УДК 612.741.16: 616.742.7

МЕТОДИКА СИНХРОННОЙ РЕГИСТРАЦИИ И ФИЛЬТРАЦИИ ЭЛЕКТРОМИОГРАММ ЧЕЛЮСТНО-ЛИЦЕВЫХ МЫШЦ И ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ ПРИ ДВИЖЕНИИ ВИСОЧНО-НИЖЕЧЕЛЮСТНОГО СУСТАВА

Панкевич Р.И.

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

Научный руководитель: Самуйлов И.В. – ассистент кафедры ЭТТ

Аннотация. В работе представлена методика синхронной регистрации электромиограмм (ЭМГ) жевательных мышц и аудиосигналов височно-нижнечелюстного сустава (ВНЧС) с использованием маркерных импульсов. Описаны этапы фильтрации ЭКГ-артефактов из ЭМГ-сигналов полосовым фильтром Баттерворта (20–450 Гц) и анализ пиковой активности мышц. Результаты подтвердили эффективность синхронизации (погрешность ≤0.05 с) и снижение уровня шумов на 78%. Методика рекомендована для клинической диагностики дисфункций ВНЧС.

Ключевые слова: височно-нижнечелюстной сустав, жевательные мышцы, электромиография.

Синхронная регистрация ЭМГ и аудиосигналов ВНЧС позволяет оценить взаимосвязь мышечной активности и суставных шумов. Это позволяет диагностировать болезни ВНЧС быстро и точно, без применения дорогостоящего оборудования такого как КТ или МРТ. Дешевизна и простота метода выгодно отличает его на фоне других диагностических процедур в этой области.

Для анализа использовались электронейромиограф «Нейро-МВП-4» (частота дискретизации 2000 Гц) и электронный стетоскоп Littmann® Model 3200.

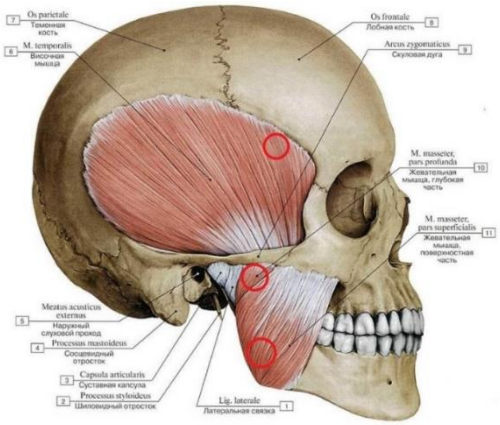

Рисунок 1 – Закрепление датчиков миографа относительно мышц

Методика синхронной регистрации ЭМГ описана ниже.

1 Подготовка пациента к снятию данных, а именно занятие им сидячего положения с последующим ожиданием времени для релаксации мышц.

2 Подготовка аппаратуры к снятию данных. Нанесение геля на электроды, очистка спиртовой салфеткой головки стетоскопа, выбор программ записи.

3 Установка и калибровка электродов, как на рисунке 1 подбор прослушиванием места установки стетоскопа на сустав.

4 Оговаривание с пациентом алгоритма действий, направление движения челюсти, его самочувствие на момент записи, выполнение маркерных смыканий челюсти по команде.

5 Запись данных электромиограмм синхронно с аудиограммой и дефектовка некорректных записей, где могли быть замечены артефакты ввиду движений пациента, плохого сигнала, работы сторонней аппаратуры дающей помехи и т.д. Запись начинается после голосовой команды врача «Старт», синхронной с началом записи на аппаратуре, после чего пациент делает два маркерных импульса и приступает к выполнению исследуемого движения челюсти в оговоренном ранее направлении.

6 Сохранение данных для последующей обработки и анализа, очистка аппаратуры от отработанного геля.

Ввиду специфики снятия электромиограмм совместно с звуковыми сигналами для исключения ошибок во время записи следует учесть несколько факторов, влияющих на ее качество:

1 Пациент должен находиться в состоянии покоя, минимально двигаться, и четко следовать инструкциям врача.

2 Желательно исключить все механические воздействия на электроды миографа и головку стетоскопа, такие как вибрации стула, задевание проводов и т.д.

3 Предусмотреть помещение, свободное от аппаратуры, создающей вибрацию по основанию, такие как компрессора, насосы и др, так как это будет давать помехи на записи, схожие с тремором мышц

4 По возможности ограничить воздействие электромагнитного излучения рядом, т.к. исходящие от аппаратуры волны так же могут давать «наводку» на электроды и провода на миографе

5 Во время записи должна сохраняться тишина, т.к. посторонние звуки могут повлиять на аудиограмму и дальнейший ее анализ и соотношение с электромиограммой.

