

УДК 004.3833

М. Д. Дроздова, А. Н. Калиниченко
Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Исследование изменений спектральных показателей электроэнцефалограммы и биспектра при различных уровнях глубины анестезии

Исследуется проблема определения глубины анестезии с помощью расчета показателей электроэнцефалограммы (ЭЭГ) и биспектра (BIS), таких как Relative β Ratio (RBR) и Synch Fast Slow (SFS). Делаются выводы о характере изменения спектральных показателей в зависимости от уровня глубины анестезии и определяется эффективность их применения.

Биспектральный анализ, глубина анестезии, электроэнцефалограмма, биспектр, спектральная плотность мощности, разделяющая способность

Таблица 1

Номер состояния	Стадия операции	Состояние пациента	Значение BIS-индекса
1	До введения анестетика	Состояние бодрствования до введения анестетика	95–100
2	Несколько минут после первой дозы анестетика	Глубокая анестезия	15–25
3	1–2 часа после введения анестетика	Стабильное состояние анестезии	55–65
4	Пробуждение после операции	Состояние бодрствования сразу после пробуждения	85–95

В последние годы появляется все больше работ, посвященных проблеме интраоперационного пробуждения во время общей анестезии. Сведения о частоте интраоперационного пробуждения во время общей анестезии по данным зарубежных авторов колеблется от 0.1 до 43 %, поэтому проблема контроля адекватности анестезии и степени угнетения ЦНС у обсуждаемой категории больных до сих пор остается актуальной [1], [2]. Самым распространенным методом оценки глубины анестезии в настоящее время является биспектральный анализ, и каждый новый метод сравнивают с ним.

BIS – это сложный параметр, основанный на комбинации временной, частотной областей и спектральных подпараметров – Relative β Ratio (RBR), SynchFastSlow (SFS) и др. [3]. Этот параметр обеспечивает прямое измерение эффекта общей анестезии и седации головного мозга и вычисляется на основе непрерывно регистрируемой ЭЭГ.

Цель исследования: выявление характера изменения спектральных показателей ЭЭГ и биспектра в зависимости от уровня глубины анестезии.

Материалы и методы. Для апробации алгоритма расчета BIS был получен набор записей ЭЭГ в ходе серии хирургических операций. В качестве анестезирующего препарата использовался пропофол. Для получения сигналов ЭЭГ применялся опытный образец монитора глубины анестезии MGA-01 «Ласка», одновременно с которым к пациенту был подключен стандартный монитор глубины анестезии Aspect BIS A-2000XP. Критерии отбора фрагментов из каждого сигнала ЭЭГ приведены в табл. 1.

Записи ЭЭГ были переведены в цифровой вид с частотой дискретизации $F_s = 500$ Гц. В результате был получен набор данных, состоящий из 400 записей ЭЭГ длительностью 20 с, который использовался для конечного тестирования алгоритма.

Результаты исследования. После дискретизации и разделения сигналов ЭЭГ на сегменты для каждого сегмента было получено быстрое преобразование Фурье, которое в дальнейшем использовалось для расчета биспектров [4]. На основе полученных биспектров был рассчитан параметр SynchFastSlow. Для получения значений Beta-ratio была рассчитана спектральная плотность мощности каждого сегмента сигнала. На рис. 1 представлены примеры графиков биспектра одного и того же па-

