



УДК 616-009.5; 004.934

Рушкевич Ю.Н.¹, Меженная М.М.², Забродец Г.В.¹, Куль Т.П.², Лихачев С.А.¹, Осипов А.Н.², Борискевич А.А.²

¹ Республиканский научно-практический центр неврологии и нейрохирургии, Минск, Беларусь

² Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь

Rushkevich Yu.¹, Mezhennaya M.², Zabrodzets G.¹, Kul T.², Likhachev S.¹, Osipov A.², Boriskevich A.²

¹ Republican Research and Clinical Centre of Neurology and Neurosurgery, Minsk, Belarus

² Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus

Клинический опыт применения частотно-временного анализа речевых сигналов в диагностике и мониторинге бульбарной дисфункции

Clinical experience of speech signal time-frequency analysis
in the diagnostics and monitoring of bulbar dysfunction

Резюме

Предложен метод качественной и количественной оценки признаков бульбарных нарушений на основе частотно-временного анализа речевых сигналов. Для реализации данного метода авторами разработано программное обеспечение с графическим интерфейсом, которое позволяет повысить точность и скорость постановки диагноза. Клиническая апробация метода доказала его эффективность в диагностике и мониторинге бульбарной дисфункции.

Ключевые слова: речевой сигнал, бульбарный синдром, бульбарные нарушения частотно-временной анализ, цифровая обработка сигналов, транскраниальная магнитная стимуляция.

Abstract

The method of qualitative and quantitative differential diagnosis of bulbar palsy has been offered on the basis of time-frequency analysis of speech signals. The software with the graphic user interface has been developed by authors for implementation of this method which allows increasing the accuracy and speed of diagnosis. Clinical approbation of the method has proved its efficiency in diagnostics and monitoring of bulbar dysfunction.

Keywords: speech signal, bulbar syndrome, bulbar palsy, time-frequency analysis, digital signal processing, transcranial magnetic stimulation.

■ ВВЕДЕНИЕ

Бульбарные нарушения представляют собой симптомокомплекс, который включает в себя изменение звучности голоса (дисфонию), затруднения при глотании – дисфагию и замедленность речи, нарушение артикуляции – дизартрию, т. е. симптомы, связанные с нарушением функционирования мускулатуры языка, глотки, гортани и мягкого неба. Причинами бульбарных нарушений является непосредственное поражение ядер языкоглоточного, блуждающего и подъязычного черепных нервов, расположенных в каудальных отделах ствола головного мозга (бульбарный синдром), а также поражение проводящих кортико-ядерных путей, при котором развивается псевдобульбарный синдром. Одной из частых причин развития описанных нарушений является боковой амиотрофический склероз (БАС). БАС – нейродегенеративное быстро прогрессирующее заболевание, характеризующееся развитием амиотрофий, мышечной слабости скелетной, дыхательной и бульбарной мускулатур [1–3]. В связи с отсутствием эффективного лечения заболевания в литературе рассматриваются различные подходы, замедляющие выраженность перекисного окисления липидов, снижающие эксайтотоксичность и уровень глутамата, стимулирующие процессы нейропластичности [1–3].

Методы неинвазивной стимуляции мозга с помощью транскраниальной магнитной стимуляции (ТМС) считаются относительно безопасными при применении параметров с доказанной безопасностью для пациента, что особенно важно для ритмической (р) ТМС, так как это может вызвать судороги при слишком высокой интенсивности или частоте [4–8]. Наиболее оптимальным с позиции безопасности, эффективности воздействия и удобства применения является рТМС, обладающая способностью модулировать возбудимость целевой области коры в месте стимуляции в зависимости от конкретных параметров стимуляции. Терапевтические успехи были связаны с повышением кортикоспинальной возбудимости и снижением интракортикального торможения в двигательной коре пораженного полушария. Предполагалось также, что основным механизмом являлась модуляция глутаматергической и ГАМКергической нейротрансмиссии [4, 6].

До настоящего времени сохраняются определенные сложности при постановке диагноза пациенту с бульбарными нарушениями. Это связано с субъективностью оценки и опытом врача, который ведет пациента. Для проведения объективной диагностики бульбарных нарушений предлагается использовать методы цифровой обработки речевых сигналов, а именно частотно-временной анализ [9].

