

УДК 537.874

ОЦЕНКА ЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ОПЕРАТОРА ПРИ НАЛИЧИИ ОПРЕДЕЛЕННЫХ ПАТТЕРНОВ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММ



А.В. Сидоренко

профессор факультета радиофизики и компьютерных технологий, доктор технических наук



Н.А. Солодухо

старший преподаватель факультета радиофизики и компьютерных технологий, магистр физико-математических наук

*Белорусский государственный университет, Республика Беларусь.
E-mail: sidorenkoa@yandex.ru.*

Сидоренко А. В.

Окончила Белорусский государственный университет. Работает в должности профессора факультета радиофизики и компьютерных технологий БГУ, д. т. н. Специалист в области обработки и анализа биомедицинских сигналов; применения нелинейных методов, включая детерминированный хаос, в области защиты информации.

Солодухо Н. А.

Окончил Белорусский государственный университет, магистратуру и аспирантуру. Работает в должности старшего преподавателя факультета радиофизики и компьютерных технологий БГУ. Проводит научные исследования в области работы головного мозга, обработки биоэлектрических сигналов, шумового излучения.

Аннотация. Проведены экспериментальные исследования электроэнцефалограмм при различных паттернах ЭЭГ (электроэнцефалограмм). Показано, что при воздействии электромагнитного шумового излучения на человека он испытывает злость; при легких диффузных изменениях ЭЭГ в виде дезорганизации коркового ритма женщина испытывает злость или радость. При паттернах, соответствующих умеренно выраженным диффузным изменениям в виде дезорганизации коркового ритма на сниженном амплитудном уровне у женщин; умеренно выраженным диффузным изменениям на сниженном амплитудном уровне у мужчин; пароксизмальном состоянии неуточненного генеза у мужчин наблюдается радость. Электроэнцефалограммы анализировались в стандартных отведениях. Проанализированы количественные параметры эмоционального состояния оператора, выраженные спектральной плотностью мощности ритмических компонент мозга, возбуждением, эмоциональной валентностью. Показано, что в каждом из рассмотренных паттернов наблюдается возрастание возбуждения.

Ключевые слова: шум, человек, излучение, эмоции, электроэнцефалограмма, паттерны ЭЭГ.

Введение.

Благодаря развитию технологий человек все чаще встречается с электромагнитным излучением, в том числе и шумовым. Источниками такого излучения может быть как специальное оборудование, так и бытовые приборы, такие как компьютеры, телевизоры, СВЧ-печи, мобильные телефоны, смартфоны и т. д. Для защиты информации от несанкционированного доступа по каналам электромагнитных излучений и наводок могут использоваться радиопоглощающие материалы и генераторы электромагнитного шума. Одним из показателей состояния центральной нервной системы является эмоциональное состояние. Важно оценить это состояние под воздействием электромагнитного шумового излучения. Оценка эмоционального состояния будет способствовать введению и коррекции норм работы с оборудованием, генерирующим электромагнитное излучение.

На сегодняшний момент в научной литературе присутствуют противоречивые данные о

влиянии электромагнитного излучения [1, 2], в том числе и шумового [5], на центральную нервную систему человека.

В связи с этим целью работы стало исследование эмоционального состояния оператора под воздействием электромагнитных шумовых излучений, различных паттернов ЭЭГ с использованием в качестве количественных параметров электроэнцефалограмм: спектральной плотности мощности, возбуждения и эмоциональной валентности.

Методы анализа эмоционального состояния человека по электроэнцефалограммам. Эмоциональные состояния представляют собой психические состояния, которые возникают в процессе жизнедеятельности субъекта и определяют не только уровень информационно-энергетического обмена, но и направленность поведения. Эмоциональное состояние человека может быть оценено такими количественными параметрами, как эмоциональная валентность и возбуждение. Измеряемыми показателями, на основе которых определяется возбуждение и эмоциональная валентность, являются спектральная плотность мощности альфа-ритма электроэнцефалограмм в отведениях Fpz, F3, F4 и бета-ритма электроэнцефалограммы в отведении Fpz.

Возбуждение отражает степень расслабленности человека. Возбуждение A рассчитывается как отношение спектральной плотности мощности бета-ритма к спектральной плотности мощности альфа-ритма электроэнцефалограммы отведения Fpz.

$$A = I_{Fpz\beta} / I_{Fpz\alpha} \quad (1)$$

где $I_{Fpz\beta}$ – спектральная плотность мощности бета-ритма электроэнцефалограммы отведения Fpz, $I_{Fpz\alpha}$ – спектральная плотность мощности альфа-ритма электроэнцефалограммы отведения Fpz.