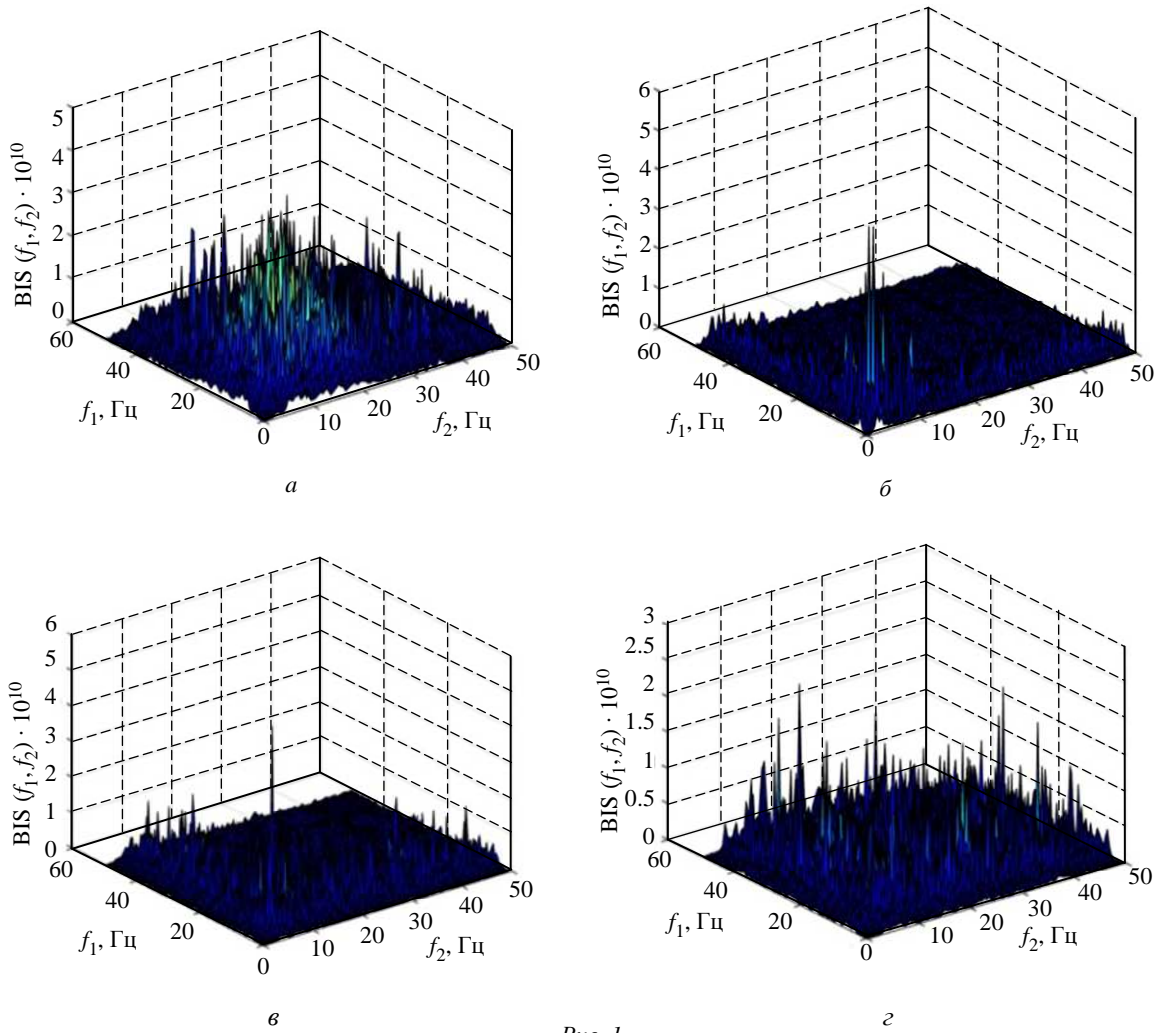


Рис. 1

циента, соответствующих четырем состояниям (1 – а, 2 – б, 3 – в, 4 – г), описанным в табл. 2.

Нетрудно заметить, что чем выше значение BIS-индекса, тем больше высокочастотных составляющих присутствует на графике биспектра (рис. 1, а и г), в состоянии же глубокой анестезии, напротив, наиболее выражены низкочастотные составляющие (рис. 1, б). Подобная зависимость вида биспектра от глубины анестезии позволяет эмпирически вывести диапазоны частот для расчета параметра SynchFastSlow и установить характер изменения этого параметра в течение хирургической операции. Параметр Relative Beta-ratio был рассчитан на основании графиков спектральной плотности мощности для состояний умеренной (рис. 2, а) и глубокой анестезии (рис. 2, б).

