

А. А. ГЕНКИН

СВЯЗЬ КОЛЕБАНИЙ АСИММЕТРИИ ДЛИТЕЛЬНОСТЕЙ ФАЗ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ С ДЫХАТЕЛЬНОЙ РИТМИКОЙ

(Представлено академиком М. Н. Ливановым 9 XII 1970)

В электроэнцефалограмме при некоторых специальных условиях регистрируется ритм, синхронный с ритмом дыхания (¹⁻³). Особенно четко он регистрируется при умирании организма (⁴). Этот ритм не является артефактом и, по-видимому, отражает тонические влияния, идущие из ретикулярной формации в ростральные отделы головного мозга (⁵).

В настоящее время отсутствуют какие-либо теоретические соображения или экспериментальные факты, убеждающие в том, что дыхательный ритм в э.э.г. может играть какую-либо регулирующую роль при обычных физиологических условиях. В то же время нельзя не считаться с тем, что у человека функция дыхательного ритма — это не только энергетическое обеспечение, но и обеспечение речевой деятельности; ритм дыхания оказывается чутким индикатором напряжения внимания, волевых и эмоциональных реакций. Поэтому, если допустить, как это делается в настоящее время, что э.э.г. отражает интегрирующие механизмы достаточно высокого уровня, то наличие взаимосвязи между ритмом дыхания и э.э.г. при обычных условиях жизнедеятельности является не только правдоподобной, но и необходимой предпосылкой координированного поведения. То, что на такую связь мало обращалось внимания, обусловлено методическими трудностями выявления в э.э.г. медленных ритмов, сопоставимых с ритмом дыхания. Легко доступная для наблюдения огибающая альфа-ритма лишь при специальных условиях оказывается закономерно связанной с колебаниями пневмограммы (⁶).

Огибающая альфа-ритма является одним из многих медленных процессов, которые могут быть выделены из э.э.г. Для наших целей большой интерес представляют медленные колебания асимметрии длительностей восходящих и нисходящих фаз э.э.г. (⁷⁻⁸). Этот интерес обуславливается тем, что асимметрия длительностей фаз с одной стороны связана с медленными тоническими поляризационными явлениями в головном мозгу, с другой — является индикатором тонких психофизиологических состояний: уровня бодрствования, внимания, деятельности и т. п. (^{9, 10}).

При записи э.э.г. 60 мм/сек за 10 сек. интервал приходится 0,5 м бумажной ленты; за это же время регистрируется только 2—3 дыхательных цикла. Поэтому совместное наблюдение и исследование колебаний $\{\Delta_{1 \text{ сек}}\}$ и пневмограммы оказалось целесообразным проводить после реконструкции пневмограммы на специальном графике.

Сопоставление э.э.г. и пневмограммы осуществлено для 5 человек в возрасте 20 лет для больших интервалов времени, соответствующих разным состояниям: покой, различная умственная активность, гипноз и сон.

Частота колебаний асимметрии $\{\Delta_{1 \text{ сек}}\}$ оценивалась по количеству максимумов в рассматриваемый интервал времени с последующим пересчетом для минутного интервала. Интервалы, в которых сопоставлялись пневмограмма и э.э.г., варьировали от 40 до 120 сек. Всего по всем испытуемым проведено 90 таких сопоставлений.

