



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ДОКЛИНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ МЕДИЦИНЕ

ВЛИЯНИЕ ДИНАМИЧЕСКИ УПРАВЛЯЕМОЙ СВЕТОВОЙ СРЕДЫ НА НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГОЛОВНОГО МОЗГА

УДК 159.98

Доценко В.И., Потапов М.Г.***, Скедина М.А.*, Клишин Г.Ю.**

Учреждение Российской академии медицинских наук Научный центр здоровья детей РАМН, ООО Научно-медицинская фирма «Статокин», г. Москва

* Учреждение Российской академии наук Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, г. Москва

** ООО «Центр авиакосмической медицины», Москва

Введение

Современная производственная деятельность человека выдвигает определённые требования как к его исходному состоянию здоровья, так и к возможности восстановления истощаемых в процессе этой деятельности энергетических ресурсов [1].

Показано, что искусственное освещение, не воспроизводящее динамику естественного освещения, отрицательно влияет на работоспособность человека и наоборот, динамическая световая среда, поддерживая естественные биологические ритмы, благоприятно влияет на психологическое состояние человека, обеспечивает комфортные условия и повышает его работоспособность.

Целью данной работы являлся анализ нейрофизиологических показателей головного мозга при разработке метода динамического светового воздействия на выполняющего интенсивную операторскую деятельность человека, который позволил бы повысить эффективность этой деятельности.

Материалы и методы

В исследованиях принимали участие 18 практически здоровых мужчин и женщин в возрасте от 25 до 63 лет. Все они приняли участие в трёх сериях исследований.

Во всех трёх сериях эксперимента двукратно в течение дня – до начала воздействия и сразу же по окончании сопровождавшего эти воздействия нейрофизиологического мониторинга – проводили продолжавшиеся 10–15 мин фоновое и контрольное нейропсихологические тестирования испытуемых с использованием аппаратно-программного комплекса (АПК) «Психотест» (ООО «Нейрософт», Россия).

Основные воздействия изучаемыми факторами проходили в шумозащищённом помещении, где обследуемый комфортно располагался в специальном кресле для выполнения тестовых заданий операторской деятельности. На протяжении всего воздействия и в последующие 10 мин (период последействия) проводился нейрофизиологический мониторинг и контроль состояния вегетативных функций (АД и ЧСС). Нейрофизиологическое обследование проводилось при помощи Аппаратно-программного комплекса «Нейро-КМ – Омега-Нейроанализатор» (ООО НМФ «Статокин», Россия), который обеспечивал синхронную регистрацию с одних и тех же скальповых электродов, обработку и анализ классической биоэлектрической активности (БЭА) головного мозга – электроэнцефалограммы (ЭЭГ) и сверхмедленной БЭА головного мозга – уровня постоянных потенциалов головного мозга (УПП). ЭЭГ и УПП головного мозга регистрировались монополярно с помощью скальповых чашечковых неполяризуемых хлорсеребряных электродов ЭлСПЭГ-02. До наложения электродов на обследуемого производилось их предварительное тестирование в физиологическом растворе, для измерения и последующего учёта межэлектродной разности потенциалов и сопротивления между электро-

дами в отсутствие пациента. Затем электрод «биологический ноль» располагался на запястье, активные – при помощи эластичного латексного шлема в центральной (Cz), симметричных лобных (Fp1, Fp2), затылочных (O1, O2) и височных (T3, T4) областях. Вмонтированный в специальные клипсы референтный электрод «объединённое ухо», необходимый для регистрации классической ЭЭГ, располагался на мочках обоих ушей. Заземляющий электрод закреплялся на скальпе под шлемом впереди от электрода Cz. Регистрация УПП начиналась через 5–7 минут после наложения на точки отведения контактных тампонов, смоченных изотоническим раствором NaCl, и электродов. Истинное значение УПП получали в результате вычитания из суммарных регистрируемых значений потенциалов межэлектродной разности потенциалов. Полученные данные автоматически обрабатывались с построением карты распределения УПП головного мозга. Используемые отведения соответствовали стандартным ЭЭГ отведениям международной системы 10–20.

Проведение воздействия начиналось после стабилизации эмоционального состояния испытуемого, устранения трибоэлектрических эффектов и вегетативной кожной реакции.