Методика регистрации и обработки речевых сигналов

Исследование речевых сигналов выполнено в группе пациентов с бульбарным синдромом при БАС на базе РНПЦ неврологии и нейрохирургии (12 человек), а также в группе здоровых лиц на базе Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники (30 человек). В группе пациентов с БАС, а также в контрольной группе здоровых лиц зарегистрированы тестовые речевые сигналы.

Для идентификации патологических изменений речи при бульбарном синдроме, выражающихся в гнусавости, замедленности, быстрой



утомляемости, использовался тест на основе счета от одного до десяти («раз», «два», «три», «четыре», «пять», «шесть», «семь», «восемь», «девять», «десять»). Тест выполнялся после предварительного словесного инструктажа испытуемых. Произношение цифр сопровождалось паузами для обеспечения возможности идентификации и анализа речевых фрагментов.

Регистрация речевых сигналов производилась посредством диктофона мобильного устройства. Последующая цифровая обработка речевых сигналов выполнялась в среде MatLab с помощью специально разработанного авторами статьи программного обеспечения с графическим интерфейсом [10]. Обработка включала следующие этапы:

1. Автоматическое выделение в зарегистрированном сигнале речевых фрагментов.
2. Подсчет количества выделенных речевых фрагментов.
3. Построение спектрограммы зарегистрированного сигнала.
4. Построение кепстрограмм для выделенных речевых фрагментов.
5. Определение с помощью кепстральной функции частоты основного тона для каждого речевого фрагмента.
6. Расчет средней величины частоты основного тона.
7. Расчет коэффициента вариации частоты основного тона.
8. Построение гистограммы для массива, представляющего собой результат «склейки» всех выделенных речевых фрагментов.
9. Вычисление средней амплитуды выделенных речевых фрагментов.
10. Вычисление общего времени всех выделенных речевых фрагментов.
11. Вычисление коэффициента асимметрии гистограммы.
12. Вычисление коэффициента эксцесса гистограммы.

Методика лечения бульбарной дисфункции

Для лечения пациентов с бульбарными нарушениями мы использовали аппарат «Нейро-МС» производства «Нейрософт» (г. Иваново, Российская Федерация). Аппарат позволяет работать в терапевтическом режиме рТМС и диагностическом с исследованием проводимости пирамидного тракта и возбудимости моторной коры.

В зависимости от выбранной частоты стимуляции рТМС подразделяется на низкочастотную и высокочастотную рТМС. Границей между ними является частота в 1 Гц. Данное подразделение обусловлено тем, что низко- и высокочастотная стимуляция взаимно противоположны по своему влиянию на кору головного мозга: низкочастотная стимуляция обладает ингибирующим действием, а высокочастотная стимуляция – активирующим. Побочные эффекты в виде судорожных приступов, по литературным данным, отмечаются довольно редко и в основном при использовании высокочастотной надпороговой стимуляции.

Пациентам, включенным в исследование, проводили диагностическую ТМС на том же аппарате, что и лечение («Нейро-МС»), с целью исследования проводимости пирамидного тракта и возбудимости моторной коры. Критериями исключения для проведения данного диагностического обследования являлись: негативное отношение к проведению ТМС, наличие имплантированных нейростимулирующих устройств, кардиостимулятора, инородных металлических тел в голове, эпилепсии и судорожного синдрома в анамнезе, хронических заболеваний

внутренних органов в стадии декомпенсации, злоупотребление алкоголем в период, предшествующий лечению, беременность.

С учетом отсутствия доказанной эффективности какого-либо протокола рТМС при БАС на основе крупных рандомизированных двойных слепых плацебо-контролируемых исследований в разработке протокола мы исходили из соображений сбалансированного подхода к потенциальной эффективности и безопасности. Для обеспечения преимущественно модулирующего влияния на моторные зоны головного мозга и предотвращения ярко выраженного как тормозного, так и стимулирующего воздействия нами использовался метод рТМС с широким воздействием на корковые моторные зоны головного мозга частотами 1–3 Гц. Первичное модулирующее воздействие выполнялось «кольцевым» индуктором с частотой 1 Гц с расположением переднего полукольца индуктора в проекции корковой области (точка С1-С2, С3/С4 по системе 10–20%) с напряженностью магнитного поля около 80% от двигательного порога в течение одной минуты. Магнитный индуктор центрировался по средней линии. Пациент во время сеанса находился в положении лежа на спине на кушетке. При отсутствии побочных реакций в последующие дни длительность частоты воздействия увеличивалась до 2–3 Гц, длительность воздействия – до 5 минут при прежней субпороговой напряженности магнитного поля. Курс лечения: 6–8 сеансов, ежедневно по 1 сеансу.

