

1. Гаркави Л. Х., Квакина Е. Б., Уколова М. А. Адаптационные реакции и резистентность организма.— 2-е изд., доп.— Ростов н/Д: Изд-во Рост. ун-та, 1979.—128 с.
2. Гальперин С. И., Татарский Н. Э. Методики исследования высшей нервной деятельности человека и животных.— М.: Высш. школа, 1967.—366 с.
3. Захарова Л. И., Осадчая Л. М. Роль свободных аминокислот в метаболизме головного мозга // Пробл. биохимии.— 1978.— Вып. 19.— С. 103—119.
4. Меерсон Ф. З. Адаптация, стресс, профилактика.— М.: Наука, 1981.—278 с.
5. Погодаев К. И., Турова Н. Ф. Биохимия мозга при утомлении и истощении.— М.: Медицина, 1972.—261 с.
6. Розанов В. А. Метаболизм и физиологические функции ГАМК-конъюгатов и ГАМК-производных в центральной нервной системе млекопитающих // Нейрохимия.— 1982.—1.— № 4.— С. 406—418.
7. Раевский К. С., Харламов А. Н. Влияние ГАМК-ергических веществ на условный рефлекс избегания у крыс // Фармакология и токсикология.— 1980.— № 3.— С. 284—288.
8. Сапов И. А., Солодков А. С. Состояние функций организма и работоспособность моряков.— Л.: Медицина, 1980.—192 с.
9. Сытинский И. А. Гамма-аминомасляная кислота в деятельности нервной системы.— Л.: Наука, 1972.—199 с.
10. Селье Г. Очерки об адаптационном синдроме.— М.: Медицина, 1960.—254 с.
11. Шатунова Н. Ф., Сытинский И. А. Влияние семикарбазидного отравления на содержание гамма-аминомасляной кислоты в мозговой ткани // Нерв. система.— 1962.— Вып. 3.— С. 12—16.

Науч.-исслед. ин-та гигиены вод. трансп.
М-ва здравоохранения СССР, Одесса

Поступила 09.12.87

УДК 617.761—009.24—02:616.282—008.1.073.97

Спектральный анализ вестибулярного нистагма

А. В. Тележников, В. Г. Базаров, Л. А. Савчук, И. А. Белякова,
В. Г. Кадук, М. В. Куликова, А. А. Тарасов, В. Л. Цыганков

В последние годы уделяется большое внимание изучению наиболее информативных параметров вестибулярного нистагма (ВН) и разработке методов автоматизированного анализа результатов электронистагмографии (ЭНГ) с использованием средств вычислительной техники [4—6]. Предложенные авторами методические приемы расшифровки данных ЭНГ с помощью ЭВМ недостаточно совершенны, так как позволяют оценивать преимущественно лишь отдельные параметры ВН: суммарную амплитуду медленной и быстрой фаз, продолжительность скрытого периода заданного участка нистагменной реакции, частоту нистагменных толчков [3, 8]. Более того, вариабельность показателей ВН, их сходство при различных заболеваниях не позволяют в большинстве случаев выделить наиболее характерные изменения нистагма при той или иной форме кохлео-вестибулярной патологии. Этот пробел может быть устранен посредством применения спектрального анализа, однако данный вопрос, кроме единичных работ [7], не нашел отражения в литературе.

Цель настоящей работы — исследование частотных характеристик нистагмограмм и выяснение информативности изменений спектра для определения различных патологических процессов.

Методика

Для анализа ЭНГ использовали модель, которая предполагает, что наблюдаемые временные ряды при вращении и в момент кульминации после вращения являются суммой периодического тренда $f(t)$ и случайной составляющей $u(t)$.

Оценка спектральной плотности мощности, определяющей распределение дисперсии временной последовательности детерминированной составляющей ЭНГ по частотам, связано с использованием периодограмм, полученных с помощью процедур быстрого преобразования Фурье.

