

АНАЛИЗ ПРОГНОСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭЭГ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ОПЕРАТОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

И. М. Доровлёв, В. Г. Сидякин, А. В. Сухинин, П. В. Шинкаревский, Н. П. Янова

Одной из основных форм анализа пространственных взаимоотношений электрических процессов головного мозга человека является линейная, которая успешно используется для оценки общего функционального состояния мозга при выполнении экспериментальных заданий в условиях бодрствования (Гончарова, 1991), при изменении состояния на разных стадиях сна (Mann et. al., 1993), в условиях гипноза (De Pascalis, 1993), интенсивной терапии (Дудаева и соавт., 1990). Информативность ритмических компонентов ЭЭГ для выявления сдвигов в функциональном состоянии мозга продемонстрирована при разных видах стресса (Думбай, Кульба, 1994), экстремальных условиях космического полета (Quadens, et. al., 1990), напряженной операторской деятельности (Изнак, Чайнов, 1989), диагностики многих патологических состояний мозга (Moulton et. al., 1988), смене эмоциональных состояний (Доброхотова, Брагина, 1974).

Однако в последнее время возрастает интерес к применению методов нелинейной динамики для анализа поведения физиологических систем. Так, методы нелинейной динамики использованы для анализа ЭЭГ человека в биомедицинских исследованиях при воздействии на биологически активные точки (Lutzenberger, 1993), развитии эпилептического приступа (Saermark et. al., 1989).

Современная психофизиология активно использует показатели фоновой ЭЭГ в качестве индикаторов функционального состояния и типологических особенностей высшей нервной деятельности. Эти показатели отражают уровень активации, с которым связано осуществление психической деятельности, в том числе восприятие и субъективная оценка времени (Изнак, 1989). В то же время важное значение имеют исследования, направленные на выявление прогностических свойств функционального состояния головного мозга.

Нашей лабораторией была поставлена задача разработать методику прогнозирования успешности операторской деятельности, связанной с внутренним отсчетом времени. В случае успеха такая методика могла бы найти применение в системе профотборов. Для достижения указанной цели были намечены следующие задачи:

Провести анализ субъективной оценки времени человеком - оператором.

Выявить прямые или опосредованные биоэлектрические корреляты субъективной оценки времени.

Оценить особенности индивидуальных параметров ЭЭГ человека для выявления их прогностических свойств в субъективной оценке времени.

В качестве поисковой задачи исследовано влияние эмоционального знака вербальной информации на субъективную оценку времени.

Объект и методы исследования.

В эксперименте принимали участие 62 испытуемых обоего пола в возрасте 19-23 лет. Все испытуемые привлекались к участию в пяти экспериментах, которые носили поисковый характер с целью выявления корреляции между показателями ЭЭГ и результативностью последующей операторской деятельности. Каждый эксперимент строился по схеме:

1. Запись фоновой ЭЭГ в течение 10 минут.
2. Перерыв в течение 10 минут.
3. Выполнение операторской работы.

Во время выполнения операторской деятельности испытуемому предлагалось угадать и впоследствии удерживать заданный интервал времени в диапазоне 20-25 секунд. Длительность интервала выбиралась случайным образом. Для связи с ЭВМ использовалась кнопка, подключенная к логическому входу интерфейса. Первое нажатие запускало накопление и включало счетчик текущего интервала. Каждое последующее нажатие завершало текущий интервал и запускало отсчет нового. В качестве обратной связи использовалась светодиодная панель, подключенная к ЭВМ. Информация выдавалась через 2 секунды после завершения интервала. В случае раннего нажатия загорался знак "плюс", в случае позднего - "минус". Если интервал был угадан с требуемой точностью (5%), на панели появлялась вертикальная черта. Накопление велось до набора 25 интервалов.

Для определения степени успешности находили первый угаданный интервал, который в дальнейшем принимался за исходную точку. Далее все последующие интервалы делились на три категории: опережение (рано), запаздывание (поздно) и правильное воспроизведение (угадал). Для расчета бралось процентное отношение интервалов данной категории к числу интервалов после исходной точки (рис. 1).