Результаты применения частотно-временного анализа речевых сигналов для диагностики бульбарного синдрома

Результаты обработки тестовых речевых сигналов (счет от одного до десяти) в норме и при бульбарном синдроме представлены на рис. 1, 2 соответственно.

Анализ полученных результатов выявил следующие закономерности.

В группе здоровых лиц (рис. 1) количество распознанных речевых фрагментов составляет 10–12, что соответствует количеству произносимых слов (10) или фонем («че-тыре», «во-семь»). На спектрограмме отчетливо выделяются равностоящие друг от друга речевые фрагменты, частота основного тона, а также формантные частоты. Кепстрограммы для распознанных речевых фрагментов также имеют характерные пики в области основного тона и кратных ему формантных частот. Коэффициент вариации основного тона невысокий (равен 7 на рис. 1), что свидетельствует о постоянстве данного параметра во время речи. Гистограмма речи характеризуется симметричностью (коэффициент асимметрии равен 0,58 на рис. 1) с четко выделенным пиковым значением (коэффициент эксцесса равен 12,39 на рис. 1).

В группе пациентов с бульбарным синдромом (рис. 2) количество распознанных речевых фрагментов, как правило, превышает количество произносимых слов (10). Это объясняется характерной для данной патологии невнятностью (гнусавостью) речи. Сигнал на спектрограмме не имеет четкой временной структуры в виде равноотстоящих речевых актов, а также не содержит высокочастотных составляющих, как у здоровых лиц. Значение частоты основного тона для отдельных речевых фрагментов не определяется вовсе. Показателен коэффициент

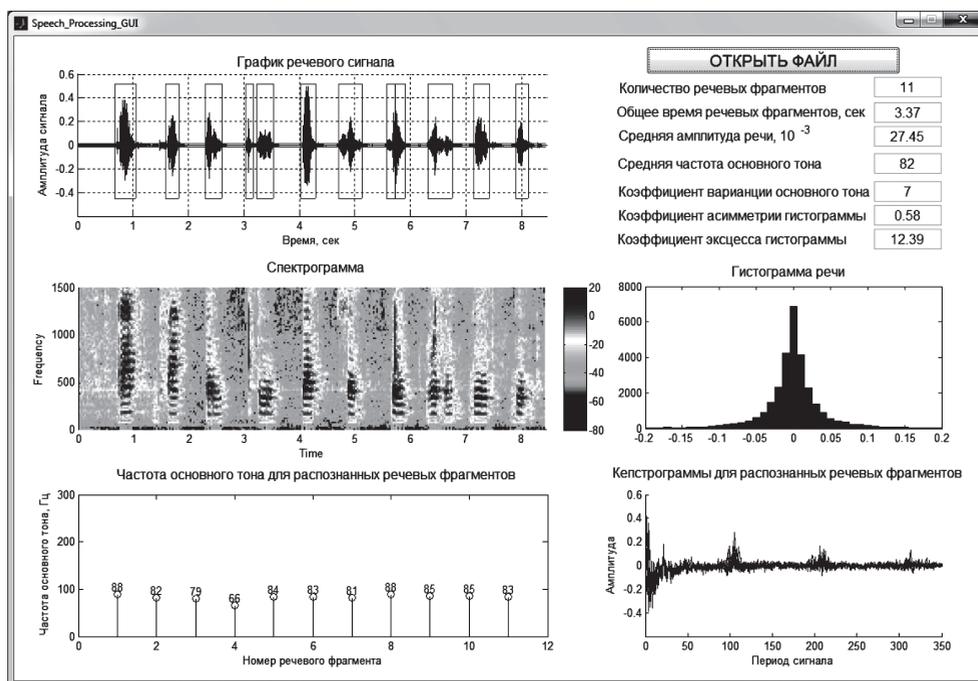


Рис. 1. Результаты обработки речевого сигнала в норме (испытуемый У), тест на основе счета от одного до десяти

вариации частоты основного тона (равен 32 на рис. 2), свидетельствующий о сильной степени рассеяния данного параметра относительно среднеарифметического значения. На кепстрограмме не имеют яркой выраженности формантные частоты. Гистограмма характеризуется плосковершинностью по сравнению с нормой (коэффициент эксцесса равен 5,04 на рис. 2).