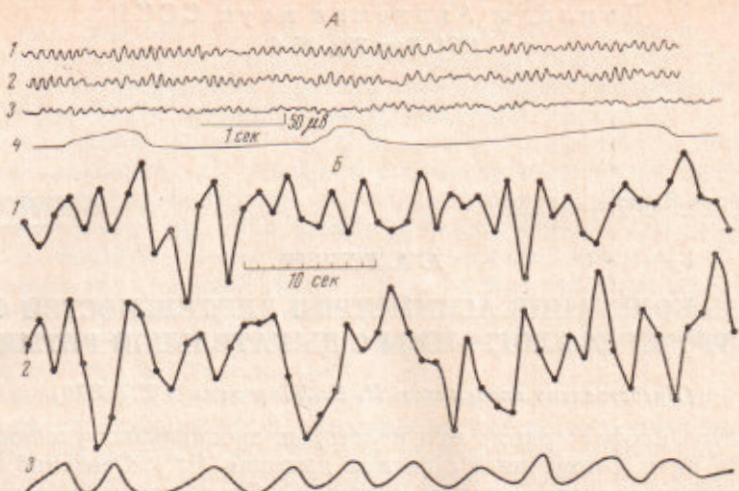


Рис. 1. Иллюстрация соотношений двух колебательных процессов: пневмограммы и асимметрии длительностей фаз э.э.г. *А* — э.э.г. трех отведений и пневмограмма. 1 — нижнетеменно-затылочное отведение ($P_4 - O_2$), 2 — затылочное униполярное ($A_2 - O_2$), 3 — лобное униполярное ($A_2 - F_1$), 4 — пневмограмма. Для пневмограммы отклонение вверх — вдох. *Б* — динамика последовательных значений $\{\Delta_{1 \text{ сек}}\}$ с соответствующей реконструкцией пневмограммы. 1 — $\{\Delta_{1 \text{ сек}}\}$ лобного отведения ($A_2 - F_1$); 2 — $\{\Delta_{1 \text{ сек}}\}$ затылочного отведения ($A_2 - O_2$); 3 — пневмограмма

На рис. 1*А* приводится запись трех отведений э.э.г. и пневмограммы, а ниже, на рис. 1*Б*, динамика последовательных значений для 40-секундного образца э.э.г. лобной и затылочной области с соответствующей реконструкцией пневмограммы.

Анализ графиков, подобных рис. 1*Б* показал, что частота пневмограммы $N_{\text{дых}}$ близка к частоте $\{\Delta_{1 \text{ сек}}\} - N_{\{\Delta_{1 \text{ сек}}\}}$, но полное соответствие частот бывает редко. И даже в тех случаях, когда $N_{\text{дых}}$ совпадает с $N_{\{\Delta_{1 \text{ сек}}\}}$ фазовые отношения между рассматриваемыми процессами отличаются большой вариабельностью. Тем не менее, в некоторых интервалах времени наблюдается четкая синфазность или противофазность $\{\Delta_{1 \text{ сек}}\}$ и пневмограммы. Иногда такая когерентность имеет место для одного из отведений э.э.г., в другие интервалы времени — для другого.

Удобным способом выявления взаимосвязи $N_{\text{дых}}$ и $N_{\{\Delta_{1 \text{ сек}}\}}$ оказалось сопоставление гистограмм рассматриваемых параметров для таких состояний человека, когда частота дыхания существенно различается.

На рис. 2 приводятся сводные данные такого сопоставления.

Гистограммы построены для 45 интервалов, соответствующих пассивным состояниям: покой лежа с закрытыми глазами, сон, гипноз (рис. 2*А, Б*), и для 38 интервалов во время ненапряженной умственной работы (выполнение специальных тестов: делимость на три, тесты на запоминание и воспроизведение, логические задачи и др.) (рис. 2*В, Г*).

Понятно, что для сопоставляемых состояний средняя частота дыхания оказывается существенно различной (мода 15 кол/м в первом случае и 18 кол/м во втором). Но то, что при переходе к активному состоянию и увеличению частоты дыхания наблюдается замедление частоты колебания $\{\Delta_{1 \text{ сек}}\}$ э.э.г., представляется весьма неожиданным фактом. Из этого факта следует, что величина $\delta N = N_{\text{дых}} - N_{\{\Delta_{1 \text{ сек}}\}}$, рассогласование между частотой $\{\Delta_{1 \text{ сек}}\}$ и пневмограммы может рассматриваться как информативная мера уровня активности психических состояний.