Рис. 1. Принцип расчета показателей успешности операторской деятельности

Оцифровка ЭЭГ осуществлялась по двум каналам электроэнцефалографа (левое и правое полушария головного мозга) с частотой опроса 100 Гц. Данные группировались отрезками по 256 значений. Все отрезки подвергались анализу на наличие артефактов и в случае обнаружения таковых отбрасывались. Запись велась до набора 60 свободных от артефактов отрезков.

Применяли стандартную схему наложения электродов: С3 - левый центральный (слева от макушки испытуемого, удален на 3-4 см от средней линии головы); С4 - правый центральный (симметричен С3); два объединенных индифферентных электрода над сосцевидной костью черепа; электрод-заземление крепился на запястье левой руки.

Испытуемый сидел в темной звукоизолированной и электрически экранированной камере в удобном кресле с подголовником. Перед лицом испытуемого на расстоянии 1.5 метра была размещена светодиодная панель обратной связи. Испытуемые предварительно получали инструкцию сидеть спокойно, расслабленно, не совершать лишних движений (даже глазами).

Анализировали: мощность спектра в заданных полосах, частоту пика мощности в заданных полосах и корреляционную размерность ЭЭГ в заданных полосах.

Для всех показателей вычислялись как средние значения, так и дисперсия значений за время опыта. Для обработки были выделены 9 спектральных полос: 1-2, 2-4, 4-8, 8-14, 14-20, 20-30, 30-36, 36-42 и 42-48 Гц. Значения рассчитывались для каждого полушария в отдельности.

Результаты исследования

Особенности воспроизведения эталонного времени человеком-оператором.

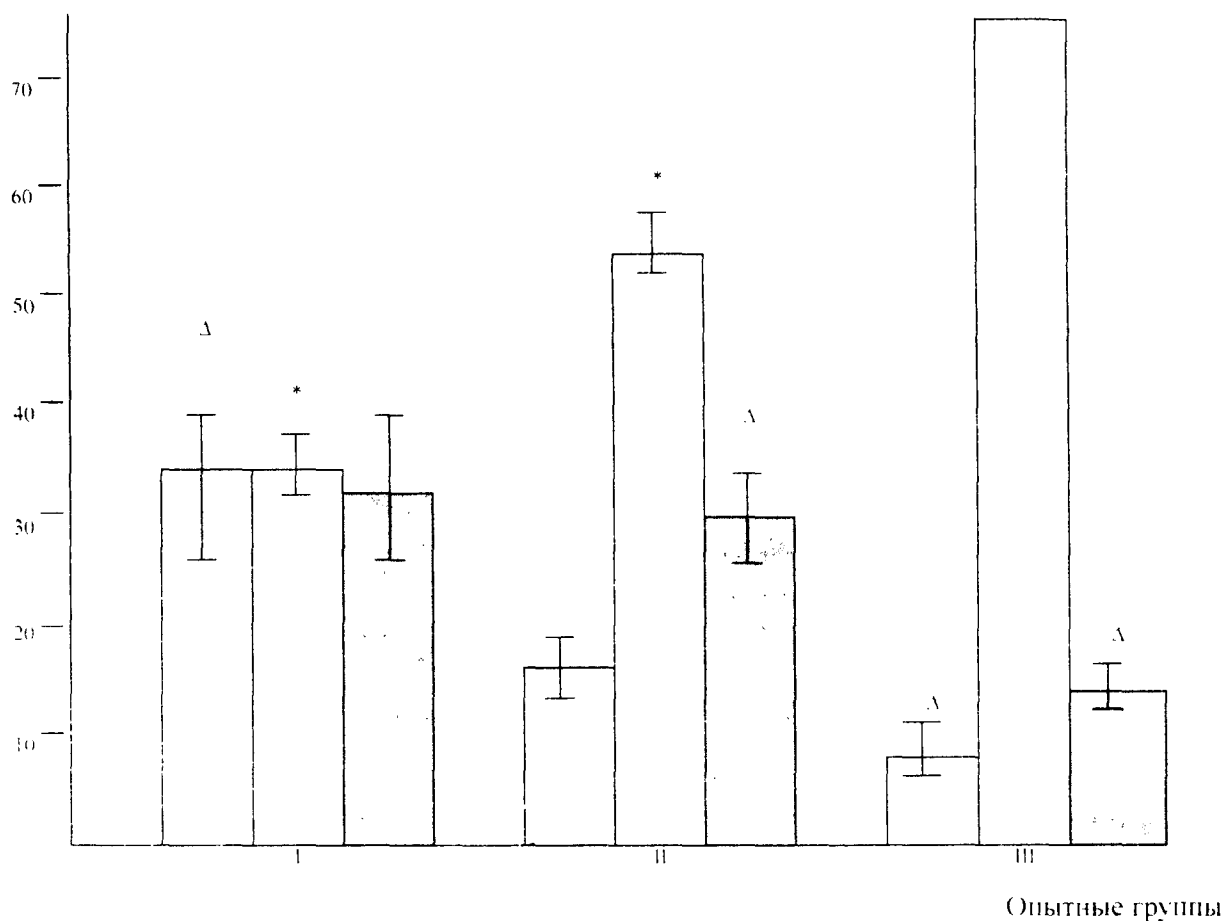
Воспроизведение эталонного времени испытуемыми проходило с разной степенью успешности. Количество правильных реализаций за весь опытный период и по всем испытуемым в среднем составило $55.6 \pm 7.8\%$.

