

Исследование диагностической информативности биорадиолокационной пневмографии в бесконтактном скрининге синдрома апноэ во сне

Аннотация

Проведен анализ диагностической информативности биорадиолокационного мониторинга в бесконтактном скрининге синдрома апноэ во сне по сравнению с полной стандартной полисомнографией. Исследовано качество диагностики биорадиолокационной сомнографии на основе расчета оценок чувствительности и прогностической ценности положительного решения о наличии эпизодов нарушений дыхания во сне (обструктивное апноэ, центральное апноэ, гипопноэ). Полученные результаты следует считать удовлетворительными, так как для каждого испытуемого оценка индекса апноэ-гипопноэ попала в один и тот же диапазон пороговых значений определения степени тяжести синдрома апноэ во сне по сравнению со стандартным полисомнографическим исследованием.

Приоритетным направлением медицины сна является изучение нарушений дыхания во сне (НДВС), характерных для многих заболеваний, одним из которых является синдром обструктивного апноэ во сне (СОАС) [1]. Общепризнанным стандартом исследования в этой области является полисомнография (ПСГ), при которой осуществляется длительная регистрация комплекса функций организма [2]. Однако проведение такой процедуры является трудоемким и дорогостоящим. При этом результаты ПСГ дают информативную картину нарушений сна, но требуют применения более 40 контактных датчиков и сенсоров [3]. Последнее обстоятельство негативно влияет на качество сна обследуемого, снижая диагностическую значимость ПСГ, обуславливая необходимость применения новых бесконтактных методов [4]. Одним из таких методов является биорадиолокация (БРЛ), позволяющая проводить дистанционный мониторинг состояния живых объектов (в том числе и за оптически непрозрачными препятствиями) по результатам анализа специфической биометрической модуляции БРЛ-сигнала перемещениями органов и частей тела человека [5]. При этом наибольший вклад в формирование БРЛ-сигнала в процессе дыхания вносят поступательно-возвратные движения поверхности областей живота и грудной клетки [6].

Для внедрения дистанционных методов регистрации параметров внешнего дыхания в клиническую практику необходима их верификация со стандартными методами [3]. Проведенные ранее исследования позволили сделать вывод о линейной взаимосвязи между сигналами БРЛ-системы и абдоминального поясного датчика респираторного плетизмографа для разных типов дыхания испытуемых как во временной, так и в частотной областях, что свидетельствует о корректности использования метода БРЛ в бесконтактном мониторинге параметров дыхательной активности [7]. Целью работы является исследование информативности БРЛ-пневмографии в бесконтактной скрининговой диагностике СОАС по сравнению со стандартной полной ПСГ.

Эксперимент

Проведение эксперимента. Исследования проводились на базе сомнологической лаборатории НИО артериальной гипертензии Федерального Центра сердца, крови и эндокринологии им. В.А. Алмазова. В экспериментах приняли участие 7 добровольцев в возрасте от 43 до 62 лет, с индексом массы тела от 21,6 до 57,7 единиц, со следующей тяжестью СОАС по индексу апноэ-гипопноэ (ИАГ): тяжелая – 4 испытуемых; средняя – 1 испытуемый; легкая – 1 испытуемый; практически здоров – 1 испытуемый. Во время проведения исследований угол наклона антенного блока БРЛ-системы и расстояние до специально подготовленной кушетки, на которой располагались испытуемые, фиксировались для обеспечения идентичных условий регистрации данных БРЛ-пневмографии (рис. 1).

Начало записей сигналов БРЛ и ПСГ осуществлялось в вечерние часы в период с 19:00 до 21:00, а окончание – в утренние часы в период с 7:00 до 9:00. При этом общее время сна (ОВС) составляло от 5,3 до 9,9 часов. Каждый раз предвари-

тельно выполнялась процедура калибровки ПСГ системы для анализа возможных артефактов записи, обусловленных движением и дыханием обследуемого. По командам врача испытуемый выполнял следующие действия: перевороты и изменение положения на кушетке; имитацию отдельно грудного и брюшного дыхания; задержку дыхания; движения глазных яблок; движения конечностей. Параллельно записывались и БРЛ-сигналы. Внутренние часы блоков управления ПСГ- и БРЛ-систем синхронизировались для возможности последующей верификации массива данных.