Результаты применения частотно-временного анализа речевых сигналов для мониторинга процесса лечения бульбарного синдрома

Клинический случай. Пациентка К., 68 лет, поступила в РНПЦ неврологии и нейрохирургии с жалобами на нарушение речи, затруднения при глотании жидкой пищи, поперхивание, мышечные подергивания. Болея в течение года, когда отметила затруднения при разговоре в виде замедленности речи, сложности произношения согласных, длинных слов, изменение звучности голоса. Спустя 2 месяца от начала болезни присоединилось поперхивание и резко ухудшилась речь вплоть до анартрии, еще через 6 месяцев появилась слабость в правой руке. Лечилась стационарно по месту жительства в неврологическом отделении центральной районной больницы с диагнозом: инфаркт мозга в вертебро-базилярном бассейне артерий. Выполнено МРТ ГМ: МР-признаки хронического нарушения мозгового кровообращения. Состояние

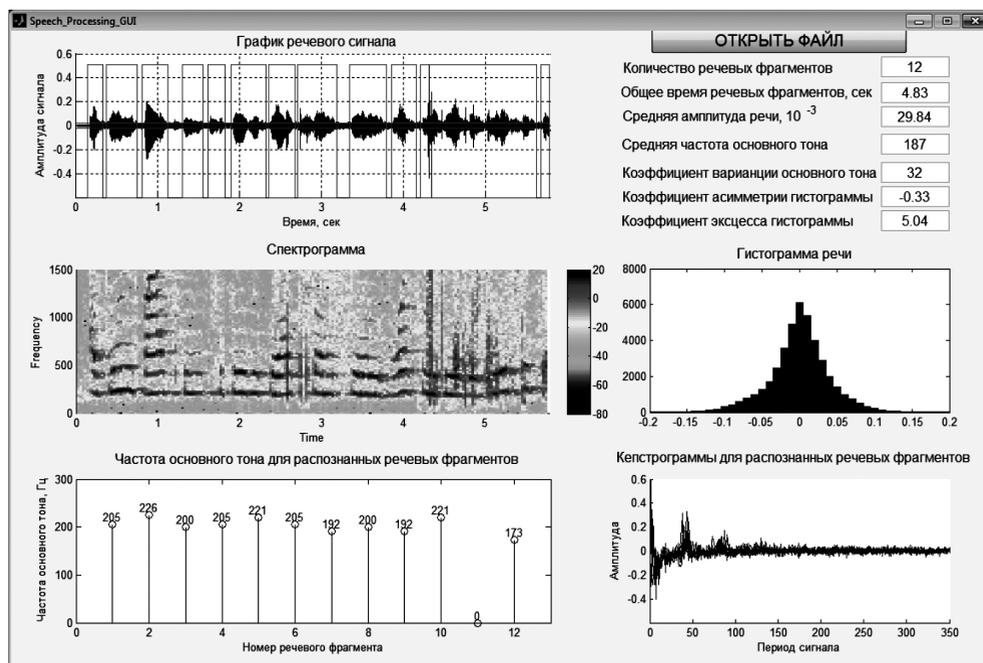


Рис. 2. Результаты обработки речевого сигнала при бульбарном синдроме (испытуемый 3.), тест на основе счета от одного до десяти

прогрессивно ухудшается. В анамнезе: артериальная гипертензия 3-й степени тяжести, риск 4. Эндопротезирование левого тазобедренного сустава.

Неврологический статус: сознание ясное, ориентирован верно. Черепные нервы: зрачки равновеликие, движения глазных яблок в полном объеме, носогубные складки симметричны. Слабость мимической мускулатуры до 4 баллов. Язык по средней линии с островковой гипотрофией, легкими фасцикуляциями. Глоточный рефлекс резко снижен. Оживлен нижнечелюстной рефлекс. Снижена фонация мягкого неба. Умеренная сиалорея. Выраженная дизартрия, дисфония, умеренная дисфагия. Сила в руках проксимально – 5 баллов, дистально в правой руке снижена до 4 баллов, в левой – до 5 баллов, в ногах – 5 баллов. Гипотрофия межпальцевых промежутков, тенара справа. Мышечный тонус не изменен. Сухожильно-периостальные рефлексy равновеликие, средней живости. Патологических знаков нет. Менингеальных знаков нет. Нарушений чувствительности не выявлено. Координаторные пробы выполняет удовлетворительно. В позе Ромберга устойчива.

