие нарушений функций височно-нижнечелюстного сустава в 50 % случаев, ложно – в 16 %. Коэффициент расслабления жевательных мышц позволил получить истинное состояние височно-нижнечелюстного сустава в 24 % случаев, ложное состояние – в 8 %. Получен вывод, что коэффициент сжатия менее пригоден для разделения пациентов с нарушениями и без нарушений функций мышечно-суставного комплекса височно-нижнечелюстного сустава.

Ключевые слова: челюстно-лицевая область, височные мышцы, жевательные мышцы, коэффициент сжатия мышц, коэффициент расслабления мышц.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Самуйлов И.В., Давыдов М.В., Сагаймаруф Г.Г., Барадина И.Н., Рубникович С.П. Алгоритм анализа паттерна движения мышечно-суставного комплекса височно-нижнечелюстного сустава на основе обработки многоканальных электромиограмм. Доклады БГУИР. 2020; 18(8): 53-61.

ALGORITHM FOR ANALYZING THE MOVEMENT PATTERN OF THE TEMPOROMANDIBULAR JOINT MUSCULAR-ARTICULAR SYSTEM BASED ON MULTICHANNEL ELECTROMYOGRAM PROCESSING

IVAN V. SAMUILOV¹, MAXIM V. DAVYDOV¹, GHAZAL G. SAGHAYMAROUF¹,
INESSA N. BARADINA², SERGEY P. RUBNIKOVICH²

¹*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk, Republic of Belarus)*

²*Belarusian Medical Academy of Postgraduate Education (Minsk, Republic of Belarus)*

Submitted 17 November 2020

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2020

Abstract. Musculoskeletal system disorders is one of the priority directions in dentistry. They can manifest as Kosten's syndrome, snapping jaw, painful dysfunction syndrome, increased tooth abrasion, splits, breaks, pain and spasms in muscles, etc. The study set the following objectives: to develop an algorithm for analyzing the movement pattern of the muscular-articular system by developing an algorithm for recording, analyzing, filtering and processing multichannel electromyograms of the maxillofacial muscles. Analysis of the proposed algorithm for processing multichannel electromyograms showed that 7.2 % of multichannel electromyograms could not be analyzed due to patients' violations of the movement algorithm; 8.7 % of electromyogram checkpoint values were corrected. The group without dysfunctions of the temporomandibular joint is characterized by the prevalence of the relaxation coefficient of the left temporal muscle over the coefficient of the right muscle. The dysfunctioned group has the opposite result. The value of the compression ratio of the temporal muscles exceeding 2.5 is typical for the group with dysfunctions of the temporomandibular joint. The studied groups differ as much as possible when analyzing the relaxation coefficients of the temporal muscles. When analyzing this coefficient, it was possible to truly determine the presence or absence of violations in 50 %, falsely – in 16 % of cases. The coefficient of relaxation of the masticatory muscles made it possible to obtain a true state of 24 %, a false one – in 8 %. We concluded that the compression ratio is less suitable for separating patients with and without dysfunction of the temporomandibular joint.

Keywords: maxillofacial region, temporal muscles, masseter muscles, muscle compression ratio, muscle relaxation ratio.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

For citation. Samuilov I.V., Davydov M.V., Saghaymarouf G.G., Baradina I.N., Rubnikovich S.P. Algorithm for analyzing the movement pattern of the temporomandibular joint muscular-articular system based on multichannel electromyogram processing. Doklady BGUIR. 2020; 18(8): 53-61.

Введение

Под термином «парафункция» в стоматологии принято понимать повышенную нецелесообразную активность, напряжение, спазм жевательных, мимических мышц, а также мышц языка. Частота встречаемости парафункциональных проявлений велика и составляет до 81 % [1]. Также авторами отмечается значительный вклад эмоциональных нарушений в заболевания височно-нижнечелюстного сустава и мышц челюстно-лицевой области (ЧЛЮ) [2].

