

# **ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРЕГИРУЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ ЭМП «АКВАТОН» НА ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ЧЕЛОВЕКА В УСЛОВИЯХ ПОЯВЛЕНИЯ НЕШТАТНОЙ СИТУАЦИИ НА ФОНЕ МОНОТОННОЙ ОПЕРАТОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

*Работа проведена в лаборатории прикладной физиологии высшей нервной деятельности человека (зав. лаб. проф. Н.Н. Лебедева) Федерального государственного бюджетного научного учреждения Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, г. Москва*

## **Методика**

Для возникновения состояния монотонии человеку-оператору предлагалась в качестве монотонной деятельности работа на программируемом симуляторе вождения в условиях ограниченной сенсорной информации в течение 1,5 часов – испытуемый должен был с помощью руля «ехать» ровно по центру дороги (удерживать линию разметки в центре экрана), при этом скорость движения была задана постоянной, других участников движения предусмотрено не было. Нештатная ситуация заключалась в том, что спустя 1 час монотонного вождения программа симулятора резко увеличивала скорость и виражи на трассе. Поскольку испытуемые не были заранее предупреждены об изменении условий вождения, и при этом были мотивированы получением награды за хорошее качество деятельности, возникновение ситуации, когда они априори не могли хорошо справиться с «вождением», являлось стрессогенным фактором.

Программируемый симулятор водительской деятельности был разработан в лаборатории Прикладной физиологии и высшей нервной деятельности при участии лаборатории математической нейробиологии обучения Института высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН. Качество вождения оценивалось по траектории отклонения от линии разметки и количеству поворотов руля. Контроль функционального состояния испытуемого осуществлялся по показателям электроэнцефалограммы (ЭЭГ), регистрируемой с помощью энцефалографа-анализатора ЭЭГА-21/26 «ЭНЦЕФАЛАН 131-03» (г. Таганрог), электрокардиограммы (ЭКГ) и теста на сложную зрительно-моторную реакцию с помощью устройства психофизиологического тестирования УПФТ-1/30 «Психофизиолог» (г. Таганрог).

Методики, используемые в экспериментах, и циклограмма проведения опытов были одобрены Этическим комитетом Института высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН.

В опытах участвовало 10 мужчин (средний возраст 33 года) и 10 женщин (средний возраст 21 год). С каждым испытуемым было проведено 3 эксперимента - Фон, Плацебо и

Воздействие ЭМП «Акватон». Воздействие ЭМП начиналось через 30 мин от начала работы на симуляторе и осуществлялось в течение 15 мин. Использовался режим амплитудной модуляции с частотой 8 Гц (меандр) и глубиной близкой к 100 %.

До и после работы на симуляторе проводилось психофизиологическое тестирование, регистрировались ЭКГ и ЭЭГ испытуемого в состоянии спокойного бодрствования в течение 5 минут при закрытых (ГЗ) и в течение 5 минут открытых (ГО) глазах.

Запись кардиограммы (128 R-R интервалов) обрабатывалась методом вариационной кардиографии; для анализа вегетативного обеспечения деятельности в экспериментах нами был выбран индекс напряжения (ИН) сердечно-сосудистой системы (ССС), характеризующий степень напряжения нейро-гуморальных механизмов регуляции и степень централизации в управлении сердечным ритмом.

Во время тестирования сложной зрительно-моторной реакции (СЗМР) оператор должен был нажимать правую или левую кнопку после включения красной или зелёной лампочки соответственно; в процессе выполнения теста регистрировалось время ответной реакции и количество ошибочных действий по категориям – неправильный ответ, пропуск сигнала, преждевременное нажатие.

Запись ЭЭГ производилась по международной системе 10-20 с 19 электродов монополярно относительно ушных электродов А1 и А2. Регистрируемые записи ЭЭГ обрабатывались методом *спектрально-корреляционного анализа* на основе быстрого преобразования Фурье. Перед анализом проводилась фильтрация ЭЭГ сегментов БПФ-фильтром в диапазоне 0,5-40 Гц и удаление артефактов (пиков, появляющихся вследствие движения глаз или мышечного напряжения).

Для спектрального анализа сигнала ЭЭГ выбирался сегмент длительностью около 5 минут, не содержащий артефакты, с помощью программы «Энцефалан-03» рассчитывались относительные мощности сигнала. Сравнивались значения относительной мощности «до» и «после» отдельно для открытых и закрытых глаз.

Психологическое тестирование состояло из двух тестов – теста Спилбергера (определение личностной и реактивной тревожности) и теста САН (Самочувствие, Активность, Настроение).