Эмоциональная валентность отражает позитивность или негативность испытываемой эмоции. Чем больше эмоциональная валентность, тем приятнее испытываемая эмоция. Эмоциональная валентность рассчитывается как отношение спектральной плотности мощности альфа-ритма электроэнцефалограммы отведения F3 к спектральной плотности мощности альфа-ритма электроэнцефалограммы отведения F4:

$$V = I_{F3\alpha} / I_{F4\alpha} \quad (2)$$

где $I_{F3\alpha}$ – спектральная плотность мощности альфа-ритма электроэнцефалограммы отведения F3, $I_{F4\alpha}$ – спектральная плотность мощности альфа-ритма электроэнцефалограммы отведения F4 [6].

Возможна оценка эмоций, испытывает человек радость, злость или грусть, исходя из изменения спектральной плотности мощности тета-, альфа-, бета-, гамма-ритмов в отведении Fp1 (рисунок 1).

Возможна оценка эмоций, испытывает человек радость или грусть, исходя из изменения логарифма среднего значения альфа-ритма в отведениях P3 и P4 (рисунок 2). При радости или грусти альфа-ритм в левом отведении P3 ниже, чем в правом отведении P4. Отметим, что тенденция изменения логарифма среднего значения совпадает с тенденцией изменения спектральной плотности мощности.

Еще одним способом оценки, испытывает человек радость или грусть, является измерение логарифма среднего значения бета-ритма в разных областях головы (рисунок 3). При радости и грусти логарифм среднего значения в передней области головы и в теменной области головы справа должен быть выше, чем слева (для передней области головы правые отведения – это отведения Fp2 и F4, левые отведения – Fp1, F3; для теменной области головы правое отведение это P4, левое – P3). При грусти в центральной области головы логарифм среднего значения бета-ритма слева (отведение C3) должен быть выше, чем справа (отведение C4). При радости – логарифм среднего значения бета-ритма слева (отведение C3) должен быть ниже, чем справа (отведение C4).

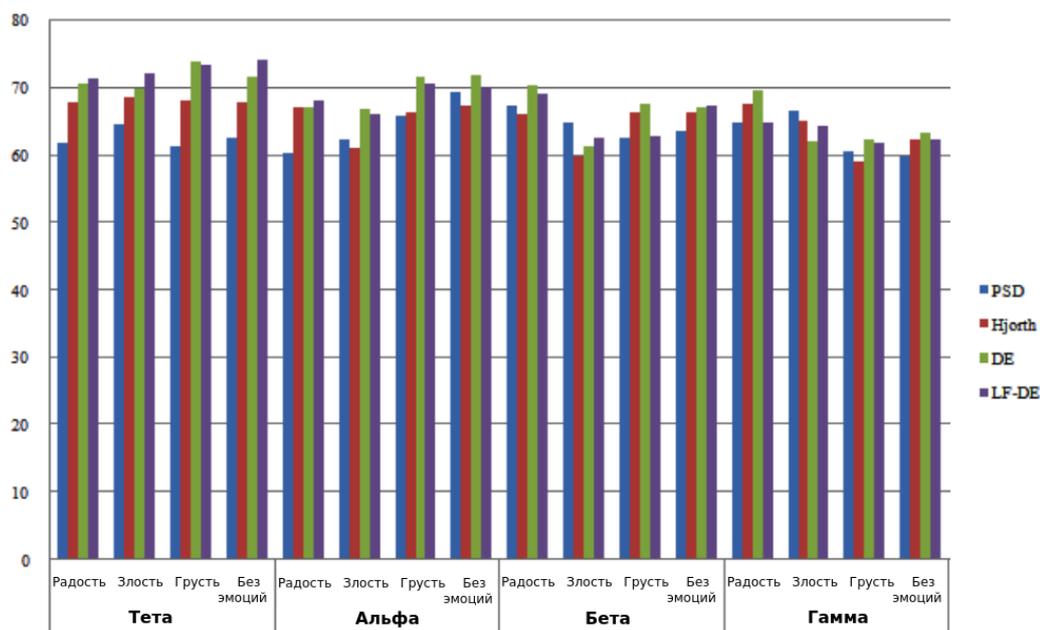


Рисунок 1. Изменение спектральной плотности мощности (PSD), параметра Юрта (Hjorth), дифференциальной энтропии (DE), линейной формализации дифференциальной энтропии (LF-DE) в отведении Fp1 [7]

Методика проведения исследований. Регистрация электроэнцефалограмм осуществлялась по схеме «10/20» с использованием электроэнцефалографа «Нейрокартограф» фирмы МБН. Погрешность измерения данного электроэнцефалографа составляет 5 % [9]. Обработка и анализ электроэнцефалограмм проводились в разработанной авторами информационно-измерительной системе, адаптированной для работы с электроэнцефалограммами [10]. Электроэнцефалограммы обрабатывались в следующих режимах: фон 1, наличие генератора электромагнитного шумового излучения; фон 2; состояние 1 – легкие диффузные изменения ЭЭГ в виде дезорганизации коркового ритма (женщина); состояние 2 – умеренно выраженные диффузные изменения в виде дезорганизации коркового ритма на сниженном амплитудном уровне (женщина); фон 3; состояние 3 – умеренно выраженные диффузные изменения на сниженном амплитудном уровне (мужчина); состояние 4 – пароксизмальное состояние неуточенного генеза (мужчина).