С учетом числа правильно воспроизведенных временных интервалов испытуемые были разделены на 3 экспериментальные группы. В первую группу (низкий уровень, 35.5% испытуемых) вошли испытуемые, показавшие результат от 0% до 47.8% ($34.8 \pm 4.9\%$), вторую группу (средний уровень успешности реализации эталонного времени) составили испытуемые с процентом правильных реализаций, попавших в средний разброс по всем испытуемым ($55.6 \pm 7.8\%$), то есть показавшие результат от 47.8% до 63.4% (27.4% испытуемых); в третью (высокий уровень, 37.1% испытуемых) - испытуемые с результатами от 63.4% до 100% ($76.9 \pm 4.4\%$) (рис. 2).

Отмеченные уровни точности воспроизведения эталонного времени были достаточно стабильными и регистрировались у испытуемых как в течение одного опыта (25 реализаций), так и на протяжении всей экспериментальной серии (5 опытов). При анализе процента правильных воспроизведений у юношей и девушек в отдельности достоверных различий не установлено, что позволило не учитывать фактор половой принадлежности при формировании опытных групп.

При увеличении длительности тестирования у части испытуемых до 35 опытных серий не отмечено достоверных различий среднего количества правильных реализаций по сравнению с уровнем, сформированным после 5 опытных серий. Следовательно, фактор времени при данных условиях опыта большого значения не имел.

Количество реализаций



Примечание:

по оси абсцисс - опытные группы;

по оси ординат - общее число реализаций в %;

	опережающее воспроизведение
	правильное воспроизведение
	запаздывающее воспроизведение

Δ - достоверные различия показателя при межгрупповом сравнении однотипных ошибочных реализаций;

* - достоверные различия показателя при межгрупповом сравнении правильных реализаций.

Рис. 2. Среднее число правильных и ошибочных реализаций эталонного времени у испытуемых трех опытных групп

В то же время для динамики этого показателя была характерна определенная ритмичность, которая проявлялась периодически единичными увеличениями числа правильных испытуемыми эталонного времени. В зависимости от принадлежности испытуемого к определенной

экспериментальной группе наблюдалась тенденция к его увеличению ($p > 0.05$) от опыта к опыту (3-я группа) или двухфазное изменение с максимумом величины на 3-4 сутки опыта (1-я и 2-я группы).

Полученные данные в целом свидетельствуют об индивидуальных особенностях воспроизведения эталонного времени. Вместе с тем применительно к оценке групповых различий по параметрам данного показателя отмечаются особенности, имеющие типологический характер.

Особенности ЭЭГ испытуемых в зависимости от типа доминирующего ритма.

Как показали проведенные исследования, тип доминирующего ритма ЭЭГ у испытуемых не изменялся на протяжении всего опытного периода. Наличие такой стабильности позволило рассматривать этот показатель ЭЭГ в качестве индивидуальной характеристики испытуемых и, как следствие, в качестве критерия для разбиения на группы. Были выделены три группы испытуемых: первая - доминирование α -ритма (39.5 % испытуемых), вторая - равное соотношение мощности α - и θ -ритмов (21 % испытуемых), третья - доминирование θ -ритма (39.5 % испытуемых).