Проведено обследование. УЗИ мышц: генерализованные фасцикуляции. Отоневролог: выраженный бульбарный синдром. Электронейромиография: заинтересованность переднероговых структур. Компьютерная томография органов грудной клетки: данных за объемный процесс в легких не выявлено. Биохимический анализ крови, общий анализ

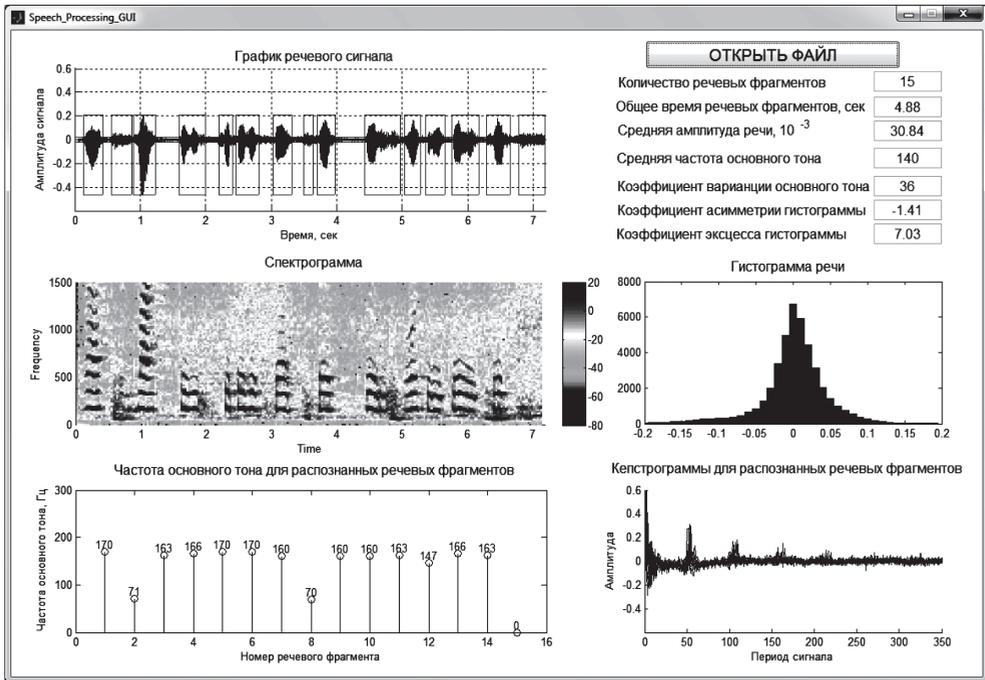


Рис. 3. Результаты обработки речевого сигнала до лечения бульбарного синдрома (пациент К.), тест на основе счета от одного до десяти

мочи и крови: без патологии. Анализ спинно-мозговой жидкости: белок 0,34 г/л, глюкоза 3,85, цитоз 10/3.

На основании жалоб, анамнеза, клинической картины, данных инструментально-лабораторных методов исследования выставлен клинический диагноз: боковой амиотрофический склероз, бульбарный дебют, выраженный бульбарный синдром, сialорея, легкий дистальный парез правой руки.

После подписания информированного согласия пациентке был проведен курс лечебной ТМС по описанной выше методике. После курса рТМС пациентка отметила положительную динамику состояния в виде улучшения выговаривания слов, легче стала глотать жидкость, уменьшилось количество поперхиваний.

Результаты обработки тестовых речевых сигналов (счет от одного до десяти) при бульбарном синдроме до лечения и после курса транскраниальной магнитной стимуляции пациентки К. представлены на рис. 3, 4 соответственно.

Анализ полученных результатов выявил следующие закономерности. До лечения бульбарного синдрома (рис. 3) количество распознанных речевых фрагментов превышает количество произносимых фонем. Это объясняется характерной для данной патологии невнятностью (гнусавостью) речи. Сигнал на спектрограмме не имеет четкой временной структуры в виде равноотстоящих речевых актов, как у здоровых лиц.