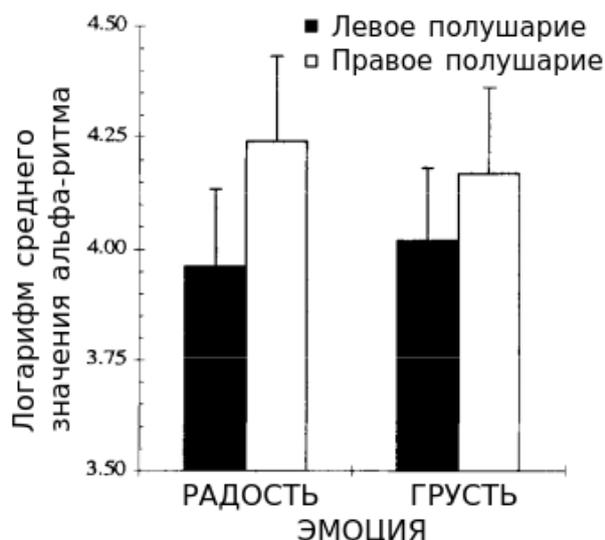


Рисунок 2. Гистограммы распределения логарифма среднего значения альфа-ритма для радостных и грустных эмоций для теменной области головы [8]

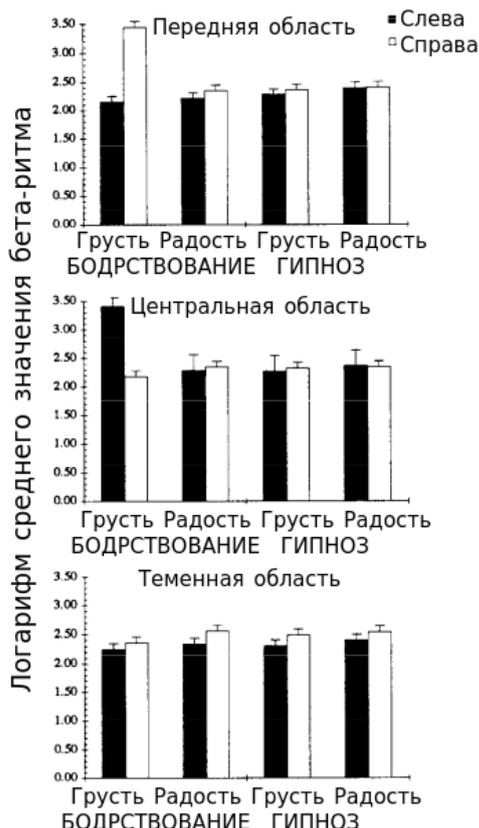


Рисунок 3. Гистограммы распределения логарифма среднего значения бета-ритма во время состояний бодрствования и под гипнозом [8]

В качестве фона 1, фона 2, фона 3 использовались электроэнцефалограммы здорового человека. Фоновое состояние, используемое для сравнения с изменениями при наличии генератора шума (фон 1) отличается от фонового состояния, используемого для сравнения с изменениями при других паттернах ЭЭГ (фон 2 – норма для женщин, фон 3 – норма для мужчин). Данная особенность обусловлена разным временем получения электроэнцефалограмм, их разной длиной и разным количеством используемых в этих измерениях отведений.

Объектом исследований являлись электроэнцефалограммы следующих отведений Fp1, Fp2, F3, F4, P3, P4, C³, C⁴, Fpz. Сигнал отведения Fpz был получен усреднением соответствующих значений сигналов отведений Fp1 и Fp2. Спектральная плотность мощности ритмов головного мозга рассчитывалась с помощью быстрого преобразования Фурье. Анализируемые диапазоны ритмов включали: альфа-ритм (8-12 Гц), бета-ритм (12–20 Гц), тета-ритм (4–8 Гц), гамма-ритм (20-40 Гц).

Результаты. Оценим изменения возбуждения и эмоциональной валентности (рисунки 4-6).