Парафункции мышц ЧЛЮ чаще определяются на стоматологическом приеме, при чрезмерном эмоциональном и физическом напряжении пациентов. Чаще встречаются у спортсменов, связанных с силовыми и скоростно-силовыми видами спорта, грузчиков, дальнобойщиков, а также у людей, работа которых связана со статическим положением тела (в позе сидя). меются сведения о взаимосвязи между парафункциями мышц ЧЛЮ и психосоциальным стрессом [3]. Данные исследований подтверждают рост частоты встречаемости заболеваний мышечно-суставного комплекса несмотря на существующие возможности ранней диагностики и комплексного лечения.

В связи с ростом интереса к данной проблеме в работе исследовались параметры сжатия и расслабления мышц на основе математического анализа электромиограмм (ЭМГ)

у пациентов с нарушениями мышечно-суставного комплекса височнонижне-челюстного сустава (ВНЧС) и пациентов без нарушений.

Методика проведения эксперимента

Запись данных интерференционной электромиографии мышц ЧЛЮ проводилась одновременно по четырем каналам в отличие от методики, предложенной в работе [4], где сигналы снимались с мышц поочередно. Данное исследование проводилось на мышцах *m. masseter* (жевательная) и *m. temporalis* (височная) билатерально. Согласно [5] сокращение *m. masseter* и передней части *m. temporalis* вызывает движение вверх нижней челюсти.

Наиболее значимым для анализа мышц, участвующих в жевательном процессе, являются их биоэлектрические сигналы в состоянии функциональной нагрузки. В работе [6] предположено для определения функциональной нагрузки мышц проводить ЭМГ в состоянии пережевывания пищи. В работе [7] описан такой параметр анализа состояния мышечно-суставного комплекса ВНЧС, как повторяемость жевательного цикла. Одной из основных проблем данного типа исследования, по мнению авторов, является неудобство определения физиологического состояния мышц в практической деятельности, а также сложность сравнения между собой различных тестов, проводимых на различных пищевых субстратах, как твердых – печенье, бисквиты, орехи, так и гелеобразных.

В проведенном исследовании был разработан и проводился тест на удержание максимального мышечного усилия мышц ЧЛЮ. В работе [4] также проводился тест на удержание мышечного усилия. Отличие настоящего исследования заключается в том, что предложенный авторами тест проводился билатерально, одновременно по четырем каналам.

Алгоритм установки измерительных электродов был следующим: общий электрод устанавливался на запястья рук. Затем на переднюю часть височной мышцы устанавливали электроды поверхностные с постоянным межэлектродным расстоянием ЭП-1. На электрод предварительно наносился высокопроводящий гель, после чего датчик устанавливали на «двигательную» точку мышцы, которую находят пальпаторно. Электроды фиксировали при помощи эластической ленты. Для съема электромиографических данных с жевательной мышцы использовались чашечковые электроды. Данный тип электродов применялся с целью более точного и стабильного контакта с поверхностью кожи. При проведении исследования отрицательный электрод устанавливали на мышечное сухожилие. Положительный электрод устанавливали на двигательную точку жевательной мышцы. На поверхность электродов предварительно наносился высокопроводящий гель. После этого электроды фиксировали при помощи медицинского лейкопластыря.

Для съема электромиографических данных с жевательной мышцы использовались чашечковые электроды. Данный тип электродов применялся с целью более точного и стабильного контакта с поверхностью кожи. При проведении исследования отрицательный электрод устанавливался на мышечное сухожилие. Положительный электрод устанавливали на двигательную точку жевательной мышцы. На поверхность электродов предварительно наносился высокопроводящий гель, после чего электроды фиксировали при помощи медицинского лейкопластыря. Алгоритм для проведения функциональных тестов мышц ЧЛЮ включал в себя последовательность сокращения и расслабления мышц пациентами. Для проведения теста на удержание максимального мышечного усилия был создан видеоролик, управляющий действиями пациентов. Упрощенное представление видеоролика представлено на рис. 1.