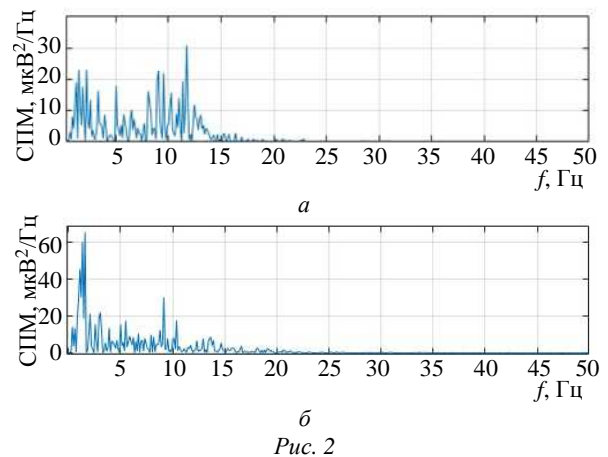


Рис. 2

В табл. 2 представлены некоторые расчетные значения SFS и RBR для трех состояний.

Из табличных данных видно, что по мере увеличения BIS-индекса значения SFS уменьшаются, т. е. этот параметр имеет высокое значение в состоянии глубокой анестезии и может использоваться

для установления этого состояния. При переходе от состояния глубокой анестезии к состоянию бодрствования значения параметра RBR возрастают, что говорит о высокой корреляции данного параметра с состоянием пациента в сознании. Соответственно, можно использовать показатель Beta-ratio во время хирургической операции для определения момента, когда пациент начинает

Таблица 2

SynchFastSlow, BIS			Beta-ratio, BIS		
20	60	90	20	60	90
0.0223	0.0064	0.0715	-2.2510	-2.1718	-0.2402
0.0229	0.0069	0.0600	-2.2049	-2.2521	-0.3132
0.0192	0.0090	0.0301	-2.2374	-2.1393	-0.3823
0.0246	0.0073	0.0265	-2.3282	-2.1351	0.4789
0.0235	0.0110	0.0184	-2.4072	-2.0893	0.4594
0.0352	0.0066	0.0950	-1.7359	-2.1287	-0.0665
0.0264	0.0057	0.0608	-1.6598	-2.2195	0.1526
0.0273	0.0077	0.0718	-1.7561	-2.1675	-0.7016
0.0218	0.0056	0.0434	-1.9516	-2.0647	-0.7953
0.0199	0.0061	0.0277	-1.9333	-2.0940	-0.7451

выходить из состояния наркоза, с целью своевременного увеличения количества анестезирующего препарата.

Несмотря на конкретный характер изменения описанных параметров в течение хирургической операции, рассматривать их по отдельности нецелесообразно, так как они не дают всей необходимой информации о состоянии пациента.

Отдельный интерес представляет совместное рассмотрение SFS и RBR для состояний, соответствующих глубокой (BIS = 20) и умеренной анестезии (BIS = 60). На рис. 3 изображено совместное распределение параметров. В качестве критерия для разделения двух уровней анестезии использовался статистический параметр, значение которого тем выше, чем лучше разделяются уровни глубины анестезии:

$$J_{1,2} = |m_1 - m_2|^2 / (s_1^2 + s_2^2),$$

где m_1, m_2 – средние значения групп показателей, соответствующих двум уровням глубины анестезии, а s_1^2, s_2^2 – среднеквадратичные отклонения этих групп показателей. Суммарный коэффициент (J_{TOT}) для двух параметров составил всего 1.639; это объясняется тем, что биспектры и СПМ для умеренной и глубокой анестезии очень похожи, и, соответственно, значения параметров отличаются незначительно.

Если рассмотреть состояния умеренной анестезии и бодрствования, то можно заметить, что в этом случае параметры SFS и RBR дают высокое значение коэффициента J_{TOT} , т. е. позволяют практически безошибочно разделить эти состояния (рис. 4).