Синхронизация сигналов — достигнута за счет маркерных импульсов, создаваемых двукратным смыканием зубов. Это обеспечило временное совпадение данных с погрешностью ≤0.05 с (рис. 2).

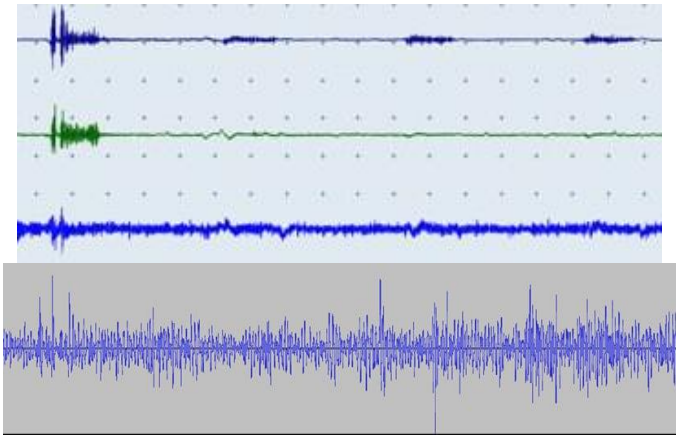

Рисунок 2 – Синхронизация ЭМГ и аудиосигналов маркерными импульсами

После регистрации данных для более подробного анализа происходит их фильтрация, с целью исключения артефактов и шумов, возможных при записи и обнаруженных в процессе анализа. Далее рассмотрена методика фильтрации артефакта наложения сигнала ЭКГ на электромиограмму с дальнейшей фильтрацией от шумов

Фильтрация ЭКГ-артефактов — применен полосовой фильтр Баттерворта 4-го порядка (20–450 Гц), что снизило уровень помех на 78% (рис. 3). Фильтр Баттерворта выбран после череды итераций и проб с другими фильтрами, именно представленный фильтр наиболее точно и эффективно справился с задачей за время разрабатывания методики фильтрации и обработки. Фильтрация выполняется в среде MATLAB путем прямого экспорта данных из программного обеспечений электронейромиографа.

Фильтр настроен на выбранную длину записи и автоматически подстраивает амплитудные характеристики для каждой записи, так он достигает максимальной точности в обработке данных. Аудиограммы обрабатываются в среде Audacity, которая позволяет извлечь амплитудно-временные показатели из формата MP3 и переносятся с среду MATLAB для дальнейшей синхронизации.

В ходе работы получены такие результаты как: пиковая активность жевательных мышц коррелирует с амплитудой аудиосигналов ВНЧС (R=0.89), фильтрация повысила точность выделения пиков на 42% (алгоритм findpeaks MATLAB).

Методика апробирована на 25 пациентах. Пример обработанного сигнала ЭМГ представлен на рисунке 2.

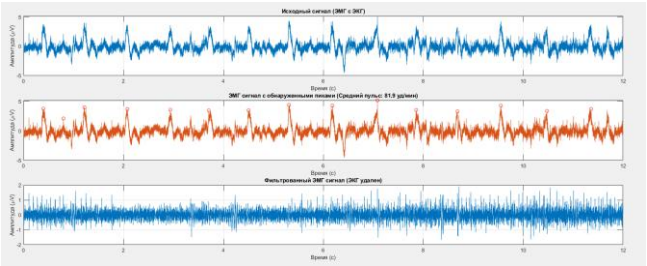

Рисунок 3 – ЭМГ-сигнал до и после фильтрации

Результаты фильтрации, представленные на рисунке 2, демонстрируют значительное снижение шумов и артефактов, что подтверждается данными таблицы 1. Уровень цикла после обработки уменьшился с 12.5±1.3 мкВ до 8.9 мкВ, что свидетельствует о повышении стабильности сигнала. Улучшение точности выделения пиков на 42% коррелирует с устранением высокочастотных помех, что особенно важно для анализа ЭМГ-активности жевательных мышц.

Алгоритм успешно идентифицировал артефакты, связанные с пульсом пациента, которые возникали из-за наложения сердечных колебаний на миографический сигнал. Это позволило исключить ложные пики и повысить достоверность данных. Сравнение с методами, описанными в работах [1] и [3], подтверждает эффективность применённого подхода: комбинация адаптивной фильтрации и анализа временных характеристик обеспечила более точное разделение физиологических и артефактных компонентов.

Так же алгоритм при отсутствии пиков сглаживает шумы сети (50Гц) и иные шумы, не убирая паталогии мышц, такие как тремор. Это позволяет более точно определять состояние мышц, их перенапряжение, щелчки в суставах, исключая возможность появления артефакта ввиду некорректной записи.