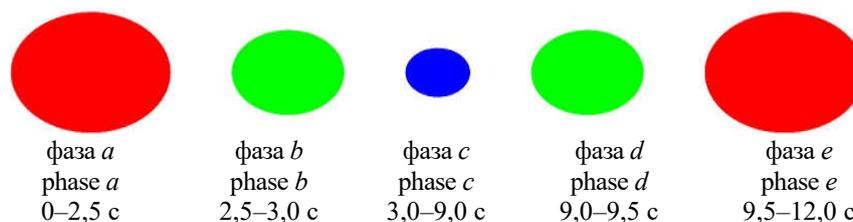


Рис. 1. Изменение размера и цвета управляющего движениями пациентов маркера в видеоролике
Fig. 1. Change of the size and color of the patients' motion marker in the video

В видеоролике использовался управляющий маркер, который путем изменения цвета и размера информировал пациента о силе сжатия/расслабления мышц. ЭМГ теста на сжатие зубов включает пять фаз (см. рис. 1): фаза *a* – мышцы находятся в расслабленном состоянии перед усилием, наблюдается фоновая активность мышц; фаза *b* – сжатие зубов, резкое увеличение активности мышц с уровня расслабления до максимального уровня; фаза *c* – удержание мышечного усилия, у большинства пациентов наблюдался постепенный спад активности, который связан с усталостью мышц; фаза *d* – расслабление, резкое снижение активности мышц максимального мышечного усилия до уровня остаточной активности; фаза *e* – восстановление, уменьшение активности мышц до полного расслабления.

После получения данных ЭМГ проводилась предобработка сигнала ЭМГ, устранялись артефакты условно бесконечных значений амплитуды, которые вызвались смещением электродов во время съема данных. Кроме данного вида помехи возможно появление шумов, связанных с колебательными движениями измерительного провода, собственными шумами в измерительном оборудовании, окружающим электромагнитным излучением [8], однако данные помехи не вносят значительных изменений в форму ЭМГ сигнала. При измерении амплитуд ЭМГ диапазон возможных значений был выставлен на измерительном приборе от -5 до 5 мВ. Анализ полученных данных ЭМГ показал, что максимальные амплитуды незашумленных сигналов не превышали 5 мВ. Исходя из этого, амплитуды, превышающие $7,5$ мВ, апостериори были приняты как зашумленный сигнал. Такие данные, а также граничащие с ними значения во временном интервале $\pm 0,1$ с приравнялись к 0 .

В литературе приведены различные характеристики оценки полученных ЭМГ сигналов мышц в состоянии функциональной нагрузки – сжатия. В работе [4] оценивалась амплитуда, в [9] оценивался сигнал в частотной области, в исследовании [10] проводилась оценка сжатия и расслабления. Исходя из анализа вышеперечисленных работ, было принято решение в качестве параметров теста на удержание максимального мышечного усилия использовать коэффициенты сжатия и расслабления.

Для нахождения коэффициентов сжатия и расслабления необходимо построить огибающую ЭМГ сигнала. На рис. 2 показан пример внешнего вида ЭМГ – кривая 1, огибающая ЭМГ – кривая 2. Также на рис. 2 показаны фазы и контрольные точки движения во время проведения теста.