Первая серия исследования заключалась в оценке психофизиологического состояния человека-оператора в условиях стандартной организации рабочего места (обычная освещённость люминесцентными лампами дневного света, отсутствие негативного шумового фона) в процессе осуществления интенсивной, требующей высокой концентрации внимания, интеллектуальной работы (матрицы Равена и др. тесты).

Следует отметить, что некоторая «напряжённость» интеллектуальной деятельности искусственно привносилась требованием выполнять достаточно сложные тесты на время, с учётом объёма и результатов выполненных тестов. Тем самым моделировалась ситуация экспериментального стресса, которая зачастую является неизбежной составляющей реальной профессиональной деятельности человека-оператора.

Интеллектуальная деятельность длилась 60 мин, общее время исследования нейрофизиологических и вегетативных показателей составляло, соответственно, 80 мин.

Во второй серии исследования изучали механизмы влияния на организм человека-оператора динамически управляемого полупроводникового источника света [2]. Динамически управляемый источник света представлял собой электромагнитное воздействие в виде светового потока от располагаемой над испытуемым на расстоянии 120 см светодиодной матрицы площадью 30*30 см² с последовательно меняющейся по определённому временному алгоритму длины волны излучения. Алгоритм имитации смены времени суток от раннего утра до заката представлен в таблице.



*Медицинская компьютерная техника
для неврологии, нейрофизиологии,
спортивной медицины и реабилитологии*

«Нейромиограф» – электронейромиограф (все виды игольчатой, глобальной и стимуляционной электронейромиографии) с регистрацией соматосенсорных, зрительных и слуховых вызванных потенциалов

«Нейромиостом» – электронейромиограф для стоматологии и косметологии

«Нейросенсор – Нейро-КМ» – электроэнцефалограф и анализатор вызванных потенциалов головного мозга; также проводится компьютеризация типовых электроэнцефалографов заказчика

«Статокинезиметр – СтабилАн» – стабилметрический анализатор для исследования функции равновесия и статокINETической устойчивости с синхронной кардиоинтервалографией, а также тренажёр для реабилитации двигательных нарушений методом биологической обратной связи

«Видеоанализ движений» – биомеханический комплекс для дистанционного и включения кинематики движений оптическими методами (компьютерный анализ видеоряда движений с построением двумерной и объёмной моделей) и мышечной активности

«Окулостик» – комплекс для вестибулометрического, отоневрологического и психофизиологического тестирования с синхронной регистрацией и анализом движений головы, различных видов нистагма и других глазодвигательных феноменов; тренажёр для борьбы с головокружением

«Омега-Нейроанализатор» – комплекс для исследования классической ЭЭГ и сверхмедленной биоэлектрической активности головного мозга (Ω -потенциала)



«КомТЭГ» – анализатор функционального состояния организма и энергетики меридианов и БАТ пациента. Реализован эксклюзивный метод сопоставления тестов И. Накатани и К. Акабана с формированием индивидуальных рефлексотерапевтической рецептуры

«Пульс» – анализатор ритмической и фазовой структуры пульсовой волны магистральных артерий и состояния клапанного аппарата сердца с размещением над сосудом миниатюрного волоконно-оптического датчика давления; тибетская пульсодиагностика

«Саунд – ЧАЭС» – комплекс фонетико-психологического мониторинга особенностей личности и актуального психического состояния человека по акустическим параметрам речи

«Гармония» – ротационный компьютерный стенд для вестибулометрического тестирования в условиях пошатывающего эксцентриситета

«Регент» – рефлекторно-нагрузочное устройство для восстановительного лечения двигательных нарушений при ортопедо-неврологической патологии методом динамической проприоцептивной коррекции

«АКорД – Мультимиостим» – функциональный программируемый электростимулятор мышц (8 каналов), адаптирующийся под темп ходьбы человека, для восстановительного лечения двигательных нарушений при ортопедо-неврологической патологии и для гармонизации пластики движений здоровых лиц, спортсменов

«Миомодель» – профессиональный микропроцессорный электростимулятор мышц (10 каналов) с возможностями ручного программирования нескольких режимов стимуляции

«Медатон» – аппарат транскраниальной электростимуляции головного мозга (мезодизэнцефальной модуляции); позволяет возможности адаптивной регуляции организма путём селективной активации опиоидной системы

- **Монтаж «под ключ» на базе заказчика**
- **Комплексное обучение пользователя**
- **Постоянная методическая поддержка**
- **Бесплатное обновление программного обеспечения**
- **Гибкое ценообразование и система скидок**

Таблица. Алгоритм имитации смены времени суток во второй серии исследования (90 мин)

№ этапа воздействия	Цветовая температура, Кельвины	Аналог времени суток	Длительность светового воздействия, мин.
1	1800	Восход-закат	22,5
2	3200	3 часа после рассвета	22,5
3	4000	Позднее утро	22,5
4	5500	Полдень	22,5

На фоне указанного воздействия (90 мин) человек-оператор также осуществлял описанную выше интенсивную интеллектуальную работу.