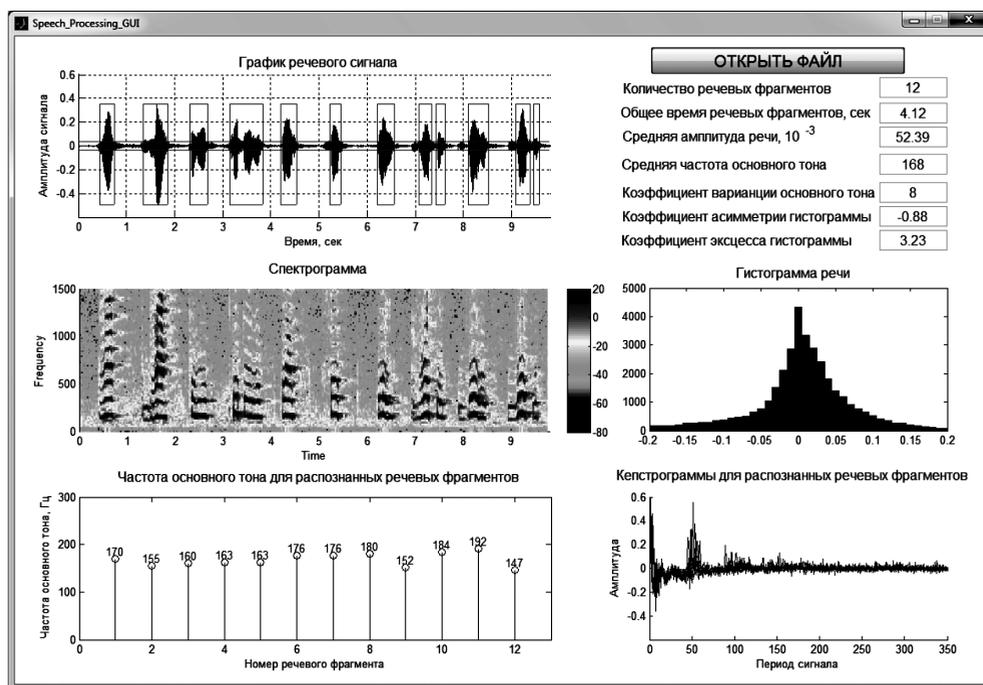


Рис. 4. Результаты обработки речевого сигнала после лечения бульбарного синдрома (пациент К.), тест на основе счета от одного до десяти

Значение частоты основного тона для ряда речевых фрагментов фактически невозможно определить. Показателен коэффициент вариации частоты основного тона (равен 36 на рис. 3), свидетельствующий о сильной степени рассеяния данного параметра относительно среднеарифметического значения. Гистограмма характеризуется левосторонней асимметрией (коэффициент асимметрии равен $-1,41$ на рис. 3).

После лечения бульбарного синдрома (рис. 4) количество распознанных речевых фрагментов соответствует количеству произносимых фонем («че-тыре», «во-семь»). На спектрограмме речевые фрагменты приобрели характерные для нормы четкие очертания; выделяются паузы, как в группе здоровых лиц. Характерные для основного тона и формантных частот пики демонстрируют кепстрограммы. Вариабельность частоты основного тона соответствует показателям в норме (равна 8 на рис. 4). Степень асимметричности гистограммы снижается (коэффициент асимметрии равен $-0,88$ на рис. 4).

■ ОБСУЖДЕНИЕ

Для оценки эффективности использования на практике разработанная нами методика частотно-временного анализа речевых сигналов была применена именно у пациентов с БАС с бульбарным синдромом, так как для данной патологии характерна относительно быстрая



прогрессия симптомов. При этом также появилась возможность объективизации эффективности использования рТМС с терапевтической целью при БАС.

В настоящее время существует ряд прямых доказательств того, что стимуляция коры у пациентов может модулировать ее возбудимость [4, 6]. С целью оценки эффективности ТМС при двигательных расстройствах неврологического характера были проведены несколько крупных исследований [4–8]. Было показано, что пациенты, получающие ТМС, имеют на 10–30% лучшее восстановление моторных функций по сравнению с контрольными группами, получающими плацебо-стимуляцию (уровень доказанности – С). Тем не менее вопрос о протоколах использования рТМС все еще требует дальнейшего изучения. Рациональность использования рТМС в терапевтических целях при БАС основана на гипотезе возможности снижения возбудимости моторных корковых зон и таким образом косвенно антагонистически влиять на эксайтотоксичность вследствие увеличения глутаматергической нейротрансмиссии в кортикоспинальной системе [5, 7, 8]. Также использование рТМС обусловлено возможностью модулирования плазменного уровня нейротрофического фактора BDNF и потенциально нейропротекторным эффектом, доказанным в экспериментальном исследовании у животных при использовании высокочастотной рТМС в течение 2–5 дней перед окклюзией каротидной артерии.