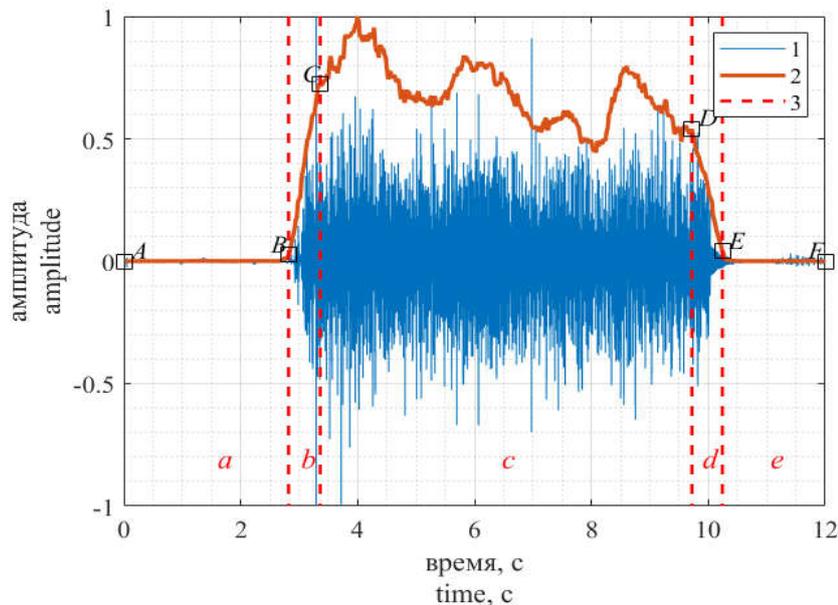


Рис. 2. Пример полученных ЭМГ: 1 – данные до обработки; 2 – огибающая ЭМГ; 3 – границы фаз
Fig. 2. An example of the received EMG: 1 – data before processing; 2 – EMG envelope; 3 – phase boundaries

Для построения огибающей необходим переход из системы данных от -5 до 5 мВ к системе от 0 до 1 . На первом этапе обработки данных ЭМГ необходимо устранить отрицательные значения амплитуд. Это реализуется возведением каждой точки во вторую степень. В литературе описан метод устранения отрицательных значений амплитуд в ЭМГ

сигнале путем их отбрасывания [8]. Далее, для упрощения последующей обработки данных было принято решение уменьшить их размерность, что было реализовано усреднением значений по временным участкам длительностью 20 мс. Это привело к уменьшению размерности входного вектора данных с 24 000 до 600 точек и упростило последующую обработку. Следующий шаг – устранение высокочастотного шума. Для этого использовался усредняющий фильтр длительностью 25 точек. Последним шагом построения огибающей было нормирование значений от 0 до 1, для чего данные делились на максимальное значение. Это позволило сравнивать между собой различные огибающие. Без нормализации амплитуды огибающих могут отличаться на два порядка.

Для определения пяти фаз активности мышц по данным теста на удержание максимального усилия необходимо ЭМГ разделить на пять интервалов, найти шесть контрольных точек, см. рис. 2. Точки *A* и *F* являются началом и концом записи. Точки *B* и *E* определяются путем анализа амплитуды огибающей: первая и последняя точки, превышающие граничное значение 0,05. Для нахождения остальных контрольных точек определяются два интервала данных: точка *B* плюс интервал в 1,5 с, точка *E* минус интервал в 1,5 с. Длительность сигнала в 1,5 с тождественна интервалу длиной в 75 отсчетов. После нахождения интервалов для корректного определения точек *C* и *D* необходимо устранить эффект дребезжания конца участка сжатия (фаза *b*) и начало участка расслабления (фаза *d*). Это достигается смещением контрольной точки. Для этого интервал сжатия умножается на взвешивающий коэффициент согласно формуле (1), интервал расслабления умножается на коэффициент согласно формуле (2).

$$Amp_i^{b*} = Amp_i^b \cdot k^{75-i}, \quad (1)$$

$$Amp_i^{d*} = Amp_i^d \cdot k^{i-1}, \quad (2)$$

где *i* изменяется от 1 до 75;

$$k=1,02;$$

Amp_i^b, Amp_i^d – значение амплитуды *i*-й точки интервала сжатия (фазы *b*) и расслабления (фазы *d*).

Amp_i^{b*}, Amp_i^{d*} – значение амплитуды *i*-й точки интервалов сжатия/расслабления после умножения на взвешивающий коэффициент.

Затем, после нахождения всех контрольных точек, данные фаз *b, d* аппроксимируются линейной функцией по методу наименьших квадратов, формула (3). Множитель k_1 является мерой угла наклона кривой и далее именуется коэффициентом сжатия (расслабления). Коэффициент k_2 показывает смещение кривой относительно нуля координат.

$$y_i = k_1 x_i + k_2, \quad (3)$$

где x_i – время, с.

На рис. 3 изображен интервал до умножения на взвешивающий коэффициент – кривая 1. Кривая 2 – результат умножения интервала на взвешивающий коэффициент с последующем приведением амплитуды к 1. Точка с максимальной амплитудой на исследуемом интервале обозначена C_1 . После умножения на взвешивающий коэффициент и приведения максимальной амплитуды к 1 амплитуда точки C_1^* равна 0,719. После взвешивания на исследуемом интервале находят точку максимума – C_2^* . Во избежание искажения формы сигнала точку максимума проецируют на исходные данные, точка C_2 . Таким образом, из полученного участка сжатия $B-C_2$ убирается интервал с колебательным процессом около максимального значения амплитуды – точки C_1 .