Рис. 1. Схема расположения БРЛ-системы при проведении эксперимента

Биорадиолокационная система. В экспериментах использовалась многочастотная БРЛ-система «БиоРаскан» с непрерывным сигналом и ступенчатой частотной модуляцией, разработанная в лаборатории дистанционного зондирования МГТУ им. Н.Э. Баумана. Устройство имеет 16 операционных частот в диапазоне от 3,6 до 4,0 ГГц. Фильтрация принимаемого сигнала осуществляется посредством активного аналогового фильтра с полосой пропускания от 0,03 до 5,00 Гц. Частота дискретизации составляет 52,1 Гц. Приемник построен по квадратурной схеме, что обеспечивает регистрацию данных в двух квадратурах. Плотность потока мощности составляет 1,36 мкВт/см², обеспечивая безопасность использования БРЛ-системы как для пациента, так и для обслуживающего персонала, даже в случае проведения круглосуточного мониторинга [8].

Полисомнографическая система. Параллельные записи показателей ночного сна испытуемых проводились с помощью регистрирующего устройства «Embla N7000», предназначенного для проведения полного стандартного ПСГ-исследования. При этом для регистрации торакальных и абдоминальных дыхательных усилий использовались поясные датчики «ХастТрасе» индуктивной респираторной плетизмографии (РПГ). Блок пациента ПСГ-системы «Embla N7000» регистрирует следующие данные: абдоминальные и торакальные дыхательные усилия, ороназальный поток и давление, храп, средний уровень насыщения крови кислородом, уровень насыщения кислородом для пульсовой волны, частоту сердечных со-

кращений, положение тела, двигательную активность, ограничения воздушного потока, плетизмограмму и другие характеристики. Прикроватный блок системы «Embla N7000» передает физиологические данные по 40 каналам. Из них 32 канала являются референтными: 23 предназначены для записи электроэнцефалограммы; 2 – для регистрации электроокулограммы; еще 7 – дополнительные. Другие 8 каналов являются стандартными биполярными и используются для регистрации, электромиограммы или электрокардиограммы [9].

Обработка данных

Предобработка биорадиолокационных данных. Для исходных БРЛ-сигналов выполнялась процедура предобработки, которая включала в себя следующие основные этапы:

- применение цифрового фильтра Баттерворта верхних частот пятого порядка с рабочей частотой 0,05 Гц, что соответствует частоте среза не ниже 0,03 Гц;
- применение цифрового фильтра Баттерворта нижних частот пятого порядка с рабочей частотой 5,00 Гц, что соответствует частоте среза не выше 10,00 Гц;
- ресемплирование с использованием метода линейной интерполяции для приведения сигналов к частоте дискретизации с 52,1 до 10,0 Гц;
- сглаживание медианным пятиточечным фильтром скользящего среднего;
- Z-нормализацию каждой из квадратурных компонент БРЛ-сигнала.

Характерные формы БРЛ-сигналов после процедуры предобработки представлены на рис. 2.

Таким образом, анализировались БРЛ-сигналы, характерные формы которых для эпизодов НДВС, по мнению врачей-экспертов, визуально оказались схожими с сигналами, регистрируемыми абдоминальными поясными датчиками РПГ в рамках проведения полного ПСГ-исследования, и заметно отличимыми от периодов спокойного сна без НДВС.

Верификация биорадиолокационных данных. Для оценки качества скрининга НДВС метода БРЛ-пневмографии по сравнению с ПСГ был использован методический подход, применяемый при получении оценок качества диагностических исследований [10]. Таким образом, в результате сравнения методов БРЛ (апробируемого) и ПСГ (эталонного), в зависимости от принятия положительного (ПР) или отрицательного решения (ОР) о наличии эпизода НДВС, возможны следующие исходы:

- а) ПР по методу БРЛ при ПР по методу ПСГ о наличии НДВС;
- б) ПР по методу БРЛ при ОР по методу ПСГ о наличии НДВС;
- в) ОР по методу БРЛ при ПР по методу ПСГ о наличии НДВС;
- г) ОР по методу БРЛ при ОР по методу ПСГ о наличии НДВС.

Чувствительность БРЛ-пневмографии в скрининге НДВС по сравнению со стандартным ПСГ-исследованием определялась следующим образом [10]:

$$SE = \frac{a}{a+c}.$$

Прогностическая ценность положительного решения о наличии НДВС по результатам БРЛ-пневмографии по сравнению со стандартным ПСГ-исследованием определялась следующим образом [10]:

$$PV^+ = \frac{a}{a+b}.$$

Верификация массива БРЛ-сигналов осуществлялась следующим образом. Сначала визуально анализировалась вся запись, и если находился ее участок продолжительностью более 10 с, потенциально похожий на эпизод НДВС, то он сравнивался с аналогичным по времени участком на записи ПСГ (начала отсчетов БРЛ и ПСГ синхронизировались, а частота дискретизации в каждом случае также была известна). При этом анализ и интерпретация результатов ПСГ-исследований выполнялись врачами-экспертами с использованием специализированного программного обеспечения «Somnologica STUDIO» согласно стандартным рекомендациям по диагностике СОАС [2].