Практические аспекты спектрального анализа ЭНГ можно разделить на два этапа: запись исходного сигнала с выхода электроэнцефалографа (ЭЭГП 4-02) в магнитофон (TEAC R-81); ввод записанного в аналоговой форме сигнала в ЭВМ.

Для анализа ЭНГ была выбрана полоса частот от 0 до 50 Гц, поэтому в качестве противоподменного фильтра низких частот был взят фильтр частотой среза 50 Гц, крутизной 6 дБ/окт. Частота дискретизации входного сигнала была выбрана равной 256 Гц. Это значение принято из соображений ограничения ошибки спектрального анализа на уровне 40 дБ.

Устройство ввода в ЭВМ, состоящее из блока аналого-цифрового преобразователя и устройства управления, обеспечивало ввод дискретных отсчетов в виде восьми разрядных чисел, что позволяло поддерживать шумы квантования на уровне 60 дБ. После введения данных в ЭВМ последние преобразовывались в числа с плавающей точкой ЕС ЭВМ (формат E) и записывались на магнитный диск для дальнейшей обработки в виде файла прямого доступа. Затем для интересующих нас участков ЭНГ (отбор производили с помощью графопостроителя, представляющего исследуемый процесс в форме графиков) строили оценки спектров. При этом обрабатывали участок реализации длиной 10 240 отсчетов. Для получения состоятельной оценки применяли сглаживание периодограммы усреднением по участкам реализации, т. е.

$$\hat{f}_x = (k) = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p f_x^{(i)}(k),$$

где f — частота гармоник, p — участки рассматриваемых реализаций (было выбрано 10 участков), k — порядок гармоники.

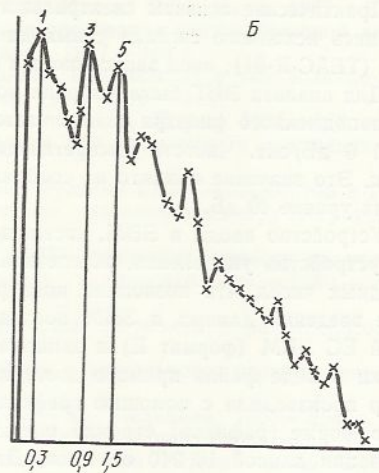
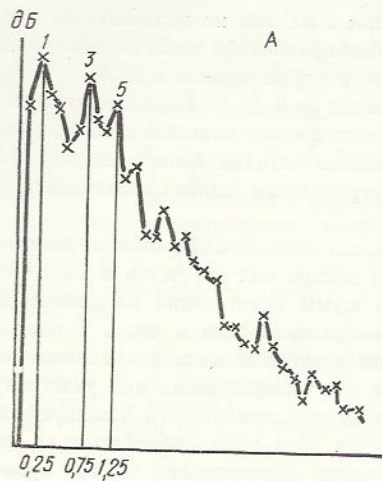
В результате анализа получены оценки спектров исследуемых ЭНГ. Поскольку первая гармоника детерминированной составляющей ЭНГ соответствует частоте вращения кресла ($\sim 0,3$ — $0,4$ Гц), спектр исследовали в диапазоне 0,25—2,5 Гц, при этом наиболее представительными при полосе разрешения 0,25 Гц являются нечетные гармоники. Имеет значение и крутизна спадающих высших составляющих спектра. Заметим, что на данном этапе исследований ставилась задача не только получения новых физиологических результатов, но и уточнения некоторых целесообразных условий обработки, таких как: диапазон исследуемых частот, выбор полосы разрешения, длительность исследуемых реализаций.