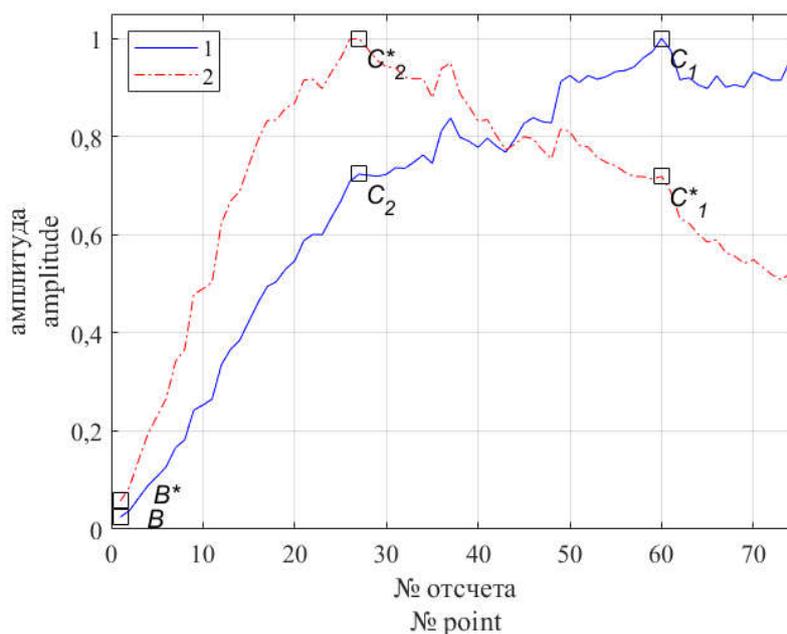


Рис. 3. Интервал сжатия: 1 – данные до умножения на взвешивающий коэффициент; 2 – данные после умножения на взвешивающий коэффициент

Fig. 3. Compression interval: 1 – data before multiplying by a weighting coefficient; 2 – data after multiplying by a weighting coefficient

Обсуждение

После получения и обработки данных было проанализировано 221 многоканальных ЭМГ мышц ЧЛЮ. Из них 16 многоканальных ЭМГ (7,2 %) не удалось проанализировать. Это могло быть вызвано нарушениями пациентами выполнения алгоритма действий, а также дефектами регистрации, такими как отрывание электродов во время выполнения тестов или плохой контакт между измерительным электродом и кожей. После программного расчета контрольных точек потребовалось вручную откорректировать значения 286 точек, что составляет 8,7 % от всех контрольных точек.

На рис. 4, *a* изображено распределение коэффициентов расслабления для правой и левой височной мышцы. Группа 1 – пациенты, у которых наблюдались изменения в функции ВНЧС, группа 2 – пациенты, у которых не наблюдались изменения в функции ВНЧС.

Из анализа данных коэффициента расслабления височных мышц следует, что для группы без нарушений более характерно преобладание коэффициента расслабления левой мышцы над правой, а область преобладания коэффициента правой мышцы более характерна для группы с нарушениями.

Данные по коэффициентам сжатия и данные жевательных мышц показали себя менее селективными. Селективность метода определялась следующим образом. Находилась разница между коэффициентами расслабления правой и левой мышцы, см. рис. 4, *b*. Данные разбивались на три поддиапазона – область с данными группы 1, область с данными группы 2, область со смешенными данными. Далее определялся процент истинного и ложного срабатывания метода. Селективность разделения групп показана в табл. 1. Максимальное разделение между группами наблюдается для коэффициентов расслабления для височных мышц.

Полученные данные также свидетельствуют, что значение коэффициента сжатия больше 2,5 для височных мышц характерно для группы с нарушениями функции ВНЧС. Таким образом, состояние ВНЧС по коэффициенту расслабления височных мышц было определено истинно в 50 % случаев, ложно – в 16 %; по коэффициенту расслабления жевательных мышц – истинно в 24 % случаев, ложно – в 8 %.