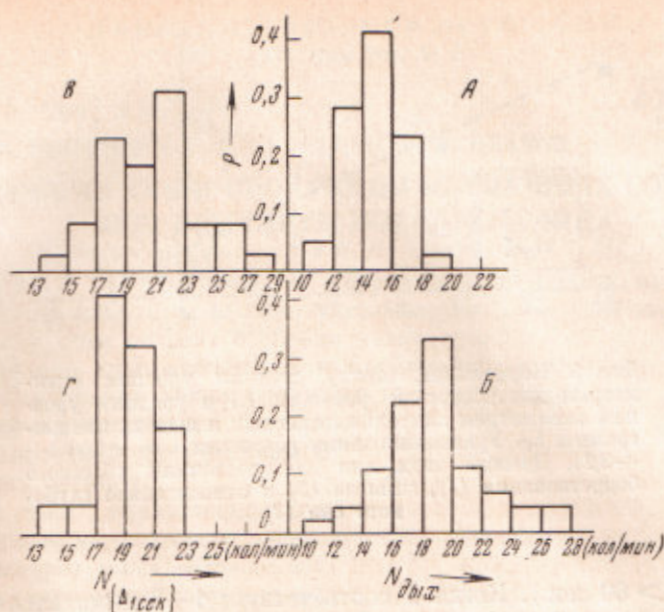


Рис. 2. Гистограммы частоты дыхания (А, В) и частоты колебаний (В, Г) при пассивных (А, В) и активных (В, Г) состояниях

Выявленный феномен, вообще говоря, не является еще доказательством наличия причинной связи между рассматриваемыми колебательными процессами. И тем не менее, детальный анализ колебаний $\{\Delta t_{\text{сек}}\}$ различных отведений э.э.г., который не может быть представлен в кратком сообщении, дает основание рассматривать эту связь как физиологически обусловленную. Более того, механизм связи глобального физиологического процесса, каким является дыхательный ритм (пневмограмма) с относительно локальным электрическим явлением (колебания асимметрии длительностей фаз определенного отведения э.э.г.), по-видимому, следует рассматривать как модель общего физиологического механизма системной организации и координации в биологических системах (¹¹⁻¹⁵). В связи с этим обращается внимание на то, что отношение между пневмограммой и динамикой $\{\Delta t_{\text{сек}}\}$ удивительно напоминает отношения между колебаниями электрического макропроцесса — э.э.г. и колебаниями мембранного потенциала единичной нервной клетки (¹⁶⁻¹⁸). То, что эта аналогия не поверхностная, видно из следующих соображений.

В ц.н.с. известны такие нервные клетки, мембраны которых колеблются синхронно с фазами дыхания (¹⁹). Следовательно, асимметрия дыхательного цикла — отношение длительности входа к длительности всего дыхательного цикла — есть некоторая характеристика поляризационных отношений в системе нейронов, управляющих дыханием. Известно, что эта характеристика изменяется при эмоциональном возбуждении, активизации внимания и развитии утомления; развития изменения асимметрии могут происходить при неизменности средней частоты дыхания.

Оказалось, что средний уровень асимметрии длительностей фаз э.э.г., усредняемый за длительный интервал времени ΔT , почти строго коррелирует со средним уровнем асимметрии пневмограммы λ_T . Эта зависимость иллюстрируется на рис. 3 (получена совместно с Е. Ф. Мординовым).