Исходя из этого, по результатам спектрального анализа ЭНГ, определяли выраженные в герцах частотные характеристики, в частности первую (ω_1), третью (ω_3) и пятую (ω_5) гармоники, а также выраженные в децибеллах отношения квадрата амплитуды первой гармоники к квадрату амплитуды третьей и пятой гармоник (A^2_{1m}/A^2_{3m} ; A^2_{1m}/A^2_{5m}). Кроме того, ЭНГ оценивали традиционными методами, в частности учитывали продолжительность поствращательного нистагма, среднюю и суммарную амплитуды, частоту и скорость медленной фазы нистагма, соотношение между выраженностью вращательного и поствращательного нистагма [1, 2].

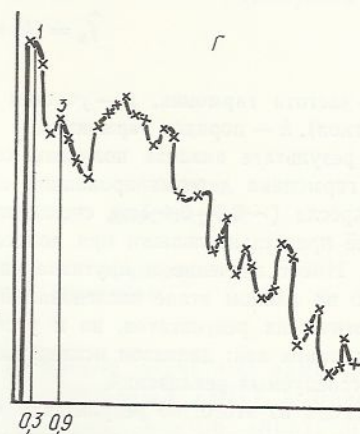
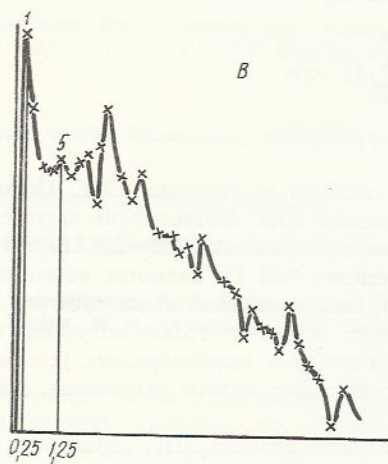
Результаты и их обсуждение

Обследовано 50 человек, из них 10 здоровых (контрольная группа) в возрасте от 17 до 24 лет, не предъявляющих жалоб на слуховые и вестибулярные расстройства, 20 больных болезнью Меньера в стадии ремиссии и 20 — двусторонним невритом слуховых нервов в стадии обострения с явлениями вестибулярной дисфункции. Возраст больных — от 20 до 42 лет, давность заболевания — от 1 года до 12 лет.

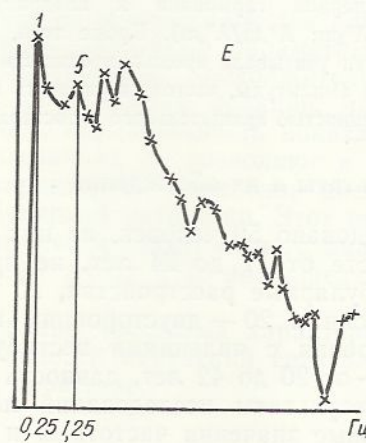
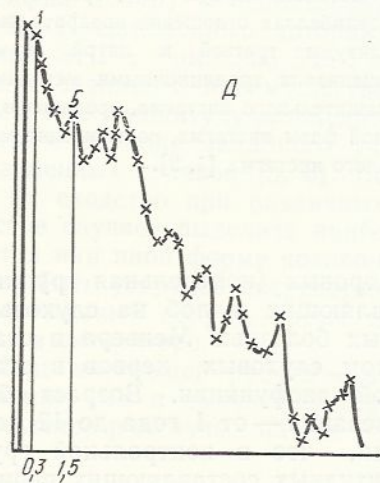
Результаты исследований показали, что в контрольной группе цифровые значения частотных и амплитудных составляющих периодограмм существенно не различались при вращательной стимуляции как вправо, так и влево (табл. 1) и характеризовались стабильным наличием всех гармоник (рисунок, а). По данным ЭНГ, у здоровых людей при стимуляции обоих лабиринтов получена ритмичная, клоничная нистагменная реакция. Значения продолжительности, частоты, суммарной и средней амплитуды, скорости медленной фазы нистагма соответствовали таковым нормальной вестибулярной реактивности. Нистагм характеризовался симметричностью ответа на вращение и «стоп-стимул».