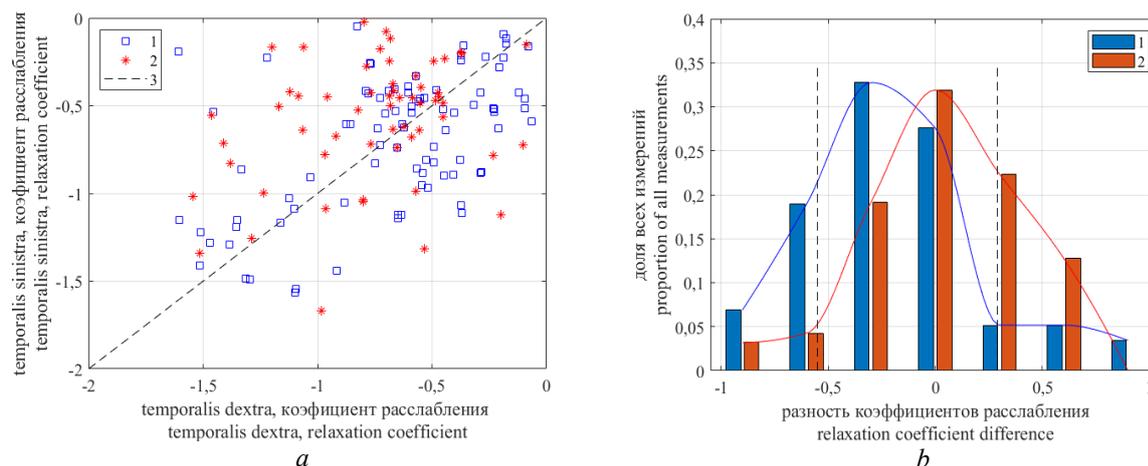


Рис. 4. Коэффициент расслабления височных мышц, где 1 – пациенты с нарушениями в ВНЧС, 2 – без нарушений: *a* – пространственное распределение, *b* – гистограмма распределения разницы коэффициентов
Fig. 4. The coefficient of relaxation of the temporal muscles, where 1 – patients with dysfunctions in the TMJ, 2 – without dysfunctions: *a* – spatial distribution, *b* – a histogram of the distribution of the difference in coefficients

Таблица 1. Селективность метода
Table 1. Selectivity of the method

Название коэффициента (Name of the coefficient)	Критерий селективности Selectivity criterion			
	Истинное определение нормального состояния True definition of the normal state, %	Ложное определение нормального состояния False definition of the normal state, %	Истинное определение нарушения True definition of violation, %	Ложное определение нарушения False definition of violation, %
расслабления височных мышц temporal muscle relaxation ratio	21	10	29	6
расслабления жевательных мышц masseter muscle relaxation ratio	21	2	3	6
сжатия височных мышц temporal muscle compression ratio	21	9	7	6
сжатия жевательных мышц masseter muscle compression ratio	29	8	7	11

Заключение

В данной работе была разработана и предложена методика фильтрации шумов и обработки многоканальных электромиограмм мышц ЧЛЮ, а также анализа состояния мышечно-суставного комплекса. Анализ предложенного алгоритма обработки показал, что 7,2% многоканальных ЭМГ не удалось проанализировать. Это могло быть вызвано нарушениями пациентами алгоритма действий или дефектами электродов. После программного расчета по предложенному алгоритму пришлось откорректировать вручную 8,7% значений контрольных точек. Анализ полученных данных показал, что преобладание коэффициента расслабления левой височной мышцы характерно для группы без нарушений функций ВНЧС, преобладание коэффициента расслабления правой височной мышцы характерно для группы с нарушениями. Полученные данные также свидетельствуют, что значение коэффициента сжатия больше 2,5 для височных мышц характерно для группы с нарушениями функции ВНЧС. Максимальное разделение групп наблюдается при анализе коэффициентов расслабления височных мышц. Удалось истинно определить наличие или отсутствие нарушений ВНЧС в 50% случаев, ложно – в 16%. Коэффициент расслабления жевательных мышц позволил получить истинное состояние ВНЧС в 24% случаев, ложное состояние – в 8%. Исходя из этого, получен вывод, что ЭМГ, полученные от жевательных

мышц, и коэффициент сжатия менее пригодны для разделения групп с патологиями и без патологий в мышечно-суставном комплексе височно-нижнечелюстного сустава.

