



¹ Поволжский
государственный
университет
телекоммуникаций
и информатики,
Самара

² Самарский
государственный
медицинский
университет

Технические проблемы при автоматическом анализе полисомнограммы и способы их устранения

О.И. Антипов¹, А.В. Захаров²

Адрес для переписки: Александр Владимирович Захаров, zakharov1977@mail.ru

В статье приводятся различные виды артефактов, с которыми можно столкнуться в процессе полисомнографии. Рассмотрены особенности регистрации полисомнографических показателей для последующей обработки их фрактальными методами с целью построения гипнограммы. Предложены способы устранения или уменьшения влияния известных видов артефактов путем применения фрактальных методов автоматического распознавания стадий сна.

Ключевые слова: сон, фрактальный метод, электроэнцефалограмма, полисомнография, гипнограмма

Одна из проблем, с которой приходится сталкиваться в клинической электроэнцефалографии, – это так называемые артефакты [1]. Под артефактами понимают наличие в электроэнцефалографических сигналах составляющих, происхождение которых не связано с электрической активностью головного мозга. В статье речь пойдет не об известных методах устранения или уменьшения влияния артефак-

тов, а о возможностях применения с этой целью фрактальных методов распознавания стадий сна. Будут рассмотрены выбор и особенности применения конкретного фрактального метода, каналов для анализа, а также частотных диапазонов для фильтрации в зависимости от типа артефакта.

Использовать фрактальные методы детерминированного хаоса для анализа работы головного мозга человека впервые пред-

ложил основатель синергетики Г. Хакен [2]. Авторская методика, основанная на фрактальном анализе неравновесных технических систем, была удачно перенесена в нейросетевой анализ [3] и далее на короткие нестационарные ряды в экономике. После успешной реализации фрактального анализа электрогастроэнтерограммы на предмет диагностирования расстройств желудочно-кишечного тракта [4, 5] метод был применен непосредственно для анализа функциональной активности головного мозга. Точнее, было выполнено дифференцирование стадий сна с построением гипнограммы для последующего диагностирования соответствующих неврологических расстройств [6, 7]. Далее приведем классификацию артефактов по Л.Р. Зенкову [1], предлагая возможности их устранения путем применения фрактальных методов. *Потенциалы электромиограммы* – высокочастотная актив-



ность заостренной формы, нерегулярная по частоте, лежащая в диапазоне 15–100 Гц [1]. Следует уточнить, что 15–100 Гц – это действительно высокочастотная активность. Пик ее мощности доминирует в частотах выше самой высокочастотной активности головного мозга. Существует два пути устранения этого артефакта путем применения фрактальной методики. Во-первых, необходимо учесть, что данные наводки создаются в большей степени активностью шейных и жевательных мышц и в меньшей – мимических. По этой причине следует брать сигналы отведений, максимально от них удаленных, то есть центральных и теменных отведений (точки С и Р по международной системе «10–20»). Во-вторых, для сигнала предлагается использовать цифровой фильтр, построенный на методике быстрого преобразования Фурье. Это позволит отсеять частоты выше 40 Гц, поскольку пик электромиографической активности приходится на область 70 Гц для сигнала с верхней частотой в 100 Гц. Именно такие сигналы с периодичностью дискретизации в 200 раз в секунду оптимальны для применения к ним фрактальных методов распознавания стадий сна. На наш взгляд, такую верхнюю границу ЭЭГ-сигнала можно обосновать тем, что более высокочастотная активность головного мозга фиксируется не у всех людей, даже преклонного возраста. Кроме того, на полисомнографии состояния расслабленного и активного бодрствования не дифференцируются, что и позволяет ограничиться верхней частотой бета-диапазона.

Потенциалы электрокардиограммы. Возникают, как правило, в референтных электродах и обладают характерной формой электрокардиограммы [1]. Это связано с тем, что пары электродов, с которых снимается сигнал, не равноудалены от источника их возникновения – сердца.

Данные помехи, будучи квазипериодическими, меньше влияют на фрактальные методы, чем на спектральный анализ.

Потенциалы электроокулограммы (ЭОГ). Связаны с движением глазных яблок и соответственно с изменением ориентации электрической оси глаза, определяемой корнеоретинальным потенциалом [1]. Максимальная амплитуда данных сигналов наблюдается в лобных отведениях. Чаще всего они имеют форму моно- или двухфазных позитивных или позитивно-негативных колебаний с периодом 0,3–1 с. Иногда при произвольном треморе век частота ЭОГ смещается в область 4–6 Гц, из-за чего сигналы воспринимаются как тета- и дельта-волны. Следует отметить, что для полисомнографических целей ЭОГ регистрируется отдельно от ЭЭГ-каналов путем наложения электродов в непосредственной близости от глаз. Это позволяет видеть чистые ЭОГ-потенциалы и оценивать их влияние на ЭЭГ при визуальном диагностировании. Однако для автоматического распознавания этот метод бесполезен. Частично эта проблема решается путем отфильтровывания частот ниже 0,5 Гц, что позволяет избавиться от высокоамплитудных скачков на ЭЭГ, связанных с движением глазных яблок. Однако для того чтобы максимально уменьшить влияние данных помех на автоматическое распознавание, необходимо выбирать отведения, отдаленные от лобной части.

Электрические потенциалы, сопровождающие глотательные движения. Представлены высокоамплитудными двух- и полифазными медленными волнами с периодом 0,5–2 с, обычно распространяющимися при монополярном отведении по всем каналам [1]. Согласно нашей методике, весь период сна следует поддерживать длительности одной эпохи, равной 30 с. Тогда влияние таких артефактов окажется достаточно кратковременным (одна-две эпохи) и выход из

текущей стадии сна, если он возникнет при автоматическом распознавании, согласно современным критериям, засчитан не будет.