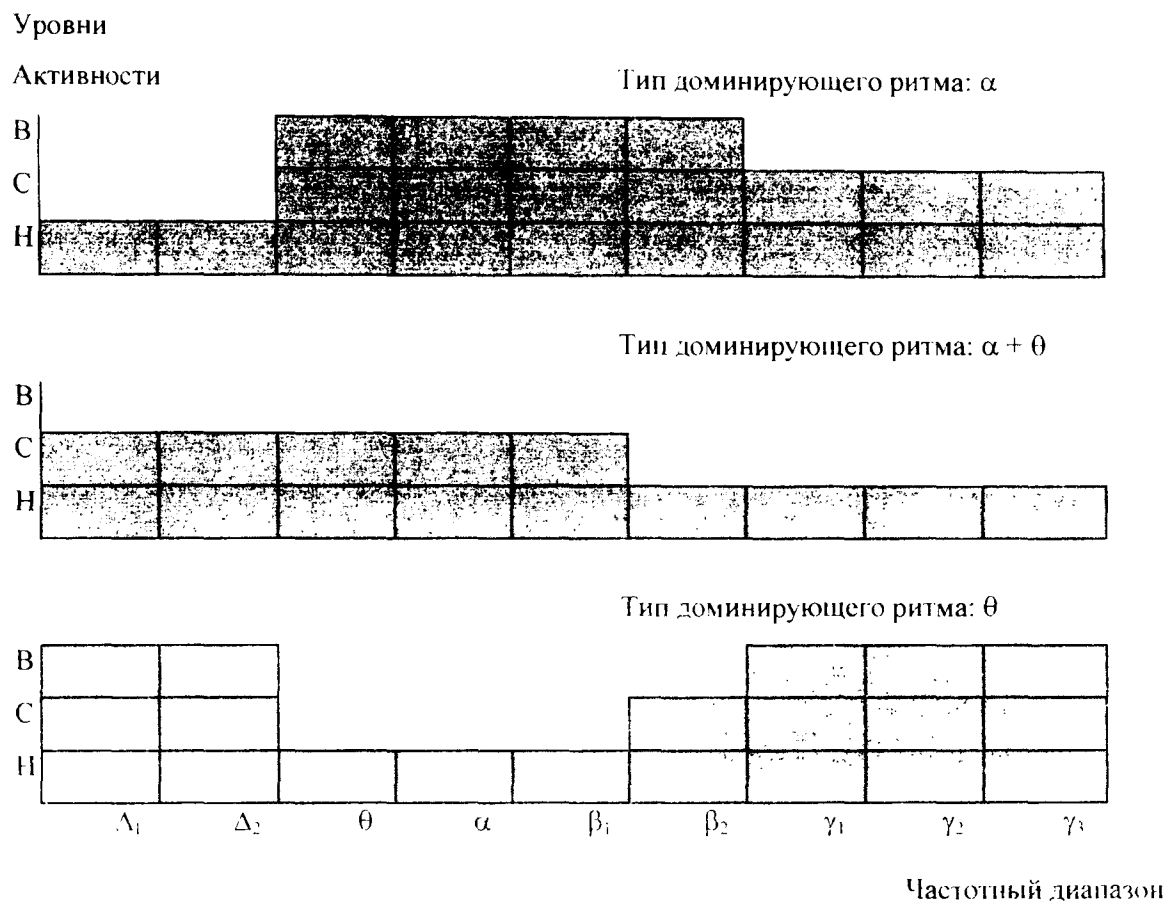
В зависимости от типа доминирующего ритма отмечены особенности ЭЭГ-активности испытуемых. Средние значения мощности спектра ЭЭГ в Δ -диапазоне были наибольшими у испытуемых с преобладающим θ -ритмом по сравнению с величиной этого показателя у испытуемых со смешанным типом активности ЭЭГ и с доминирующим α -ритмом. Превалирование обоих поддиапазонов β -ритма (14-30 Гц) в обоих полушариях головного мозга наблюдали у испытуемых с доминированием α -активности ($p > 0.05$), а при доминировании θ -ритма отмечены большие значения ($p > 0.05$) всех поддиапазонов высокочастотного γ -ритма (30-48 Гц).

Несмотря на отсутствие достоверных различий сравниваемых уровней мощности спектра ЭЭГ для каждого из них был характерен определенный диапазон проявлений (рис. 3).

Выявление биокоррелятов субъективной оценки времени.