Результаты

Результаты полисомнографического исследования. Статистика эпизодов НДВС, зарегистрированных по методу ПСГ, представлена в табл. 1. При определении степени тяжести СОАС использовались стандартные пороговые значения ИАГ [2].

Таким образом, всего при интерпретации результатов ПСГ-исследования проанализировано 2700 эпизодов НДВС: 1279 – обструктивное апноэ (ОСА); 106 – центральное апноэ (ЦСА); 495 – смешанное апноэ (ССА); 820 – гипопноэ (ГПА).

Результаты биорадиолокационного исследования. Статистика эпизодов НДВС, зарегистрированных по методу БРЛ, представлена в табл. 2. Для расчета оценок ИАГ при определении ОВС использовались результаты ЭЭГ для тех же пациентов.

Таким образом, всего при верификации массива БРЛ-данных с результатами ПСГ было проанализировано 2823 дыхательных эпизода, из них 1955 эпизодов НДВС были идентифицированы верно.

Диагностическая информативность биорадиолокационной пневмографии. Для определения диагностической информативности БРЛ-пневмографии в бесконтактном скрининге СОАС по данным табл. 2 было рассчитано значение чувствительности $SE = 69\%$ при прогностической ценности положительного решения о наличии НДВС $PV^+ = 72\%$. Такой результат следует считать хорошим, так как для каждого испытуемого, в том числе для испытуемого с СОАС в пределах нормы (ИАГ меньше 5) и для добровольца с легкой степенью СОАС (ИАГ в пределах от 5 до 15), оценка ИАГ (с определением ОВС по дан-

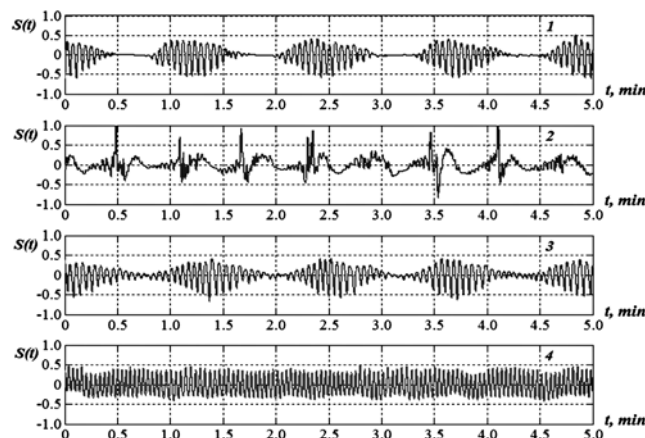


Рис. 2. Характерные формы сигналов БРЛ-пневмографии при регистрации различных типов НДВС: 1 – ЦСА; 2 – ОСА; 3 – ГПА; 4 – сон без НДВС

Таблица 1

Статистика эпизодов НДВС, зарегистрированных методом ПСГ (ОСА – обструктивное апноэ; ЦСА – центральное апноэ; ССА – смешанное апноэ; ГПА – гиппноэ)

ОБС, ч	Тип апноэ, эпизодов				Всего, эпизодов	ИАГ	Степень тяжести СОАС
	ОСА	ЦСА	ССА	ГПА			
5,33	517	0	1	136	654	122,7	Тяжелая
6,56	27	1	2	108	138	21,0	Средняя
9,92	386	0	14	443	843	85,0	Тяжелая
6,53	0	0	1	32	33	5,1	Легкая
7,28	0	1	0	0	1	0,1	Норма
5,53	8	100	63	55	226	40,9	Тяжелая
8,15	341	4	414	46	805	98,8	Тяжелая

Таблица 2

Статистика эпизодов НДВС, зарегистрированных методом БРЛ

Всего, эпизодов	Исходы о наличии НДВС			ИАГ	Степень тяжести СОАС
	а	б	с		
690	502	188	152	129,5	Тяжелая
126	81	45	57	19,2	Средняя
774	607	167	236	78,0	Тяжелая
57	22	35	11	8,7	Легкая
6	0	6	1	0,8	Норма
277	160	117	66	50,1	Тяжелая
893	583	310	222	109,6	Тяжелая

ным ЭЭГ) попала в один и тот же диапазон пороговых значений определения степени тяжести СОАС по сравнению со стандартным ПСГ-исследованием. Последнее обстоятельство является наиболее важным клиническим показателем для оценки качества диагностических исследований новых бесконтактных методов скрининга НДВС [3].