Общее время исследования нейрофизиологических и вегетативных показателей в этой серии составляло, соответственно, 110 мин.

В третьей серии исследования проводилось изучение механизмов влияния на организм человека указанного выше динамического света в виде меняющегося по цвету светового потока в сочетании с релаксирующим аудиовизуальным воздействием, в условиях покоя, без выполнения какой-либо интеллектуальной деятельности.

Время светового и аудиовизуального воздействий составляло 35 мин, а общее время нейрофизиологического и вегетативного мониторинга состояния человека – 55 мин.

Совместная регистрация классической БЭА головного мозга в рамках традиционных алгоритмов ЭЭГ-анализа и показателей сверхмедленной мозговой активности УПП позволит, на наш взгляд, наиболее наглядно и объективно оценить психофизиологическое состояние человека в процессе операторской деятельности на фоне различных воздействий.

Результаты и обсуждение

Как известно, стресс сопровождается первоначальным усилением мозгового метаболизма и развитием «за кислнения» в отдельных зонах мозга. Показатель УПП интегрально отображает уровень метаболической (функциональной) активности компонентов, вносящих в его формирование свой вклад: мембранные потенциалы нейронов и глиальных клеток, гемато-энцефалический барьер (преимущественно клеточная активность эндотелия капиллярного русла). Таким образом, изучение сверхмедленной БЭА мозга выходит за рамки изучения собственно нервной ткани и отображает жизненно важные процессы энергообеспечения головного мозга – как в норме, так и при различных пограничных и клинически выраженных состояниях [3].

В первой серии можно констатировать, что при анализе средних показателей УПП (рис. 1) имеет место однонаправленная динамика в виде увеличения к концу эксперимента значений этого показателя по всем отведениям. Прослеживалось не строго поступательное, а волнообразное увеличение значений УПП с первым пиком максимальных значений на 20–25-й мин деятельности. Затем следовало снижение с последующим увеличением к окончанию интеллектуальной деятельности. По двум отведениям (центр и левое лобное) прослеживалось изначальное снижение значений УПП с последующим окончательным закреплением более высоких показателей, чем до начала исследования. Вариационный размах значений УПП до начала интеллектуальной работы и значений УПП по её завершению был примерно одинаковым – 8 мВ (от -2/+6 до +2/+10 мВ).

Описанная динамика значений УПП свидетельствует об интенсификации метаболических процессов в ходе интеллектуальной деятельности, без значимой дифференциации по областям скальпа, с первоначальной инверсией значений УПП в центральной и левой лобной областях, без изменения вариационного размаха значений УПП к концу интеллектуальной деятельности. Высокие значения УПП в какой-либо области головного мозга отражают увеличение энергозатрат в этой области [4].