С учетом двух вышеназванных критериев разбиения на группы был выбран следующий принцип формирования подгрупп. Сначала все испытуемые были разделены на группы по уровню успешности реализации эталонного времени. Затем каждая из трех полученных групп была разбита на 3 подгруппы с учетом типа доминирующего ритма ЭЭГ.

Для всех перечисленных подгрупп вычислялась корреляция между количеством правильных, ранних и поздних нажатий, с одной стороны, и показателями ЭЭГ - с другой. Результирующая сводная таблица (См. таблица) позволяет получить некоторое качественное представление о пригодности различных параметров ЭЭГ для прогнозирования успешности операторской деятельности.



Примечание:

В - высокий, С - средний, Н - низкий уровни мощности спектра.

Рис. 3. Соотношение разных уровней мощности спектра ЭЭГ
в зависимости от типа доминирующего ритма

У испытуемых с доминирующим α -ритмом наблюдали сильные коррелятивные связи частоты пика мощности Δ -ритма ЭЭГ с числом недооцененных и правильно воспроизведенных, а при доминировании θ -ритма - с числом переоцененных эталонных интервалов независимо от латерализации. При этом в первом случае в качестве коррелирующего признака выступала величина дисперсии, а во втором - средние значения.

При смешанном типе доминирования в зависимости от латерализации и анализируемого показателя отмечали сильные коррелятивные связи в низко- и высокочастотном диапазоне ЭЭГ.

При анализе коррелятивных связей между величиной КР ЭЭГ (корреляционная размерность) и уровнем успешности операторской деятельности отмечена следующая любопытная особенность: для левого полушария с уровнем ошибочных реализаций коррелируют в основном средние значения КР ЭЭГ, а для правого - дисперсии КР ЭЭГ. В качестве гипотезы можно высказать

предположение, что правое полушарие приводит генерацию «тактовых импульсов» для системы внутренних часов, причем длительность этих «тактовых импульсов» находится в прямой зависимости от величины КР ЭЭГ, а левое полушарие отвечает за их подсчет.

Следует отметить, что корреляционные связи между КР ЭЭГ и успешностью реализации эталонного времени проявляется во всех частотных диапазонах, нередко отличных от анализируемых традиционными методами.

Результаты предварительных исследований воспроизведения эталонного времени испытуемыми после прослушивания текстов с положительной и отрицательной эмоциональной окраской свидетельствуют о влиянии знака информации на субъективную оценку времени и взаимосвязь этого показателя с типом доминирующего ритма ЭЭГ.

Таблица

Значимая корреляция между параметрами ЭЭГ
и уровнями воспроизведения временных интервалов.

Параметр ЭЭГ	Экспериментальная группа	Доминирующий ритм	ТОЧНОСТЬ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ВРЕМЕННЫХ ИНТЕРВАЛОВ					
			ЛЕВОЕ ПОЛУШАРИЕ			ПРАВОЕ ПОЛУШАРИЕ		
			недооценка	переоценка	совпадение с эталоном	недооценка	переоценка	совпадение с эталоном
мощность спектра ЭЭГ	I	α						
	II	$\alpha + \theta$	$\theta (-с)$		$\theta (-л)$	$\theta (-с)$		
	III	θ		$\Lambda_1 (с)$ $\Lambda_2 (л)$ $\theta (с)$ $\alpha (сл)$	$\Delta_1 (-с)$ $\beta_2 (-л)$		$\Lambda_1 (с)$ $\Lambda_2 (л)$ $\theta (л)$ $\alpha (сл)$	
частота пика мощности спектра ЭЭГ	I	α	$\Delta_2 (-л)$		$\Delta_2 (л)$	$\Delta_2 (-л)$		$\Delta_2 (л)$
	II	$\alpha + \theta$	$\beta_1 (с)$ $\beta_2 (-с-л)$ $\gamma_3 (с)$	$\gamma_{2,3} (-л)$	$\gamma_3 (-с)$	$\beta_1 (сл)$ $\gamma_1 (сл)$		
	III	θ	$\gamma_3 (с)$	$\Delta_1 (-с)$			$\Delta_1 (-с)$	$\gamma_1 (-с)$
корреляционная размерность ЭЭГ	I	α	$\alpha (-с)$		$\theta (-с)$	$\beta_1 (л)$ $\gamma_{1,2} (-л)$		$\gamma (л)$
	II	$\alpha + \theta$	$\Delta_2 (с)$ $\theta (-с)$ $\alpha (с)$	$\Delta_2 (-с)$ $\alpha (-с)$ $\gamma (-с)$		$\Delta_{1,2} (л)$ $\beta_2 (-л)$ $\gamma_1 (л)$ $\gamma_2 (-с-л)$	$\Delta_{1,2} (-л)$ $\beta_1 (с)$ $\gamma_{2,3} (л)$	
	III	θ	$\beta_1 (л)$	$\theta (л)$ $\beta_1 (с)$ $\gamma_1 (с)$		$\beta_1 (-сл)$ $\gamma_1 (л)$	$\Delta_1 (л)$ $\theta (л)$	$\gamma_1 (-л)$