а



б



в

Периодограммы вестибулярного нистагма здорового испытуемого (а), больного болезнью Меньера (б) и больного невритом слуховых нервов (в), полученные при стимуляции правого (А, В, Д) и левого (Б, Г, Е) лабиринтов соответственно. По оси абсцисс — частота гармоник, Гц; по оси ординат — мощность (квадрат амплитуды) гармоник, дБ; цифры над кривой (1, 3, 5) — первая, третья и пятая гармоники.

при болезни Меньера на периодограммах не была зарегистрирована третья гармоника, независимо от того, в какую сторону производили вращение больного. Частотные и амплитудные значения сохранены первой и пятой гармоник существенно не отличались от таковых, полученных в контрольной группе (см. табл. 1). В качестве примера приводим периодограмму больного, страдающего болезнью Меньера (рисунок, б). Оценка результатов ЭНГ традиционными методами позволила установить наличие двустороннего, более выраженного со стороны пораженного ушного лабиринта, снижения показателей нистагменной реакции, что характерно для данной патологии. Поствращательный нистагм преобладал над вращательным, что свидетельствует о поражении периферического отдела вестибулярного анализатора [1, 2].

Таблица 1. Показатели спектрального анализа вестибулярного нистагма, полученного при вращательной стимуляции у здоровых людей и больных болезнью Меньера ($M \pm m$)

Показатель	Группа людей	
	здоровых (контроль) n=10	больных n=20
Вращение вправо		
Частотные составляющие периодограмм, Гц		
ω_1	$0,32 \pm 0,05$	$0,3 \pm 0,01$
$\omega_3 = 3\omega_1$	$1,01 \pm 0,08$	$0,0 \pm 0,0$
$\omega_5 = 5\omega_1$	$1,62 \pm 0,08$	$1,5 \pm 0,03$
Амплитудные составляющие периодограмм, дБ		
$A_1^2 m / A_3^2 m$	$3,52 \pm 1,3$	$0,0 \pm 0,0$
$A_1^2 m / A_5^2 m$	$4,94 \pm 1,2$	$6,26 \pm 1,2$
Вращение влево		
Частотные составляющие периодограмм, Гц		
ω_1	$0,35 \pm 0,05$	$0,3 \pm 0,02$
$\omega_3 = 3\omega_1$	$1,1 \pm 0,07$	$0,0 \pm 0,0$
$\omega_5 = 5\omega_1$	$1,75 \pm 0,05$	$1,5 \pm 0,03$
Амплитудные составляющие периодограмм, дБ		
$A_1^2 m / A_3^2 m$	$4,32 \pm 1,2$	$0,0 \pm 0,0$
$A_1^2 m / A_5^2 m$	$5,08 \pm 1,3$	$7,34 \pm 0,8$

Примечание. Здесь и в табл. 2 n — число испытуемых.

У больных невритом слуховых нервов реакция на вращение была неоднозначной. По результатам спектрального анализа нистагма выделено четыре типа периодограмм (табл. 2). Так, I тип характеризовался отсутствием пятой гармоники при вращательной стимуляции влево. На ЭНГ отмечали снижение показателей поствращательной нистагменной реакции, полученной при стимуляции левого лабиринта. Установленное в этих наблюдениях превалирование вращательного нистагма над поствращательным свидетельствует о поражении центральных отделов вестибулярного анализатора.