Не лишне отметить, что подобная зависимость наблюдается лишь при достаточно больших интервалах усреднения сопоставляемых переменных

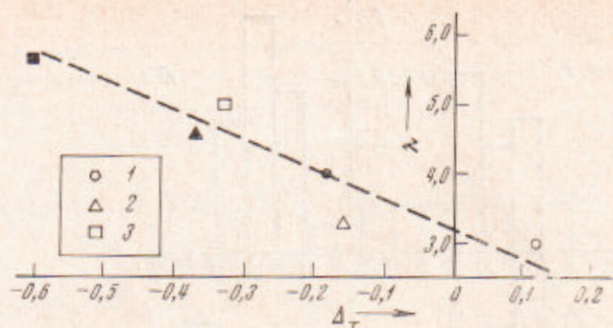


Рис. 3. Корреляция между средним уровнем асимметрии длительностей фаз з.э.г. Δ_T и средним уровнем асимметрии длительности вдоха и выдоха пневмограммы λ_T . Уравнение линии регрессии $\lambda = -4,08 \Delta + 3,24$. Данные двух лиц для состояния обычного бодрствования (1), гипноза (2) и относительно глубокого сна (3)

Δ_T и λ_T ($T > 60$ сек.). Когда T соответствует 1—3 дыхательным циклам, корреляция между Δ_T и λ_T наблюдается не всегда.

Последнее замечание не должно помешать сделать вывод о том, что изменение уровня поляризации в дыхательном центре (а точнее в группе пейронов определенного типа), сопутствующее изменению состояния ц.н.с., индуцирует изменение и поляризации определенного знака в локальных областях коры. Хотелось бы думать, что это будут те области коры, которые в данный момент особенно нуждаются в помощи для правильного функционирования. Эту помощь следует понимать не только как локальное усиление притока кислорода, но и как организацию информационного процесса, реализующегося через структурные изменения возбудимости соответствующих нервных элементов.

Есть все основания считать, что детальный анализ пневмограммы и колебаний $\{\Delta_{i \text{ сег.}}\}$ з.э.г. различных областей мозга будет способствовать расшифровке сложнейшего физиологического механизма, когда диффузный и общий процесс в то же время обеспечивает весьма локальные и специализированные отправления.

Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова
Ленинград

Поступило
9 XII 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ М. Н. Ливанов, К. Л. Поляков, Изв. АН СССР, 3, 1945, стр. 286. ² Т. А. Королькова, Тр. Инст. высш. нервн. деят. АН СССР, сер. физиол., 2, 181 (1956). ³ В. И. Бут, В. И. Климова-Черкесова, В кн. Механизмы нервной деятельности, Л., 1969, стр. 3. ⁴ А. М. Гурвич, Электрическая активность умирающего и оживающего мозга, М., 1966. ⁵ А. И. Ройтбак, Физиол. журн. СССР, 40, 3 (1954). ⁶ А. А. Генкин, Докл. Акад. пед. наук, 4, 99 (1962). ⁷ Е. Ю. Артемьева, Л. Д. Мешалкин, Е. Д. Хомская, В кн. Математический анализ электрических явлений мозга, «Наука», 1965, стр. 87. ⁸ И. П. Емельянов, В сборн. Роль глубоких структур головного мозга человека в механизмах патологических реакций, Л., 1965, стр. 56. ⁹ А. А. Генкин, ДАН, 149, № 6 (1963). ¹⁰ А. А. Генкин, Биофизика, 10, 5, 868 (1965). ¹¹ К. С. Лэшли, Мозг и интеллект, М., 1933. ¹² А. А. Ухтомский, Парализ и доминанта. Собр. соч., 2, Л., 1950. ¹³ Н. А. Берштейн, Очерки по физиологии движений и физиологии активности, М., 1966. ¹⁴ П. К. Анохин, В сборн. Проблема центра и периферии в физиологии нервной деятельности, Горький, 1935, стр. 9. ¹⁵ Л. А. Орбели, Лекции по физиологии нервной системы, Л.—М., 1934. ¹⁶ O. D. Creutzfeldt, S. Watanabe, H. D. Lux, EEG and Clin. Neurophysiol., 20, 19 (1966). ¹⁷ M. R. Klee, K. O. Henloch, J. Tiggers, Science, 147, 519 (1965). ¹⁸ R. Elul, Physiologist, 8, 159 (1965). ¹⁹ T. A. Sears, J. Physiol., 175, № 3, 404 (1964).