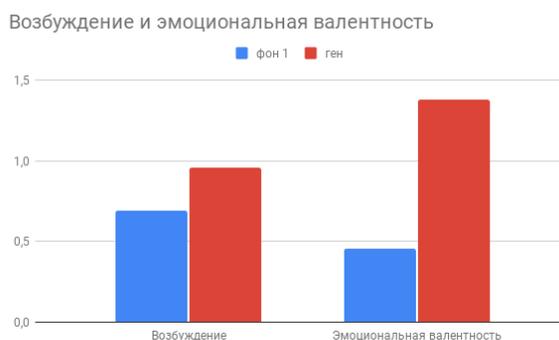


Рисунок 4. Изменения возбуждения и эмоциональной валентности при наличии генератора электромагнитного шума

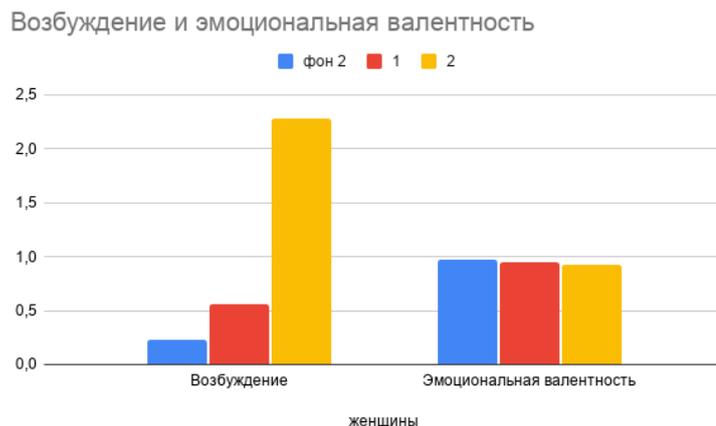


Рисунок 5. Изменения возбуждения и эмоциональной валентности у женщин

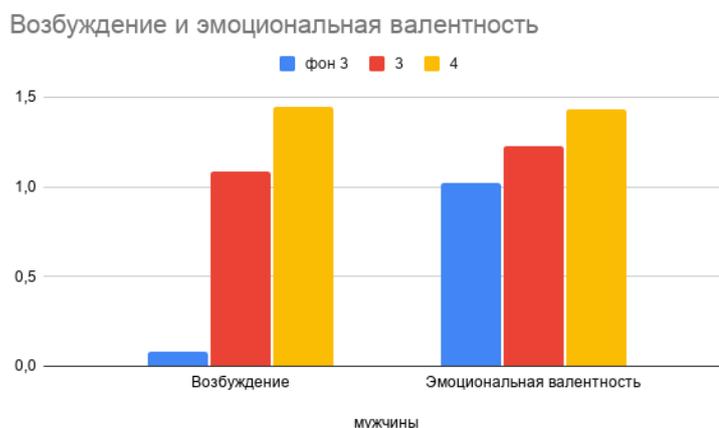


Рисунок 6. Изменения возбуждения и эмоциональной валентности у мужчин

Значение эмоциональной валентности при воздействии электромагнитного шумового излучения увеличилось более чем в три раза относительно фона, а возбуждение выросло на 38,3 % относительно фона (рисунок 4). Это является подтверждением положительных эмоций, свидетельствует о появлении возбуждения при наличии генератора шума. Значение эмоциональной валентности в состоянии 1 упало на 3,2 % от фонового значения (изменения не превышают погрешность), в состоянии 2 – уменьшилось на 4,6 % (изменения не превышают погрешность) от фона, в состоянии 3 – увеличилось на 20,2 % от значения фона, в состоянии 4 – возросло на 39,9 % от фона (рисунки 5 и 6). Данные результаты свидетельствуют о появлении положительной эмоции в состояниях 3 и 4. Возбуждение выросло в состоянии 1 в 2,5 раза относительно фона; в состоянии 2 – увеличилось в 10,2 раза от фонового значения; в состоянии 3 – выросло в 14 раз от значения возбуждения фона; в состоянии 4 – увеличилось в 18,7 раза от фонового значения (рисунки 5 и 6). Полученные данные свидетельствуют о появлении возбуждения во всех режимах измерения.

Рассмотрим изменения спектральной плотности мощности в отведении Fp1 (рисунки 7-9). Под действием электромагнитного шума в отведении Fp1 спектральная плотность мощности тета-ритма растет в 2,2 раза от фонового значения; альфа-ритма – в 3,5 раза; бета-ритма – в 5 раз; гамма-ритма – в 5,1 раза от фонового значения. Изменение спектральной плотности мощности тета-, бета – и гамма-ритмов соответствует изменению при злости, а изменение альфа-ритма не соответствует изменению ни при одной из эмоций из анализа (рисунок 1).