Клинические исследования эффективности рТМС у пациентов с БАС немногочисленны и результаты могут быть противоречивыми из-за различий в протоколах рТМС. Так Fioravante Capone et al. (2008) провели проспективное рандомизированное исследование 20 пациентов с БАС. В основной группе рТМС выполнялась в режиме управляемых импульсных параметров в течение 5 последовательных дней каждые 6 месяцев, в контрольной группе использовалась плацебо-стимуляция корковых моторных зон. Исследование было завершено у 15 пациентов (7 из основной группы, 8 из контрольной). Анализ динамики баллов функциональной шкалы БАС (ALSFRS-R) показал умеренное, но достоверно значимое замедление прогрессирования заболевания. Результаты данного пилотного исследования позволили расценивать рТМС в качестве перспективного метода для дальнейших проектов [7]. L. Florio и соавторы (2011) провели наблюдение за двумя пациентами с БАС, получающими ежемесячно курсы рТМС и хроническую эпидуральную кортикальную моторную стимуляцию, которое продолжалось в течение 2 лет. Оценивалась динамика ALSFRS-R до и во время периода лечения. За период наблюдения побочных явлений не выявлено, лечение переносилось хорошо. Скорость прогрессирования заболевания составляла 1,0 балл в месяц по шкале ALSFRS-R до начала лечения. На первом году лечения с помощью рТМС отмечилось замедление темпов прогрессирования до 0,2 баллов в месяц и в последующие 14 месяцев – до 0,6 баллов в месяц [8]. Так, Di Lazzaro и соавторы (2009) провели двойное слепое плацебо-контролируемое исследование у 20 пациентов с БАС. Использовалась рТМС (в режиме управляемых импульсных параметров) в основной группе в течение 5 дней каждый месяц на протяжении года исследования [5, 6]. В итоге статистически значимых различий

по ALSFRS-R не выявлено: снижение от $32,0 \pm 7,1$ до $23,1 \pm 6,3$ к концу 12-го месяца у пациентов основной группы в сравнении с контрольной группой (снижение с $31,3 \pm 6,9$ до $21,2 \pm 6,0$). Тем не менее в работе Zanette и соавторов (2008) при пилотном контролируемом исследовании у 10 пациентов с БАС выявлено доказанное улучшение моторных функций и качества жизни в сравнении с контрольной группой пациентов БАС. При лечении основной группы использовалась 5 Гц рТМС в течение 14 дней. Однако эффект был транзиторный и нивелировался через 2 недели динамического наблюдения групп пациентов после окончания лечения [5, 6].

Полученные нами и другими авторами результаты подчеркивают необходимость проведения дальнейших исследований для решения вопросов эффективности и безопасности использования данного вида лечения у пациентов с дегенеративными заболеваниями.

■ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен метод качественной и количественной оценки признаков бульбарных нарушений на основе частотно-временного анализа речевых сигналов. Для реализации данного метода авторами разработано программное обеспечение с графическим интерфейсом, которое позволяет повысить точность и скорость постановки диагноза.

Проведена апробация разработанного метода цифровой обработки речевых сигналов у здоровых испытуемых и в клинических условиях у пациентов с признаками бульбарного синдрома. Установлено, что речевые сигналы пациентов с бульбарным синдромом содержат число вокализованных фрагментов, превышающее количество произносимых слов (из-за невнятности речи); сигнал на спектрограмме не имеет четкой временной структуры в виде равноотстоящих речевых актов, как у здоровых лиц; значение частот основного тона для ряда речевых фрагментов не входит в стандартные диапазоны 70–450 Гц или не определяется вовсе; наблюдается высокая степень рассеяния значений частоты основного тона; гистограмма речи плосковершинная и асимметричная.