## **Результаты**

### ***1. Качество работы на симуляторе водительской деятельности***

Оценку качества работы на симуляторе проводили по трем периодам – при монотонной работе («до»), за период действия нештатной ситуации («стресс») и за период после окончания нештатной ситуации и возвращения к монотонной деятельности

(«после»). Сравнивая показатели экспериментов «плацебо» и «воздействие» для всей группы испытуемых, можно отметить, что во время стресса (резкое усложнение задачи вождения) испытуемые лучше справились при воздействии прибора «Акватон» (рис.1)

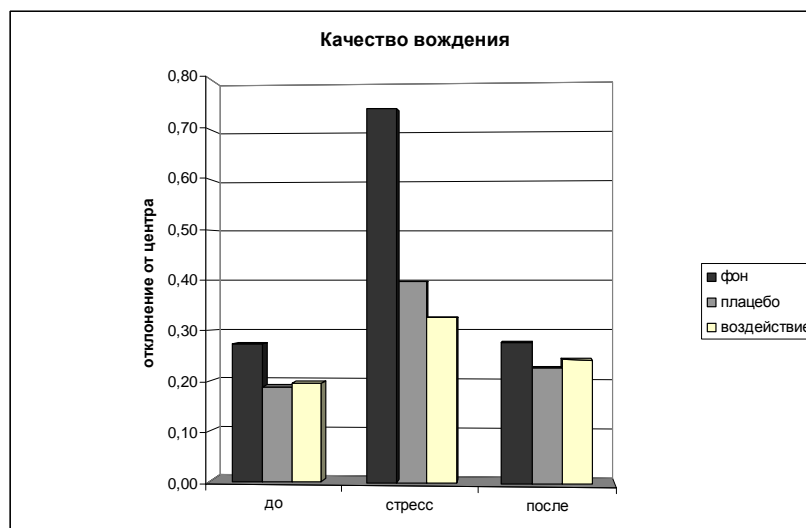


Рисунок 1 – Качество работы на симуляторе водительской деятельности в экспериментах

## 2. Электроэнцефалограмма

Спектрально-корреляционный анализ электроэнцефалограммы трёх экспериментов («фон», «плацебо» и «воздействие») выявил влияние на человека-оператора как монотонной деятельности и экстремальной ситуации, так и воздействия ЭМ прибора «Акватон». Ниже представлены графики, демонстрирующие динамику мощности ЭЭГ-ритмов в каждом эксперименте.

В спектрально-корреляционном анализе выделяют несколько полос частот: дельта- и тета-ритмы – это медленноволновая активность ЭЭГ, появляющаяся при торможении активности, засыпании. Из графиков видно, что в фоновых экспериментах возникновение экстремальной ситуации на фоне монотонии привело к значительному повышению дельта- и тета-ритмов у мужчин, тогда как у женщин значительных изменений не наблюдалось (рис.2, 3).

После работы на симуляторе в опытах с воздействием ЭМП прибора «Акватон» медленноволновая активность мужчин практически не поменялась, у женщин при этом наблюдалось небольшое повышение мощности тета-ритма, тогда как мощность дельта-ритма даже упала, что может свидетельствовать о корригирующем эффекте ЭМП прибора «Акватон».

Следует отметить, что медленная активность развилась после деятельности именно в фоновом эксперименте, который всегда был первым. Можно предположить, что первый

эксперимент был наиболее трудным для испытуемых, так как задача вождения на симуляторе сложнее для неподготовленного испытуемого, кроме того, появление нештатной ситуации в первом эксперименте являлось полной неожиданностью для участников.

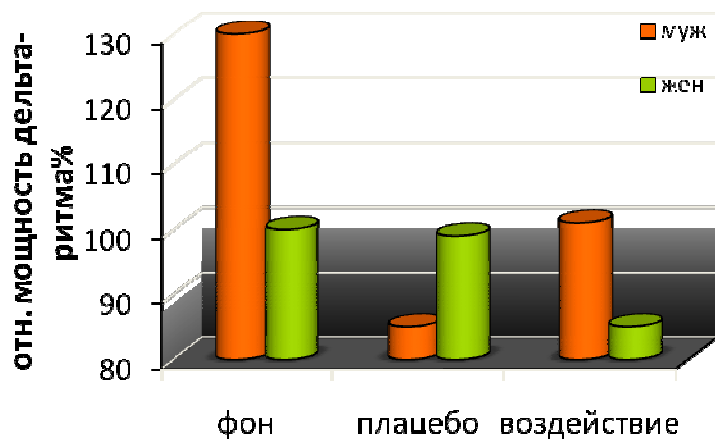


Рисунок 2 – Динамика мощности дельта-ритма у мужчин и женщин  
Примечание: за 100% принималась мощность ритма до работы на симуляторе.

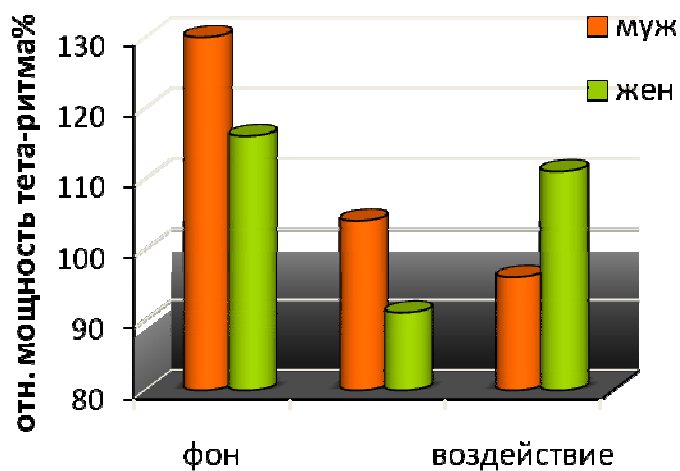


Рисунок 3 – Динамика мощности тета-ритма у мужчин и женщин.  
Примечание: за 100% принималась мощность ритма до работы на симуляторе.