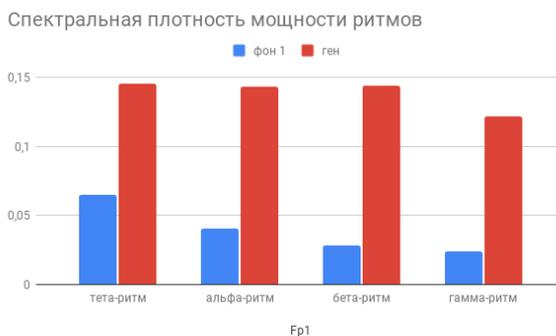


Рисунок 7. Изменения спектральной плотности мощности в отведении Fr1 при наличии излучения генератора шума

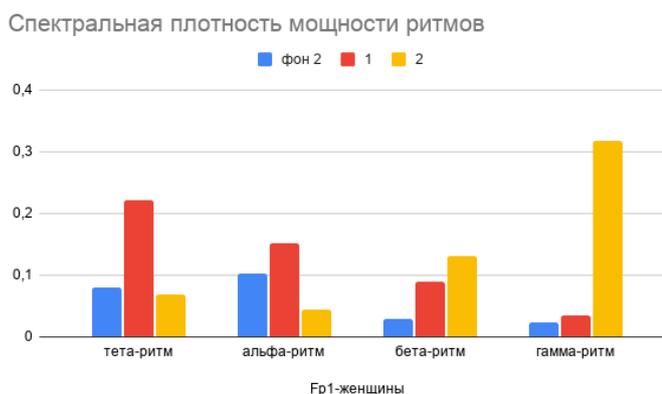


Рисунок 8. Изменения спектральной плотности мощности в отведении Fr1

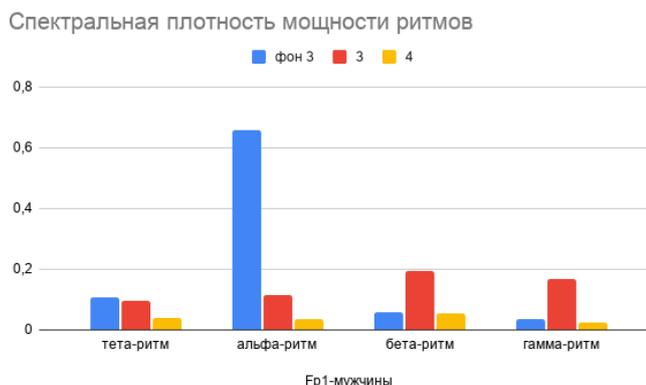


Рисунок 9. Изменения спектральной плотности мощности в отведении Fr1

Под действием состояния 1 в отведении Fr1 спектральная плотность мощности тета-ритма растет в 2,8 раза от фонового значения; альфа-ритма – увеличивается на 48,2 %; бета-ритма – растет в 3,2 раза; гамма-ритма – увеличивается на 48,6 % от фонового значения (рисунок 8). Изменение спектральной плотности мощности тета-ритма соответствует злости, альфа-ритма – не соответствует ни одной из эмоций, бета-ритма – соответствует злости и радости, и гамма-ритма соответствует изменению при злости, радости и грусти (рисунок 1). Под действием состояния 2 в отведении Fr1 спектральная плотность мощности тета-ритма падает на 13,1 % от фонового значения; альфа-ритма – уменьшается в 2,4 раза; бета-ритма – растет в 4,6 раза; гамма-ритма – увеличивается в 13,3 раза от фона (рисунок 8). Изменение спектральной плотности мощности тета-ритма соответствует радости и грусти, альфа-ритма – соответствует злости, радости и грусти, бета-ритма – соответствует злости и

радости, и гамма-ритма соответствует изменению при злости, радости и грусти (рисунок 1). Резюмируя, можно сказать, что человек в состоянии 2 испытывает радость. Под действием состояния 3 в отведении Fp1 спектральная плотность мощности тета-ритма падает на 9,3 % от фонового значения; альфа-ритма – уменьшается в 5,7 раза; бета-ритма – растет в 3,4 раза; гамма-ритма – увеличивается в 4,8 раза от фона (рисунок 9). Изменение спектральной плотности мощности тета-ритма соответствует радости и грусти, альфа-ритма – соответствует злости, радости и грусти, бета-ритма – соответствует злости и радости, и гамма-ритма соответствует изменению при злости, радости и грусти (рисунок 1). Резюмируя, можно сказать, что человек в состоянии 3 испытывает радость. Под действием состояния 4 в отведении Fp1 спектральная плотность мощности тета-ритма падает в 2,8 раза от фонового значения; альфа-ритма – уменьшается в 19,1 раза; бета-ритма – падает на 5,8 %; гамма-ритма – уменьшается на 34,6 % от фона (рисунок 9). Изменение спектральной плотности мощности тета-ритма соответствует радости и грусти, альфа-ритма – соответствует злости, радости и грусти, бета-ритма – соответствует злости и радости, и гамма-ритма не соответствует ни одной из эмоций (рисунок 1). Резюмируя, можно сказать, что человек в состоянии 4 испытывает радость.