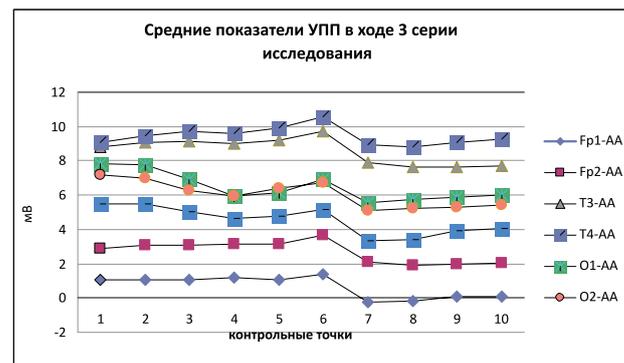
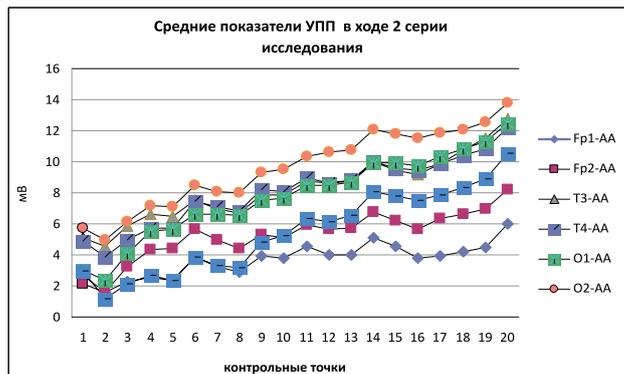
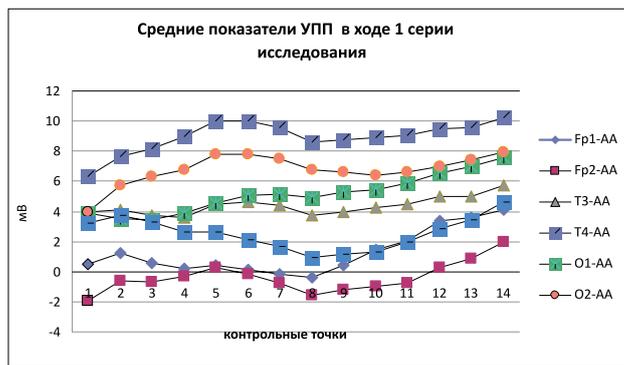


Рис. 1. Средние показатели УПП в ходе 3 серий исследований.

По оси X – точки анализируемой информации (1 – фон; 2–9 – каждые 5 мин в ходе воздействия; 10 – по окончании воздействия).

По оси Y – показатели УПП, мВ.

Во второй серии, по сравнению с первой, в первые пять минут светового воздействия отмечено однонаправленное снижение показателей УПП по всем отведениям, что можно интерпретировать как первичную гипобиотическую нейродинамическую реакцию на новое воздействие. Затем прослеживалась более выраженная, чем в первой серии, однонаправленная по всем отведениям динамика роста показателя УПП, с первым всплеском также на 20–25-й мин деятельности. В целом кривые значений УПП по всем отведениям носили волнообразный, ундулирующий характер, но с неизбежным поступательным ростом амплитуды. По-видимому, добавление к интеллектуальной деятельности динамического светового воздействия и определило в большей степени унифицированную реакцию по всем отведениям, без присутствия инверсии в динамике УПП, которая была отмечена по двум отведениям в первой серии эксперимента.

К моменту окончания эксперимента вариационный размах значений УПП по разным отведениям, как и в первой серии, составил 8 мВ. Однако природой значений УПП увеличился в среднем на 42% по сравнению с первой серией исследования.

В третьей серии до 20-й минуты сочетанного воздействия динамики в показателях УПП практически не прослеживалось, затем на протяжении 20–25 мин произошло синхронное снижение (в среднем на 1,5–2,0 мВ) значений УПП по всем каналам регистрации. Это достигнутое уменьшенное значение УПП в дальнейшем сохранялось практически до конца исследования со свето-аудиовизуальным воздействием и в период последействия.

Таким образом, отмечено однонаправленное снижение значений УПП по всем семи каналам регистрации. Причём в каждой из семи зон скальпа фоновое значение было выше, чем после сочетанного воздействия. На наш взгляд, несмотря на достаточно чёткое активизирующее влияние света (что показано во 2-й серии), релаксирующее влияние аудиовизуального воздействия оказалось доминирующим и определившим однонаправленную динамику во всех регионах мозга.

В отличие от показателей УПП, которые во всех трёх сериях носили достаточно однонаправленный тренд своих изменений, параметры классической ЭЭГ по всем анализируемым спектральным диапазонам (Δ -ритм – 0,5–4,0 Гц; θ -ритм – 4,1–8,0 Гц; α -ритм – 8,1–13,0 Гц; β 1-ритм – 13,1–20,0 Гц; β 2-ритм – 20,1–30,0 Гц) обнаруживали достаточно яркие изменения при индивидуальном анализе, не поддающиеся в какую-либо тенденцию изменений для всей анализируемой группы.

В основном анализировался показатель «Автоспектры процентной мощности», а при статистическом анализе всей группы испытуемых с использованием встроенного в программное обеспечение *Brainsys* собственного статистического пакета для обработки данных применяли однофакторный дисперсионный анализ “F” по критерию Фишера для ANOVA. Для удобства статистического анализа оперировали показателями автоспектров логарифма мощности L_n (Power). Сделано это было в целях более корректного и обоснованного сопоставления с показателями УПП, так как в обоих случаях измеряется энергетический (мощностной) аспект формирования церебральной нейродинамики.