Список литературы

1. Лобко В.А., Барадина И.Н., Манкевич С.М. Комбинированные методы лечения хронической патологии жевательных мышц. *Стоматолог*. 2011;2(2):98-102.
2. Барадина И.Н., Рубникович С.П., Докукина Т.В., Минзер М.Ф. Особенности диагностики пациентов с мышечно-суставной дисфункцией зубочелюстной системы в сочетании с патологической стираемостью зубов. *Стоматолог*. 2014;1(12):50-54.
3. Рубникович С.П., Барадина И.Н., Денисова Ю.Л., Самуйлов И.В., Давыдов М.В., Кульчицкий В.А. Анализ функционального состояния мышц челюстно-лицевой области у стоматологических пациентов с признаками бруксизма в сочетании с синдромом обструктивного апноэ во сне. *Доклады Национальной академии наук Беларуси*. 2020;64(3):341-349.
4. Nishi S.E., Basri R., Alam M. K., Komatsu S., Komori A., Sugita Y., Maeda H. Evaluation of Masticatory Muscles Function in Different Malocclusion Cases Using Surface Electromyography. *Journal of Hard Tissue Biology*. 2017;26(1):23-28. DOI:10.2485/jhtb.26.23.
5. Okeson J.P. *Management of Temporomandibular Disorders and Occlusion*. 6th Edition. St. Louis, Missouri: Mosby Elsevier; 2008:23-25.
6. Karkazis H.C. EMG activity of the masseter muscle in implant supported overdenture wearers during chewing of hard and soft food. *Journal of Oral Rehabilitation*. 2002;29(10): 986-991. DOI:10.1046/j.1365-2842.2002.00943.x.
7. Remijn L., Groen B. E., Speyer R., van Limbeek J., Nijhuis-van der Sanden M. W. G. Reproducibility of 3D kinematics and surface electromyography measurements of mastication. *Physiology & Behavior*. 2016;155:112-121. DOI:10.1016/j.physbeh.2015.11.018.
8. Коломоец А.А., Кудрявцев Б.М. Методы анализа ЭМГ-сигналов: обнаружение, обработка, классификация и применение. *Colloquium-journal*. 2019;23(47):37-43.
9. Politti F., Casellato C., Kalytczak M.M., Garcia M.B.S., Biasotto-Gonzalez D.A. Characteristics of EMG frequency bands in temporomandibular disorders patients. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2016;31:119-125. DOI:10.1016/j.jelekin.2016.10.006.
10. Hamada T., Kotani H., Kawazoe Y., Yamada S. Effect of occlusal splints on the EMG activity of masseter and temporal muscles in bruxism with clinical symptoms. *Journal of Oral Rehabilitation*. 1982;9:119-123. DOI.org:10.1111/j.1365-2842.1982.tb00541.x.

References

1. Lobko V.A., Baradina I.N., Mankevich S.M. [Combined methods of treatment of chronic pathology of the masticatory muscles]. *Stomatolog*. 2011;2(2):98-102. (In Russ.)
2. Baradina I.N., Rubnikovich S.P., Dokukina T.V., Minzer M.F. [Features of diagnostics of patients with musculo-articular dysfunction of the dentoalveolar system in combination with pathological abrasion of teeth]. *Stomatolog*. 2014;1(12):50-54. (In Russ.)
3. Rubnikovich S.P., Baradina I.N., Denisova Yu.L., Samuylov I.V., Davydov M.V., Kulchitskiy V.A. [Analysis of the functional state of the muscles of the maxillofacial area in dental patients with symptoms bruxism in combination with obstructive sleep apnea syndrome]. *Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*. 2020;64(3):341-349. (In Russ.)
4. Nishi S.E., Basri R., Alam M. K., Komatsu S., Komori A., Sugita Y., Maeda H. Evaluation of Masticatory Muscles Function in Different Malocclusion Cases Using Surface Electromyography. *Journal of Hard Tissue Biology*. 2017;26(1):23-28. DOI:10.2485/jhtb.26.23.
5. Okeson J.P. *Management of Temporomandibular Disorders and Occlusion*. 6th Edition. St. Louis, Missouri: Mosby Elsevier, 2008:23-25.
6. Karkazis, H.C. EMG activity of the masseter muscle in implant supported overdenture wearers during chewing of hard and soft food. *Journal of Oral Rehabilitation*. 2002;29(10): 986-991. DOI:10.1046/j.1365-2842.2002.00943.x.
7. Remijn L., Groen B.E., Speyer R., van Limbeek J., Nijhuis-van der Sanden M.W.G. Reproducibility of 3D kinematics and surface electromyography measurements of mastication. *Physiology & Behavior*. 2016;155:112-121. DOI:10.1016/j.physbeh.2015.11.018.
8. Kolomoets A.A., Kudryavtsev B.M. [Methods for analyzing EMG signals: detection, processing, classification and application]. *Colloquium-journal*. 2019;23(47):37-43 (In Russ.)