Рассмотрим изменения спектральной плотности мощности альфа-ритма в отведениях P3 и P4 (рисунки 10-12). В отведении P3 наблюдалось повышение значения спектральной плотности мощности альфа-ритма при наличии генератора шума почти в 3,4 раза относительно фонового значения; в отведении P4 спектральная плотность мощности альфа-ритма при наличии генератора шума снизилась на 23,2 % относительно фона (рисунок 10). Для остальных паттернов для отведения P3 наблюдаются следующие закономерности. В состоянии 1 спектральная плотность мощности альфа-ритма выросла на 52,6 %; в состоянии 2 – уменьшилась на 28,2 %; в состоянии 3 – уменьшилась в 3,9 раза; в состоянии 4 – уменьшилась в 3,8 раза (рисунки 11 и 12). Для отведения P4 наблюдаются следующие закономерности. В состоянии 1 спектральная плотность мощности альфа-ритма выросла на 54,8 %; в состоянии 2 – уменьшилась в 3,8 раза; в состоянии 3 – уменьшилась в 3,2 раза; в состоянии 4 – уменьшилась в 3,6 раза (рисунки 11 и 12).

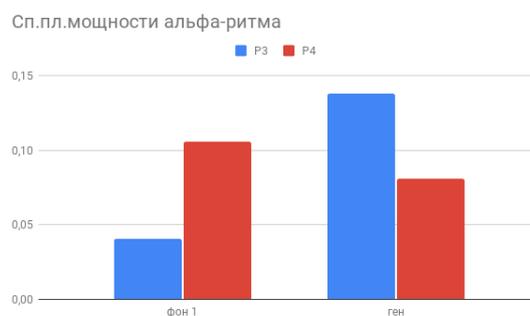


Рисунок 10. Изменения спектральной плотности мощности альфа-ритма в отведениях P3 и P4 при наличии излучения генератора шума

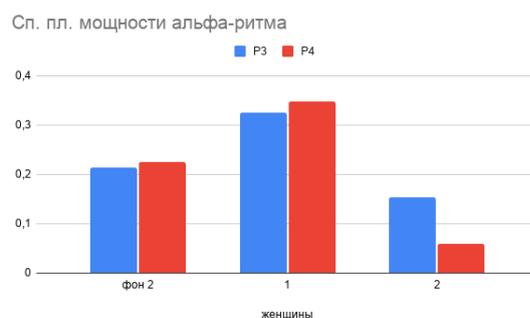


Рисунок 11. Изменения спектральной плотности мощности альфа-ритма в отведениях P3 и P4 для женщин

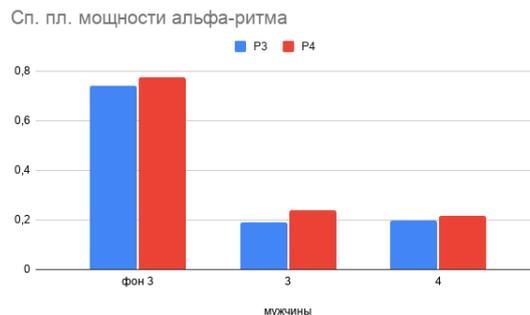


Рисунок 12. Изменения спектральной плотности мощности альфа-ритма в отведениях P3 и P4 для мужчин

Сравнивая рисунок 2 и рисунки 10-12, можно сделать заключение, что в состояниях 1, 3 и 4 человек испытывает радость или грусть.

Рассмотрим изменения спектральной плотности мощности бета-ритма (рисунки 13-15) в разных областях головы (левая передняя область – отведения Fp1, F3; правая передняя область – отведения Fp2, F4; левая центральная область – отведение C³; правая центральная область – отведение C⁴; левая теменная область – отведение P3; правая теменная область – отведение P4). В левой передней области головы спектральная плотность мощности бета-ритма при наличии генератора шума оказалась в 4,8 раза больше фонового значения; в правой передней области головы спектральная плотность мощности бета-ритма при наличии генератора шума оказалась на 43,2 % больше фонового значения. В отведении C³ наблюдалось возрастание значения спектральной плотности мощности бета-ритма при наличии генератора шума в 4,5 раза относительно фонового значения; в отведении C⁴ спектральная плотность мощности бета-ритма при наличии генератора шума выросла на 49,7 % относительно фона; в отведении P3 наблюдалось повышение значения спектральной плотности мощности бета-ритма при наличии генератора шума в 3,5 раза относительно фонового значения; в отведении P4 спектральная плотность мощности бета-ритма при наличии генератора шума снизилась на 16,7 % относительно фона (рисунок 13).