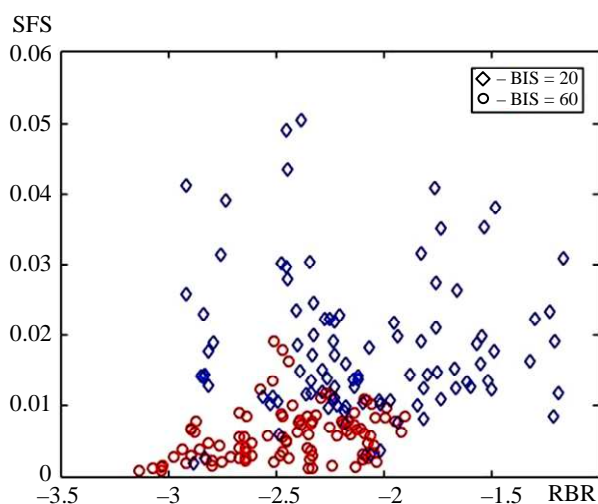


Рис. 3

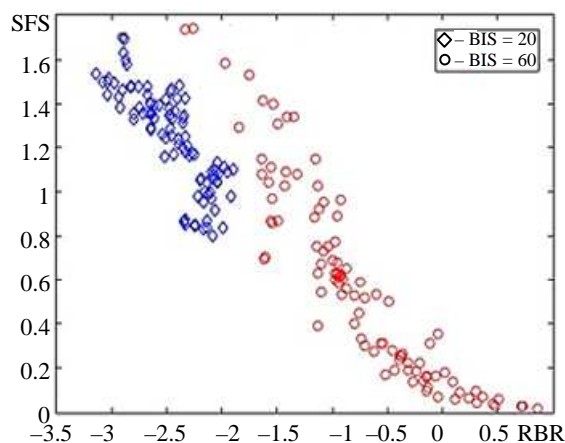


Рис. 4

Дискуссия. В табл. 3 представлены значения коэффициентов для каждого параметра по отдельности J_{SFS} и J_{RBR} при их совместном рассмотрении, а также минимальная ошибка разделения состояний. Для BIS = 20 и BIS = 60 каждый параметр по отдельности имеет довольно низкую

Таблица 3

Сравниваемые состояния, BIS	J_{SFS}	J_{RBR}	J_{TOT}	Минимальная ошибка, %
20 и 60	1.320	0.377	1.639	31
60 и 90	1.736	4.972	7.133	3

разделяющую способность, однако ее можно повысить, используя оба параметра в совокупности. При разделении же состояний умеренной анестезии и бодрствования удалось достичь высокого значения J_{TOT} , при этом минимальная ошибка составила всего 3%. Для снижения минимальной ошибки разделения глубокой и умеренной анестезии необходимо рассмотрение дополнительных параметров, например Burst Suppression Ratio. Этот параметр является самостоятельным и позволяет обнаружить состояние очень глубокой анестезии.

Полученные результаты говорят о способности разработанного алгоритма достаточно хорошо разделять состояния бодрствования и глубокой или умеренной седации, однако для разделения стадий наркоза необходимо использовать дополнительные параметры, например Burst Suppression Ratio. Совместное рассмотрение трех упомянутых параметров может в значительной степени улучшить способность алгоритма разделять различные уровни глубины наркоза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Agarwal J. Comparison of closed loop vs. manual administration of propofol using the Bispectral index in cardiac surgery // J. Acta Anaesthesiol. Scand. 2009. Vol. 53, № 3. P. 390–397.
2. Avidan M. S. Anesthesia Awareness and the Bispectral Index // N. Engl. J. of Med. 2008. Vol. 11. P. 1097–1108.
3. Extraction of BIS™ index sub-parameters in different anesthetic and sedative levels / B. Ahmadi, E. Negahbani, R. Amirfattahi, B. Zaghari, M. Mansouri. 9th Intern. Conf. on Signal Proc. Beijing Intern. Convention Center. Beijing, China, 2008. P. 2665–2668.
4. Tong S., Thakor N. V. Quantitative EEG Analysis Methods and Clinical Applications. Boston/London: ARTECH HOUSE. Ser. Engin. in Medicine & Biol., 2009.

М. Д. Дроздова, А. Н. Калинин
Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

EXAMINATION OF EEG SPECTRAL INDEXES CHANGES AT DIFFERENT LEVELS OF ANESTHESIA DEPTH

Explores the issue of determination the depth of anesthesia by calculating electroencephalogram (EEG) and bispectrum (BIS) parameters such as Relative β Ratio (RBR) and Synch Fast Slow (SFS). The conclusion about spectral parameters behavior at different levels of anesthesia depth was made and their utilization efficiency was determined.

Bispectral analysis, anesthesia depth, electroencephalogram, bispectrum, spectral power density, separative power