Примечание: (с) - значимая корреляция между средними величинами

(л) - значимая корреляция между дисперсиями

знак «-» перед буквой - отрицательная корреляция

ВЫВОДЫ:

1. Уровень точности воспроизведения эталонного времени является самостоятельной индивидуальной характеристикой психической деятельности человека.
2. Тип доминирующего ритма отражает функциональные особенности условий, при которых изменяются соотношения разных видов ошибочных реализаций, но не влияет на уровень точности воспроизведения эталонного времени.
3. Количество коррелятивных связей и частотный диапазон их проявления являются индивидуальными особенностями субъекта и зависят от типа доминирующего ритма, характера асимметрии и уровня точности воспроизведения заданного времени.
4. Наибольший частотный диапазон проявления и наиболее высокое число коррелятивных связей отмечены для показателя нелинейной динамики, представленного величиной корреляционной размерности. Эта величина является индивидуальной характеристикой и может служить тестом для оценки уровня успешности воспроизведения эталонного времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гончарова И. И. Факторная структура спектра ЭЭГ левого и правого полушарий головного мозга человека в норме и при обработке зрительной информации // Физиология человека. -1991. - Т. 17, № 1. - С. 18-29
2. Дудаева К. И., Михайлова Е. С., Поляков С. Э. Нейрофизиологическая динамика при лечении эндогенной депрессии методом рефлексотерапии // Журн. невропатол. психиатр. - 1990. - Т. 90, № 4. - С. 99-103.
3. Думбай В. Н., Кульба С. Н. Отражение в спектральных характеристиках ЭЭГ уровня нервно-эмоционального напряжения // Усп. физиол. наук. -1994. - Т.25, № 1. -С.130.
4. Изнак А. Ф. Модуляция сенсомоторной деятельности человека на фоне альфа-ритма ЭЭГ // Проблемы развития научных исследований в области психического здоровья. Тр. ВНЦПЗ АМН СССР. М. -1989. - С. 3.
5. Изнак А. Ф., Чаянов Н. В. Субъективные корреляты вспышек альфа-ритма в ЭЭГ человека при зрительно-моторной операторской деятельности // Труды Всес. Научн. Центра псих. здор. АМН СССР. -1989. -Т.5. -С. 24-30.
6. De Pascalis V. EEG Spectral analysis during hypnotic induction, hypnotic dream and age regression // Int. J. Psychophysiol. - 1993. - V. 15, № 2. - P. 153-166.

7. Lutzenberger W., Elbert T., Ray W. J, Rockstroh B., Flor H. Dimensional analysis of the human EEG and intelligence // *Neurosci. Lett.* - 1992. -№ 5. - P. 27-34.
8. Mann K., Backer P., Roschke J. Dynamical properties of the sleep EEG and different frequency band // *Int. J. Neurosci.* - 1993. - V. 73, № 3-4. - P. 161-169.
9. Moulton R. J., Marmarou A., Rosen J. et al. Spectral analysis of the EEG in oraniocerebral trauma // *Can. J. Neurol. Sci.* -1988. V. 15, - № 1. -P. 82-86.
10. Quadens O., DeGraeve M., Semans E. Brain activity in space // *EEG Clin. Neurophysiol.* -1990. -V.75, № 1. -P. 123S.
11. Saermark K., Lebech J., Bak C. K. Sabers A. Magnetoencephalography and attractor dimension: normal subjects and epileptic patients // In: *Brain Dynamics: Progress and Perspectives.* - Heidelberg, Germany: Springer. - 1989. -P. 149-157.