Рисунок 13. Изменения спектральной плотности мощности бета-ритма в разных областях головы при наличии излучения генератора шума

Для остальных паттернов ЭЭГ наблюдаются следующие закономерности. В передней левой области головы спектральная плотность мощности бета-ритма в состоянии 1 выросла в 2,4 раза от фонового значения; в состоянии 2 – выросла в 3,5 раза от фона; в состоянии 3 – увеличилась в 4 раза от значения фона; в состоянии 4 – повысилась в 2,3 раза от фона. В передней правой области головы спектральная плотность мощности бета-ритма в состоянии 1 выросла в 3,1 раза от фонового значения; в состоянии 2 – выросла в 3,8 раза от фона; в состоянии 3 – увеличилась в 2,6

раза от значения фона; в состоянии 4 – повысилась на 23 % от фона. В отведении С³ спектральная плотность мощности бета-ритма в состоянии 1 выросла на 68,5 % от фонового значения; в состоянии 2 – выросла в 2,5 раза от фона; в состоянии 3 – увеличилась в 4,6 раза от значения фона; в состоянии 4 – повысилась в 5,1 раза от фона (рисунки 14 и 15).

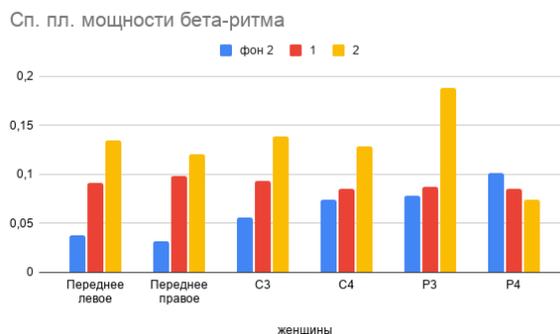


Рисунок 14. Изменения спектральной плотности мощности бета-ритма в разных областях головы для женщин

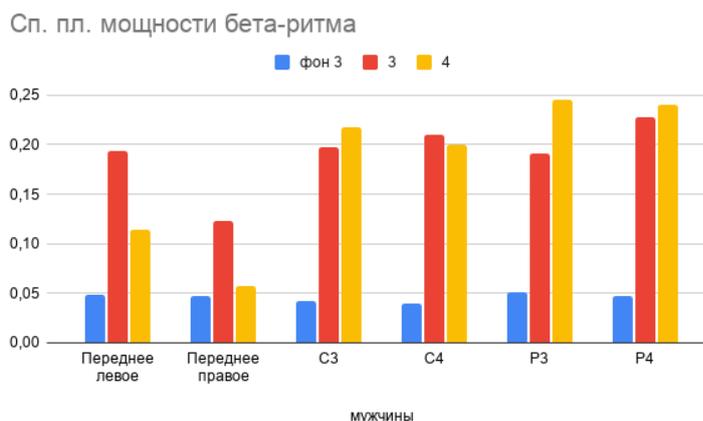


Рисунок 15. Изменения спектральной плотности мощности бета-ритма в разных областях головы для мужчин

В отведении С⁴ спектральная плотность мощности бета-ритма в состоянии 1 выросла на 15,4 % от фонового значения; в состоянии 2 – выросла на 74,2 % от фона; в состоянии 3 – увеличилась в 5,2 раза от значения фона; в состоянии 4 – повысилась в 5 раз от фона (рисунки 14 и 15). В отведении Р3 спектральная плотность мощности бета-ритма в состоянии 1 выросла на 12,8 % от фонового значения; в состоянии 2 – выросла в 2,4 раза от фона; в состоянии 3 – увеличилась в 3,8 раза от значения фона; в состоянии 4 – повысилась в 4,8 раза от фона (рисунки 14 и 15). В отведении Р4 спектральная плотность мощности бета-ритма в состоянии 1 упала на 15,8 % от фонового значения; в состоянии 2 – уменьшилась на 27,3 % от фона; в состоянии 3 – увеличилась в 4,9 раза от значения фона; в состоянии 4 – повысилась в 5,1 раза от фона (рисунки 14 и 15). Сравнивая рисунок 7 и рисунки 13-15, можно заключить, что человек в состоянии 3 испытывает радость.

Выводы. Проведен комплекс экспериментальных исследований электроэнцефалограмм отведений Fpz, Fp1, Fp2, F3, F4, С3, С4, Р3, Р4. Приведены полученные результаты при действии на оператора электромагнитного шумового излучения и при следующих паттернах: наличие источника шумового электромагнитного излучения; легкие диффузные изменения ЭЭГ в виде дезорганизации коркового ритма у женщин; умеренно выраженные диффузные изменения в виде дезорганизации коркового ритма на сниженном амплитудном уровне у женщин; умеренно выраженные диффузные изменения на сниженном амплитудном уровне у мужчин; пароксизмальное состояние неуточенного генеза у мужчины.