Заключение

Проведено исследование диагностической информативности БРЛ-пневмографии в бесконтактном скрининге СОАС. Зарегистрированы характерные формы БРЛ-сигналов для различных типов НДВС, визуально схожие с сигналами, регистрируемыми абдоминальными поясными датчиками РПГ в рамках проведения полного ПСГ-исследования, и отличимые от периодов спокойного сна без НДВС. При определении качества диагностики БРЛ-пневмографии в бесконтактном скрининге СОАС получено значение чувствительности $SE = 69\%$ при прогностической ценности положительного решения $PV^+ = 72\%$ о наличии НДВС. Результаты следует считать удовлетворительными, так как для каждого испытуемого оценка ИАГ попала в один и тот же диапазон пороговых значений определения степени тяжести СОАС по сравнению со стандартной ПСГ, что удовлетворяет стандартным медицинским рекомендациям.

Работа выполнена при поддержке грантов Российского фонда фундаментальных исследований, задания Минобрнауки 7.305.2011, гранта Президента РФ МК-118.2011.9.

Список литературы:

1. Korostovtseva L.S., Sviryaev Y.V., Zvartau N.E., Konradi A.O., Kalinkin A.L. Prognosis and Cardiovascular Morbidity and Mortality in Prospective Study of Hypertensive Patients with Obstructive Sleep Apnea Syndrome in St. Petersburg, Russia // Medical Science Monitor. 2011. Vol. 17. PP. 146-153.

2. American Sleep Disorders Association Standards of Practice Committee Practice Parameters for the Indications for Polysomnography and Related Procedures. Polysomnography Task Force // Sleep. 1997. Vol. 20. PP. 406-422.
3. Chesson A.L., Berry R.B. Practice Parameters for the Use of Portable Monitoring Devices in the Investigation of Suspected Obstructive Sleep Apnea in Adults // Sleep. 2003. Vol. 26. PP. 907-913.
4. De Chazal P., Fox N., O'Hare E., Heneghan C., Zaffaroni A., Boyle P., Smith S., O'Connell C., McNicholas W. Sleep/Wake Measurement Using a Non-contact Biomotion Sensor // Journal of Sleep Research. 2011. Vol. 20. PP. 356-366.
5. Биорадиолокация / Под ред. А.С. Бугаева, С.И. Ивашова, И.Я. Иммореева. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. 396 с.
6. Korchagina D.A., Alekhin M.D., Anishchenko L.N. Biorelocation Method at Chest Wall Motion Analysis during Tidal Breathing / Proceedings of European Radar Conference. Paris, France. 2010. PP. 475-478.
7. Алехин М.Д., Анищенко Л.Н., Журавлев А.В., Дьяченко А.И. Методы взаимного корреляционно-спектрального анализа в сравнении данных биорадиолокации и респираторной плетизмографии // Биомедицинская радиоэлектроника. 2012. № 8. С. 3-10.
8. Анищенко Л.Н., Ивашов С.И., Парашин В.Б. Теоретические основы биорадиолокации // Биомедицинская радиоэлектроника. 2007. № 10. С. 33-41.
9. Руководство по клиническому применению устройств Embla N7000 и S7000. Medcare Flaga. 2003. 65 с.
10. Богомолов А.В., Кукушкин Ю.А. Математическое обеспечение мета-анализа результатов независимых экспериментальных медико-биологических исследований // Информатика и системы управления. 2011. № 4. С. 65-74.

Максим Дмитриевич Алехин,
исследователь,

Леся Николаевна Анищенко,

канд. техн. наук, ст. научный сотрудник,

Андрей Викторович Журавлев,

канд. физ.-мат. наук, ст. научный сотрудник,

Сергей Иванович Ивашов,

канд. техн. наук, зав. лабораторией,

лаборатория дистанционного зондирования,

МГТУ им. Н.Э. Баумана,

Людмила Сергеевна Коростовцева,

аспирант,

научно-исследовательский отдел

артериальной гипертензии,

Юрий Владимирович Свириев,

д-р мед. наук, руководитель,

сомнологическая лаборатория,

Александра Олеговна Конради,

д-р мед. наук, профессор, руководитель,

научно-исследовательский отдел

артериальной гипертензии,

ФГБУ «ФЦСКЭ им. В.А. Алмазова» Минздрава РФ,

Владимир Борисович Парашин,

д-р техн. наук, профессор, ст. научный сотрудник,

кафедра «Медико-технические

информационные технологии»,

МГТУ им. Н.Э. Баумана,

Алексей Валерьевич Богомолов,

д-р техн. наук, профессор, гл. научный сотрудник,

ГНИИИ военной медицины Минобороны РФ,

г. Москва,

e-mail: maksim.alekhin@gmail.com