9. Politti F., Casellato C., Kalytczak M.M., Garcia M.B.S., Biasotto-Gonzalez D.A. Characteristics of EMG frequency bands in temporomandibular disorders patients. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2016;31:119-125. DOI:10.1016/j.jelekin.2016.10.006.
10. Hamada T., Kotani H., Kawazoe Y., Yamada S. Effect of occlusal splints on the EMG activity of masseter and temporal muscles in bruxism with clinical symptoms. *Journal of Oral Rehabilitation*. 1982;9:119-123. DOI.org:10.1111/j.1365-2842.1982.tb00541.x.

Вклад авторов

Самуйлов И.В. проводил съем, обработку и анализ ЭМГ данных.

Сагаймаруф Г.Г. участвовала в обработке ЭМГ данных.

Барадина И.Н., Рубникович С.П., руководители от лица БелМАПО, проводили первичный осмотр пациентов, ставили диагноз, консультировали относительно физио-анатомических особенностей и медицинских результатов.

Давыдов М.В., руководил от лица БГУИР, в том числе проводил консультации насчет алгоритмов, методов анализа и обработки ЭМГ данных.

Authors' contribution

Samuylov I.V. carried out reading, processing and analysis of EMG data.

Sagaimaruf G.G. participated in the processing of EMG data.

Baradina I.N., Rubnikovich S.P., the supervisors on behalf of BelMAPO, carried out an initial examination of patients, made a diagnosis, consulted on the physiological and anatomical features and medical results.

Davydov M.V., supervised on behalf of BSUIR, held consultations on algorithms, methods of analysis and processing of EMG data.

Сведения об авторах

Самуйлов И.В., аспирант кафедры теоритических основ электротехники Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Давыдов М.В., к.т.н., первый проректор, доцент Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Сагаймаруф Г.Г., аспирант кафедры электронной техники и технологии Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Барадина И.Н., к.м.н., доцент кафедры ортопедической стоматологии и ортодонтии с курсом детской стоматологии Белорусской медицинской академии последипломного образования.

Рубникович С.П., д.м.н., профессор, ректор Белорусского государственного медицинского университета.

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. П. Бровки, 6,
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
тел. +375-17-293-88-88;
e-mail: ivsamuil@tut.by
Самуйлов Иван Владимирович

Information about the authors

Samuylov I.V., PhD Student of the Department of Theory Foundations of Electrical Engineering of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Davydov M.V., PhD, First Vice-Rector, Associate Professor of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Sagaimaruf G.G., PhD Student of the Department of Electronic Engineering and Technology of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Baradina I.N., PhD, Associate Professor of the Department of Prosthetic Dentistry and Orthodontics with the course of Pediatric Dentistry of the Belarusian Medical Academy of Postgraduate Education.

Rubnikovich S.P., D.Sci, Professor, Rector of the Belarusian State Medical University.

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus
Minsk, P. Brovka str., 6
Belarusian State University
of Informatics and Radioelectronics
tel. + 375-17-293-88-88;
e-mail: ivsamuil@tut.by
Samuilov Ivan Vladimirovich