Обращает внимание, что практически у всех испытуемых во всех трёх сериях по всем отведениям классической ЭЭГ присутствовала динамика показателя «Автоспектры процентной мощности», не имевшая однонаправленной тенденции изменений и не несущая в себе большого смысла в плане попытки качественного описания отмеченных изменений.

При последующем групповом анализе были выявлены следующие закономерности.

В первой серии статистически достоверные ($p < 0,01$) изменения во всей анализируемой группе произошло только в правой лобной области и только для дельта-диапазона ЭЭГ. При анализе второй и третьей серии по всем областям отведения ЭЭГ никакой внутригрупповой корреляции не обнаружено. Во второй серии максимальное значение критерия Фишера достигало всего лишь значения 0,52, а в третьей – максимальное значение критерия Фишера достигало значения 1,65, что близко к достоверности $p < 0,05$.

Описанное выше отсутствие чётких, статистически достоверных тенденций в изменении спектральных характеристик ЭЭГ по всего лишь одному использованному показателю «Автоспектры процентной мощности» не должно служить критерием слабой валидности метода ЭЭГ в данном эксперименте. Требуется привлечение других, не связанных с мощностными параметрами, критериев оценки БЭА головного мозга в спектре быстрых гармоник, которые могли бы так же достоверно, как показатели УПП, свидетельствовать факт оказанного на испытуемых воздействия.

При сравнении индивидуальной реактивности параметров ЭЭГ на описанные выше три серии воздействия на человека более подробно остановимся на второй серии. Эта серия оказалась более наглядной в плане зарегистрированных изменений, по сравнению с чисто интеллектуальной деятельностью (серия 1). Обращает внимание, что у всех испытуемых в результате воздействия на протяжении 90 мин изучаемым динамическим светом к моменту окончания воздействия зафиксирован следующий феномен (рис. 2). В каждом конкретном диапазоне частот по всем семи отведениям процентная мощность нивелировалась имевшийся к началу исследования вариационный разброс значений мощности в этих отведениях, т.е. по исследуемым регионам мозга в данном конкретном частотном диапазоне она

как бы приходила к близким значениям. В этом же ключе следует отметить и тот факт, что при попарном сравнении симметричных каналов (три пары отведений – лоб, висок, затылок) уменьшилась асимметрия процентной мощности в каждой исследованной паре отведений.

С другой стороны, если у одного испытуемого сравнить графики процентной мощности по всем исследованным частотным диапазонам (от дельта до бета2), то к окончанию воздействия можно заметить, наоборот, определившийся большой градиент значений процентной мощности при сравнении между собой графиков всех этих частотных диапазонов. По-видимому, это свидетельствует о том, что в результате оказанного воздействия «интеллектуальным» светом на фоне выполняемой мыслительной деятельности более чётко определились зональные различия исследуемых регионов мозга.

Как известно, интенсивная и гармонично организованная мозговая деятельность сопровождается увеличением различий нейродинамических показателей в различных областях мозга. И наоборот, стресс, тревога, невозможность сосредоточения на какой-либо деятельности сопровождаются процессами десинхронизации и сглаживания региональных различий.

При сопоставлении описываемых нейродинамических показателей с результатами психологического тестирования также вырисовываются определённые корреляты.

Нами описаны исключительно активизирующие эффекты светового воздействия при анализе базисных стационарных механизмов организации мозговой деятельности в виде УПП. А согласно наблюдениям психологов, установка динамически управляемого света также оказывает скорее стимулирующее воздействие на операторов, что выражается в стабилизации уровня психофизиологической работоспособности операторов, оптимизации их энергетического уровня, благоприятном влиянии на настроение при выполнении интеллектуальной деятельности. Это наблюдение психологов вполне согласуется и с нашей констатацией оформившихся зональных различий в организации БЭА головного мозга по данным классической ЭЭГ.