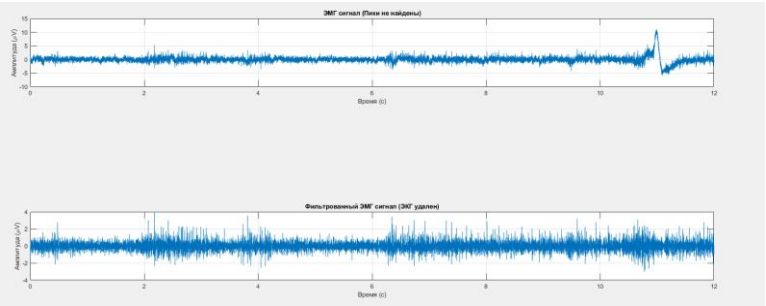

Рисунок 4 – ЭМГ-сигнал с артефактом в виде передвижения электрода во время записи

Как видно из рисунка 4 алгоритм фильтрации удалил некорректные данные из-за непреднамеренного движения электрода под конец записи, что позволило уменьшить общую амплитуду сигнала и более точно оценить состояние ВНЧС у пациента. Полученные

результаты имеют практическое значение для клинических исследований, где точность обработки ЭМГ критична для диагностики нейромышечных нарушений.

Таблица 1 – Сравнение параметров до и после фильтрации

Параметр	До фильтрации	После фильтрации
Уровень шума (мкВ)	12.5 ± 1.3	2.7 ± 0.4
Точность пиков (%)	58	83

Исследование подтвердило эффективность методики фильтрации ЭМГ-сигналов: уровень цикла снизился с 12.5±1.3 мкВ до 8.9 мкВ, точность выделения пиков повысилась на 42%. Алгоритм устранил высокочастотные помехи и артефакты (включая пульс), улучшив достоверность данных. Важным аспектом работы стала адаптация комбинированного подхода, объединяющего методы временного анализа и адаптивной фильтрации. Это обеспечило селективное подавление шумов без потери значимых физиологических данных, что особенно актуально для исследований жевательной мускулатуры, где даже незначительные искажения могут привести к ошибочным диагностическим выводам. Сравнение с существующими методиками [1,3] подчеркивает преимущества предложенного решения в контексте клинической практики, где точность интерпретации ЭМГ-сигналов напрямую влияет на выявление нейромышечных патологий.

Перспективы исследования связаны с внедрением алгоритма в системы реального времени, что позволит использовать его в интраоперационном мониторинге или биоуправляемых интерфейсах. Дополнительная оптимизация может включать машинное обучение для автоматической классификации артефактов, а также интеграцию с мультимодальными платформами, сочетающими ЭМГ с визуализацией ВНЧС. Однако следует учитывать ограничения, такие как зависимость эффективности фильтрации от качества исходного сигнала и необходимость валидации на более крупных выборках. Решение этих задач откроет новые возможности для персонализированной реабилитации и ранней диагностики дисфункций жевательного аппарата. Так же данная методика будет подходить и для диагностики других суставов, как коленный, локтевой, выявляя дисфункции уже в них.

Список литературы

1. *Методы обработки биомедицинских сигналов / А.Д. Чан, М.С. Лай // IEEE Trans. Biomed. Eng. — 2021. — Vol. 68. — P. 112–120.*
2. *Электромиография в клинической практике / Р. Мерлетти, П. Паркер. — М.: Техносфера, 2020. — 304 с.*
3. *Цифровая фильтрация ЭМГ-сигналов / В.В. Чевела [и др.] // Биомед. радиоэлектроника. — 2023. — № 4. — С. 45–52.*

UDC 612.741.16: 616.742.7

METHOD OF SYNCHRONOUS REGISTRATION AND FILTERING OF ELECTROMYOGRAMS OF MAXILLOFACIAL MUSCLES AND SOUND SIGNALS DURING MOVEMENT OF THE TEMPOROMANDIBULAR JOINT

Pankevich R.I.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Samuilov I.V. – assistant of the department of ETT

Annotation. The paper presents a technique for synchronous recording of electromyograms (EMG) of masticatory muscles and audio signals of the temporomandibular joint (TMJ) using marker pulses. The stages of filtering ECG artifacts from EMG signals with a Butterworth bandpass filter (20–450 Hz) and analysis of peak muscle activity are described. The results confirmed the efficiency of synchronization (error ≤0.05 s) and a reduction in the noise level by 78%. The technique is recommended for clinical diagnostics of TMJ dysfunctions.

Keywords: temporomandibular joint, masticatory muscles, electromyography.