Изменение количественных параметров (спектральной плотности мощности, возбуждение, эмоциональная валентность) показывает возрастание возбуждения; также показано, что при действии излучения на человека он испытывает злость; при легких диффузных изменениях ЭЭГ в виде дезорганизации коркового ритма у женщин наблюдается злость или радость; при паттернах умеренно выраженные диффузные изменения в виде дезорганизации коркового ритма на сниженном амплитудном уровне у женщин; умеренно выраженных диффузных изменениях на сниженном амплитудном уровне у мужчин; пароксизмальном состоянии неуточненного генеза у мужчин наблюдается радость.

Список литературы

- [1] Сидоренко А.В. Показатели нелинейной динамики электроэнцефалограмм при наличии излучений мобильной связи и радиопоглощающих полиуретановых композитов // Биомедицинская радиоэлектроника. 2013. № 12. С. 44–52.
- [2] Павлова Л.Н., Жаворонков Л.П., Дубовик Б.В. Экспериментальная оценка реакций ЦНС на воздействие импульсных ЭМИ низкой интенсивности // Радиация и риск. 2010. Т. 19, № 3. С. 104–119.
- [3] Сидоренко А.В. Воздействие шумового излучения на центральную нервную систему // Электроника инфо. 2016. № 1. С. 58–64.
- [4] Sidorenko, A.V. Assessing the effect of electromagnetic noise radiation on the central nervous system using non-linear parameters of the electroencephalogram / A.V. Sidorenko, M.A. Saladukha // Nonlinear Dynamics and Applications. - 2019. - Vol. 25. - P. 231-240.
- [5] Сидоренко А. В., Солодухо Н. А. Исследование эмоции страха оператора при воздействии электромагнитного шумового излучения / А.В. Сидоренко, Н.А. Солодухо // Нейронаука для медицины и психологии, Материалы 15-ого международного междисциплинарного конгресса, Судак, 30 мая-10 июня 2019 г. - Судак, 2019. – С. 375-376.
- [6] Danny Onde Bos. EEG-based emotion recognition. The influence of visual and auditory stimuli // Capita Selecta. University of Twente. 2006. P. 1–17.
- [7] Vaishali M. Joshi, Optimal Number of Electrode Selection for EEG Based Emotion Recognition using Linear Formulation of Differential Entropy / Vaishali M. Joshi, Rajesh B.Ghongade // Biomedical & Pharmacology Journal. - 2020. - Vol. 12, №2. - P. 645-653.
- [8] Crawford, H.J. Self-generated happy and sad emotions in low and highly hypnotizable persons during waking and hypnosis: laterality and regional EEG activity differences / H.J. Crawford, S.W. Clarke, M. Kitner-Triolo // International Journal of Psychophysiology. - 1996. - Vol. 24. - P. 239-266.
- [9] Комплексы компьютеризированные для анализа и картирования электрической активности головного мозга «Нейрокартограф-01-МБН»: приложение к свидетельству 40226 Российская Федерация, ТУ 9441-012-26458937-01 / Б.И. Леонов, А.В. Пироженко; Научно-медицинская фирма МБН – № 28235-10; 12.07.2010 // Государственный реестр средств измерений – 2010. – С. 3.
- [10] Сидоренко, А. В. Методы информационного анализа биоэлектрических сигналов / А. В. Сидоренко. – Мн.: БГУ, 2003. – 187 с.

ESTIMATION OF EMOTION STATE OPERATOR IN ACCORDANCE WITH CERTAIN PATTERNS ELECTROENCEPHALOGRAM

A.V. SIDORENKO

A professor of Belarusian State University

M.A. SALADUKHA

A senior teacher in Belarusian State University

*Belarusian State University, Republic of Belarus
E-mail: sidorenkoa@yandex.ru*

Abstract. This paper presents the experimental results of electroencephalograms with different patterns. It is shown the man felt the malice influenced by electromagnetic noise radiation. For patterns according moderate expressed diffusion variations in not organized crust rhythms with lowering amplitude level for women and for man; according paroxysm state with not definition genesis for man the pleased state were observed.

The electroencephalograms were analyzed in standard leads. The analyzed the quantitative parameters of emotion state operator were: spectral power densities of brain rhythms, emotion valence and activity. The results were shown the increasing exciting in analyzed patterns.

Keywords: noise, man, radiation, emotion, electroencephalogram, pattern of electroencephalogram