В третьей серии наших исследований совместно с релаксирующим аудиовизуальным воздействием использовали динамическую световую среду. В качестве аудиовизуальной стимуляции была применена широко используемая технология *BSS Opensyst*, в которой участники прослушивают набор сложных аудиоритмов, в комбинации с музыкой и различными видами шума, выполняя при этом определенный вид визуальной концентрации. Элементом этого процесса являются бинауральные ритмы. Процесс *BSS Opensyst* эффективен и безопасен и имеет самые разнообразные приложения, в том числе для расслабления, медитации, развития интуиции, повышения эффективности обучения, улучшения сна, самочувствия и исследования расширенных состояний сознания [5].

В этой серии, по данным оценки УПП, отмечено релаксирующее действие сочетанного влияния аудиовизуального и светового воздействий. Психологи после этого комплексного воздействия констатировали, что сочетанное воздействие оказывает значимое релаксирующее влияние на испытуемых, выражающееся в динамике как объективного, так и субъективного изменения функционального состояния в сторону снижения общей психофизиологической активности.

Таким образом, сверхмедленная БЭА головного мозга в виде описываемого УПП более объективно отображает кумулирующиеся эффекты того или иного воздействия, чем спектральный анализ быстрых гармоник БЭА мозга – классической ЭЭГ. Связано это в большей степени с тем, что именно УПП, согласно данным научной литературы [6, 7], отображает стационарные нейробиологические механизмы мозговой деятельности. В то же время ритмы ЭЭГ коррелируют в основном с быстро меняющейся текущей ситуацией и по этой причине они обладают большей реактивностью и в меньшей степени инерционны по сравнению с УПП. Динамика УПП во 2-й серии интеллектуальной деятельности на фоне динамического светового воздействия носила явный активизирующий характер, и эти изменения коррелировали с улучшившимися результатами психологического тестирования по окончании данного воздействия.

При сопоставлении нейродинамических показателей, отражённых в БЭА головного мозга сверхмедленного и быстрых диапазонов, с данными психологического тестирования можно сделать предварительные рекомендации о