Для лечения бульбарной дисфункции применен перспективный, однако требующий дополнительной доказательной базы метод ритмической транскраниальной магнитной стимуляции. Установлено, что речевые сигналы пациентов с бульбарным синдромом после курса лечения посредством транскраниальной магнитной стимуляции характеризуются снижением вариабельности частоты основного тона, а также степени асимметричности гистограммы речи. На спектрограмме речевые фрагменты приобретают четкие очертания; выделяются паузы, характерные для основного тона и формантных частот пики демонстрируют кепстрограммы. Полученные после лечения результаты частотно-временной обработки речевых сигналов согласуются с данными в норме, что свидетельствует об эффективности предложенного для лечения бульбарной дисфункции метода транскраниальной магнитной стимуляции.

На основании вышеизложенного следует подчеркнуть целесообразность применения частотно-временного анализа речевых сигналов для диагностики и контроля эффективности проводимого лечения неврологических заболеваний, сопровождающихся нарушениями речевой функции.



■ ЛИТЕРАТУРА

1. Zavalishin I. (2009) *Bokovoy amiotroficheskiy skleroz [Amyotrophic lateral sclerosis]*. Moscow: GEOTAR-Media. (in Russian).
2. Andersen P., Abrahams S., Borasio G., de Carvalho M., Chio A., Van Damme P., Hardiman O., Kollewe K., Morrison K., Petri S., Pradat P., Silani V., Tomik B., Wasner M., Weber M. (2012) EFNS guidelines on the clinical management of amyotrophic lateral sclerosis -revised report of an EFNS task force. *Eur J Neurol*, vol. 19, no 3, pp. 360–375.
3. Miller R., Jackson C., Kasarskis E., England J., Forshew D., Johnston W., Kalra S., Katz J., Mitsumoto H., Rosenfeld J., Shoosmith C., Strong M., Woolley S. (2009) Practice parameter update: the care of the patient with amyotrophic lateral sclerosis: drug, nutritional, and respiratory therapies (an evidence-based review): report of the Quality Standards Subcommittee of the American Academy of Neurology. *Neurology*, vol. 3, no 15, pp. 1218–1226.
4. Di Lazzaro V., Pilato F., Dileone M., Profice P., Oliviero A., Mazzone P., Insola A., Ranieri F., Tonali P.A., Rothwell J.C. (2008) Low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation suppresses specific excitatory circuits in the human motor cortex. *J Physiol*, vol. 586, pp. 4481–4487.
5. Di Lazzaro V., Pilato F., Profice P., Ranieri F., Musumeci G., Florio L., Beghi E., Frisullo G., Capone F., Sabatelli M., T. T. A. (2009) Motor cortex stimulation for ALS: a double blind placebo-controlled study. *Neurosci Lett*, vol. 464, pp. 18–21.
6. Di Lazzaro V., Ziemann U., Lemon R.N. (2008) State of the art: physiology of transcranial motor cortex stimulation. *Brain Stimul*, vol. 1, pp. 345–362.
7. Capone F., Dileone M., Pilato F., Profice P., Ranieri F., Musumeci G., Angelucci F., Sabatelli M. (2008) Repetitive transcranial magnetic stimulation for ALS. A preliminary controlled study. *Clinical Neurophysiology*, vol. 119, pp. 90.
8. Florio L., Dileone M., Pilato F., Profice P., Ranieri F., Musumeci G., Cioni B., Meglio M., Papacci F., Sabatelli M., Di Lazzaro V. (2011) PTMS18 Amyotrophic lateral sclerosis: effects of prolonged motor cortex stimulation. *Clinical Neurophysiology*, vol. 122, pp. 186.
9. Raygayyan R.M. (2007) *Analiz biomeditsinskih signalov. Prakticheskiy podhod [Biomechanical signals analysis. Practical approach]*. Moscow: FIZMATLIT. (in Russian)
10. Osipov A., Likchachev S., Rushkevich Y., Mezhennaya M., Boriskevich A., Kul T. (2017) *Tsifrovaya obrabotka rechevyykh signalov v diagnostike bulbarnykh narusheniy [Digital processing of speech signals in the diagnosis of bulbar disorders]*. Materials of the 3th International Scientific and Practical Conference "BIG DATA Advanced Analytics. Optimising Business and IT". Minsk: BGUIR, pp. 312–318.

Поступила/Received: 07.08.2017

Контакты/Contacts: rushkevich@tut.by