Сетевые помехи – следствие электромагнитных наводок на систему «пациент – электроды – проводники». Такие помехи в любых случаях устраняются одинаково – путем уменьшения импеданса до необходимого уровня, для чего проводятся стандартные процедуры по подготовке кожных покровов пациента и применяется узкополосная фильтрация в области частот городской осветительной сети – так называемая notch-фильтрация. В нашей практике в большинстве случаев достаточно исключить зону 47–53 Гц путем цифровой фильтрации с помощью быстрого преобразования Фурье, чтобы полностью избавиться от этих помех.

Электрические потенциалы, связанные с изменением состояния кожных покровов. В основном обусловлены разницей потенциалов между поверхностными и глубокими слоями кожи, активностью потовых желез, колебаниями кровообращения в коже и, как следствие, изменением ее сопротивления. Поскольку периодичность их возникновения составляет 1–5 с, то частично от них можно избавиться путем отфильтровывания частот ниже 0,5 Гц. Дальнейшее смещение нижней полосы пропускания фильтра в сторону дельта-диапазона приведет к заметному искажению интерпретации стадии сна, поэтому такие помехи, если они возникают, вызывают наиболее серьезные затруднения.

Артефактные потенциалы, имеющие форму пульсограммы. Совпадают с частотой сердечных сокращений. По нашему опыту, данные «пульсограммные» потенциалы вместе с электрическими потенциалами, связанными с изменением состояния кожных покровов под воздействием сетевых наводок, создают весьма широкополосные помехи, пики которых приходятся на



частоту сердечных сокращений и сетевые помехи. Данные эффекты возникают в основном из-за пульсации крови в кожных покровах головы, поэтому для фрактального расчета необходимо отказаться от установки отведения на височных областях, где пульсация кровеносных сосудов максимальна. Если пульсация появилась при установке электрода на центральные и теменные отведения, необходимо сместить электрод вдоль сагиттальной линии (поскольку кровеносные сосуды располагаются вертикально) [8].

Суммируя вышеописанные причины возникновения помех при проведении стандартной полисомнографии, можно сформу-

лировать некоторые ключевые рекомендации по применению фрактальных методов детерминированного хаоса к расчету стадий сна при полисомнографии:

- использовать отведения, близкие к сагиттальной линии в районе теменных и центральных точек;
- для ЭЭГ-сигналов проводить цифровую фильтрацию с помощью быстрого преобразования Фурье и выделять сигнал в частотном диапазоне от 0,5 до 40 Гц;
- отсеивать явно артефактные отклонения при статистической обработке результатов фрактальных расчетов;
- брать длительность эпохи, равную 20–30 с, для нивелиро-

вания кратковременных выходов из стадии, которые могут быть связаны с артефактами различного происхождения.

Эти фрактальные методы и алгоритмы реализованы в программно-аппаратном комплексе. На аппаратную часть комплекса имеются права на интеллектуальную собственность [9]. На его программную часть получено свидетельство о государственной регистрации [10]. Перспективы фрактальных методов оценки полисомнограммы связывают с уменьшением затрат при проведении полисомнографических исследований и повышением доступности метода для использования в практической медицине. *

Литература

1. Зенков Л.Р. Клиническая электроэнцефалография с элементами эпилептологии. М.: МЕДпресс-информ, 2004.
2. Хакен Г. Принципы работы головного мозга: Синергетический подход к активности мозга, поведению и когнитивной деятельности. М.: ПЕР СЭ, 2001.
3. Антипов О.И., Неганов В.А. Прогнозирование и фрактальный анализ хаотических процессов дискретно-нелинейных процессов с помощью нейронных сетей // Доклады Академии наук. 2011. Т. 436. № 1. С. 34–37.
4. Антипов О.И., Нагорная М.Ю. Фрактальный анализ электрогастроэнтерографического сигнала // Биомедицинская радиоэлектроника. 2010. № 10. С. 40–44.
5. Антипов О.И., Нагорная М.Ю. Показатель Херста биоэлектрических сигналов // Инфокоммуникационные технологии. 2011. № 1. С. 75–77.
6. Антипов О.И., Захаров В.А., Неганов В.А. Особенности применения фрактальных мер детерминированного хаоса к автоматизированному распознаванию стадий сна при полисомнографии // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2012. Т. 15. № 3. С. 101–109.
7. Антипов О.И., Захаров В.А., Повереннова И.Е. и др. Возможности различных методов автоматического распознавания стадий сна // Саратовский научно-медицинский журнал. 2012. Т. 8. № 2. Приложение (Нервные болезни) С. 374–379.
8. Мухин А.Ю., Петрухин А.С., Глухова Л.Ю. Эпилепсия. Атлас электро-клинической диагностики. М.: Альварес Паблишинг, 2004.
9. Антипов О.И., Захаров А.В., Неганов В.А. Устройство для выявления стадий сна при полисомнографии: Патент № 122271 от 27 ноября 2012 г.
10. Антипов О.И., Повереннова И.Е., Неганов В.А., Захаров А.В. Программа автоматического распознавания стадий сна: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012614865 от 31 мая 2012 г.

Technical Problems Occurring during Automatic Sleep Analysis and Way of Its Correction

O.I. Antipov¹, A.V. Zakharov²

¹ Volga State University of Telecommunications and Informatics, Samara

² Samara State Medical University

Contact person: Aleksandr Vladimirovich Zakharov, zakharov1977@mail.ru

Authors describes different artifacts arising during polysomnographic study. The peculiarities of registration of different polysomnography measures for following processing with the fractal methods for the construction of hypnogram are discussed. The ways for the elimination or reduction of known artefacts based on the fractal transformation method of sleep staging are proposed.

Key words: sleep, fractal method, electroencephalography, polysomnography, hypnogram