На периодограммах II типа при вращательной стимуляции вправо не была зарегистрирована третья гармоника, при вращении влево — пятая. При этом на ЭНГ наблюдалось превалирование поствращательного нистагма над вращательным на фоне двустороннего повышения всех показателей поствращательного нистагма. Развитие максимальной реакции спустя 5—10 с после начала вращения и «стоп-стимула», дизритмия, тонико-клоничная форма нистагменных зубцов позволяют

Показатель	Тип периодограмм			
	I n=6	II n=7	III n=2	IV n=5
Вращение вправо				
Частотные составляющие периодограмм, Гц				
ω_1	$0,3 \pm 0,0$	$0,28 \pm 0,03$	$0,35 \pm 0,04$	$0,25 \pm 0,01$
$\omega_3 = 3\omega_1$	$1,0 \pm 0,0$	$0,0 \pm 0,0$	$1,05 \pm 0,03$	$0,0 \pm 0,0$
$\omega_5 = 5\omega_1$	$1,5 \pm 0,0$	$1,42 \pm 0,07$	$0,0 \pm 0,0$	$1,25 \pm 0,04$
Амплитудные составляющие периодограмм, дБ				
$A_1^2 m / A_3^2 m$	$5,2 \pm 0,8$	$0,0 \pm 0,0$	$5,2 \pm 0,9$	$0,0 \pm 0,0$
$A_1^2 m / A_5^2 m$	$7,4 \pm 0,07^*$	$7,2 \pm 1,2$	$0,0 \pm 0,0$	$7,6 \pm 1,0^*$
Вращение влево				
Частотные составляющие периодограмм, Гц				
ω_1	$0,26 \pm 0,02$	$0,28 \pm 0,01$	$0,3 \pm 0,03$	$0,25 \pm 0,1$
$\omega_3 = 3\omega_1$	$0,83 \pm 0,05$	$0,88 \pm 0,02$	$1,0 \pm 0,05$	$0,0 \pm 0,0$
$\omega_5 = 5\omega_1$	$0,0 \pm 0,0$	$0,0 \pm 0,0$	$0,0 \pm 0,0$	$0,0 \pm 0,0$
Амплитудные составляющие периодограмм, дБ				
$A_1^2 m / A_3^2 m$	$5,9 \pm 0,5$	$5,6 \pm 0,6$	$8,8 \pm 1,1$	$0,0 \pm 0,0$
$A_1^2 m / A_5^2 m$	$0,0 \pm 0,0$	$0,0 \pm 0,0$	$0,0 \pm 0,0$	$0,0 \pm 0,0$

Примечание. Звездочкой отмечено достоверное изменение параметра по сравнению с таковым контрольной группы.

предположить наличие сочетанного поражения периферического и центрального отделов вестибулярного анализатора.

На периодограммах III типа при вращении вправо и влево не была зарегистрирована пятая гармоника. В этой группе больных показатели нистагменной реакции были снижены с обеих сторон по сравнению с таковыми контрольной группы. Вращательный нистагм превалировал над поствращательным, что характерно для поражения центральных отделов вестибулярного анализатора.

И наконец, IV тип периодограмм отличался тем, что при вращении вправо «выпадала» третья гармоника, при вращении влево — третья и пятая. Наблюдаемое на ЭНГ преобладание поствращательного нистагма над вращательным на фоне снижения показателей нистагменной реакции, тоничная форма нистагменных зубцов, дизритмия, «немые поля» позволяют сделать заключение о наличии в этих случаях изменений в периферическом и центральном отделах вестибулярного анализатора. В качестве иллюстрации приводим периодограмму II типа больного невритом слуховых нервов (рисунок, в).

Следует отметить, что частотные характеристики сохранных гармоник не отличались от таковых контрольной группы. Амплитудные спектры достоверно превышали цифровые значения этих показателей у здоровых людей лишь в единичных случаях.

Таким образом, сопоставляя результаты спектрального анализа с оценкой ЭНГ по общепринятой методике, можно предположить, что третья гармоника отражает состояние периферического, а пятая — центрального отделов вестибулярного анализатора. Эти данные можно рассматривать в качестве отличительных признаков состояния вестибулярного анализатора и использовать для выяснения его патологии и уточнения локализации процесса.

Полученные результаты являются предварительными и требуют дальнейшего изучения, так как ограниченная длина исследуемых реализаций при вращательной пробе и, как следствие этого, предельная