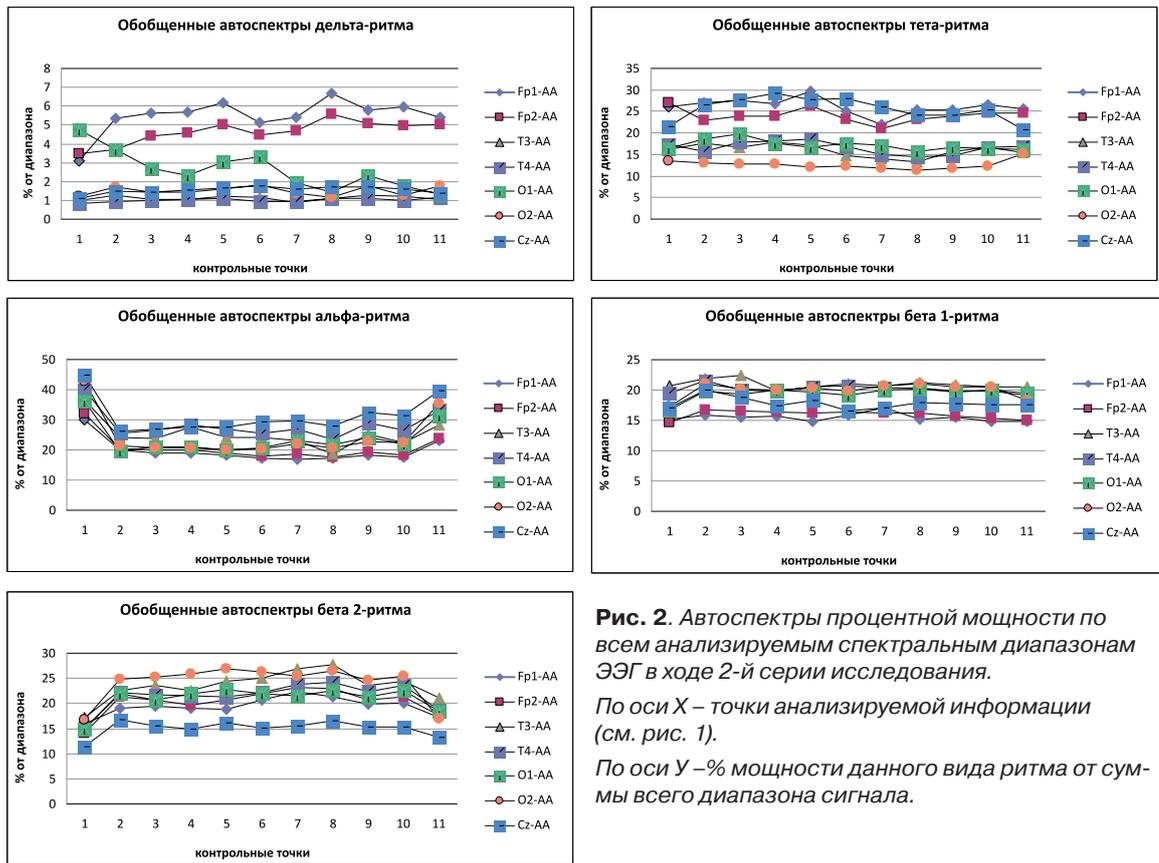


Рис. 2. Автоспектры процентной мощности по всем анализируемым спектральным диапазонам ЭЭГ в ходе 2-й серии исследования.

По оси X – точки анализируемой информации (см. рис. 1).

По оси Y – % мощности данного вида ритма от суммы всего диапазона сигнала.

целесообразности оснащения мест пребывания человека, выполняющего операторскую деятельность (офисы, диспетчерские помещения, командные пункты, кабины тепловозов, пространства подводных лодок и т.д.), динамически управляемыми полупроводниковыми источниками света в целях гармонизации психофизиологического состояния человека и оптимизации его интеллектуальной и операторской деятельности.

Дополнительное включение релаксирующего аудиовизуального воздействия целесообразно рассматривать как этап предшествующей подготовки к интенсивной умственной деятельности или как завершающий этап имевшей место деятельности человека-оператора, как метод восстановления энергетических ресурсов человека.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пономаренко В.А. Размышления о здоровье. – М., 2001.
2. Сидоренко А.В. Модели и алгоритмы диагностики и управления в компьютерной биотехнической системе светодиодной цветостимуляции: Автореф. дисс. ... канд. мед. наук. – Воронеж, 2002. – 17 с.
3. Фокин В.Ф., Пономарёва Н.В. Постоянные потенциалы головного мозга и моторная асимметрия у человека // Организация интегративно-пусковых механизмов деятельности мозга: Сб. науч. трудов. – М., 1982. – Вып. 11. – С. 93–96.
4. Фокин В.Ф., Пономарёва Н.В. Соотношение уровня постоянного потенциала головного мозга и зрительных вызванных потенциалов при нормальном и патологическом старении у человека // Журн. высш. нервн. деят. – 1994. – Вып. 2. – С. 222–228.
5. Коряков М.Б., Потапов В.П., Рыбникова М.Н. и др. Психофизиологические основы применения аудиовизуальных методов коррекции функционального состояния человека в экстремальных условиях деятельности. – М.: Слово, 2008. – 80 с.
6. Фокин В.Ф., Авиром В.М., Киселёв В.М., Пономарёва Н.В. Устройство для регистрации постоянных электрических напряжений головного мозга // Бюлл. открытий, изобретений, товарн. знаков. – 1984. – № 42. – Ас. 1123637.
7. Фокин В.Ф., Пономарёва Н.В. Энергетическая физиология мозга. – М.: Антидор, 2003.

РЕЗЮМЕ

Приведены результаты исследований нейрофизиологических показателей головного мозга при разработке метода динамического светового воздействия на выполняющего интенсивную операторскую деятельность человека, который позволил бы повысить эффективность этой деятельности.

Ключевые слова: деятельность человека, управляемая световая среда, нейрофизиологические показатели головного мозга.

ABSTRACT

Results of researches of neurophysiological indicators of a brain Are resulted by working out of a method of dynamic light influence on the person carrying out intensive camera activity who would allow to raise efficiency of this activity.

Keywords: activity of the person, the operated light environment, neurophysiological indicators of a brain.

КОНТАКТЫ

Доценко Владимир Иванович, к.м.н., старший научный сотрудник. Адрес служебный (почтовый): 119602, г. Москва, а/я 285. Телефон: (495) 430-80-73 – рабочий; (916) 500-84-00 – моб. E-mail: statokyn@aha.ru

Скедина Марина Анатольевна, к.м.н. Адрес служебный: 123007, Москва, Хорошевское шоссе, д. 76а. Телефон: (499) 195-68-94 – рабочий; (916) 612-37-41 – моб. E-mail: skedina07@rambler.ru

Контактное лицо: Стелинговский Константин Владимирович, тел.: (495) 571-12-71