В состоянии спокойного бодрствования в биоэлектрической активности мозга человека преобладают альфа-волны. Снижение альфа-ритма при одновременном повышении медленной активности свидетельствует о засыпании и развитии торможения. Рис. 4 демонстрирует динамику мощности альфа-ритма после водительской деятельности.

В фоновом эксперименте мощность альфа-ритма мужчин значительно снижается, а в экспериментах «плацебо» и «воздействие» практически не изменяется. При этом у женщин мощность альфа-ритма резко падает в эксперименте «плацебо», а в фоне и после воздействия ЭМП повышается в среднем на 20%.

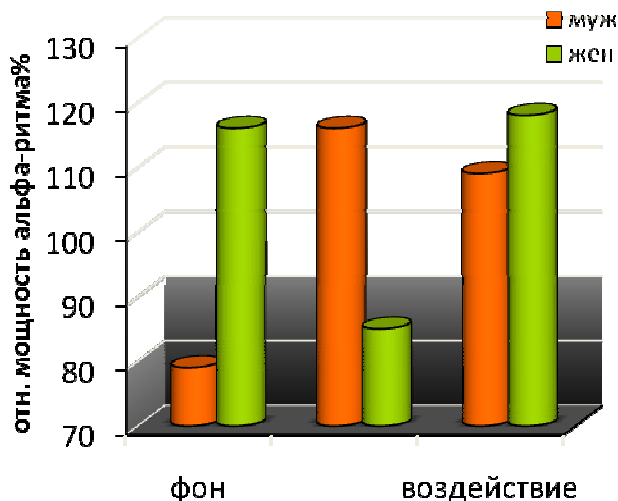


Рисунок 4 – Динамика мощности альфа-ритма у мужчин и женщин.  
Примечание: за 100% принималась мощность ритма до работы на симуляторе.

На рис. 5 представлена динамика показателя *реактивности альфа-ритма*. Этот показатель находят как отношение мощности альфа-ритма при закрытых глазах к мощности альфа-ритма при открытых глазах. Так как мощность альфа-ритма значительно снижается при увеличении потока входящей информации, активность альфа-волн падает при открывании глаз, в связи с этим одним из показателей лабильности корковых процессов является глубина падения альфа-ритма, то есть *коэффициент реактивности*. Этот коэффициент достоверно возрастает после работы у женщин в фоновом эксперименте, а у мужчин – после воздействия ЭМ-прибора «Акватон».

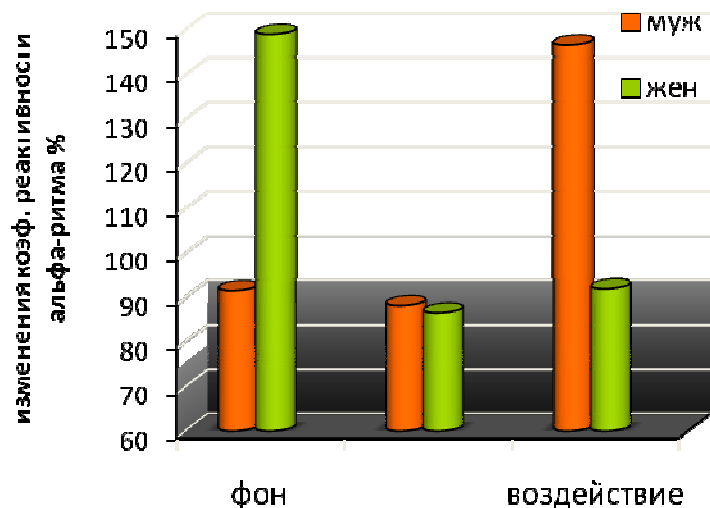


Рисунок 5 – Динамика реактивности альфа-ритма у мужчин и женщин.

Примечание: за 100% принималась мощность ритма до работы на симуляторе

Таким образом, можно предположить, что у женщин возникновение экстремальной ситуации в *фоновых* экспериментах привело к мобилизации поведенческих реакций, в то время как у мужчин развилось торможение корковых процессов. При этом после воздействия ЭМ-прибора «Акватон» у мужчин не наблюдалось усиления медленноволновой активности, более того, реактивность альфа-ритма достоверно повысилась, что может свидетельствовать о повышении способности воспринимать и обрабатывать входящую информацию.

### 3. Психологическое тестирование

По показателям психологического тестирования также складывается впечатление, что данное ЭМП по-разному действует на мужчин и женщин:

- показатель реактивной (ситуационной) тревожности у мужчин *снижается*, а у женщин – повышается (рис.6);

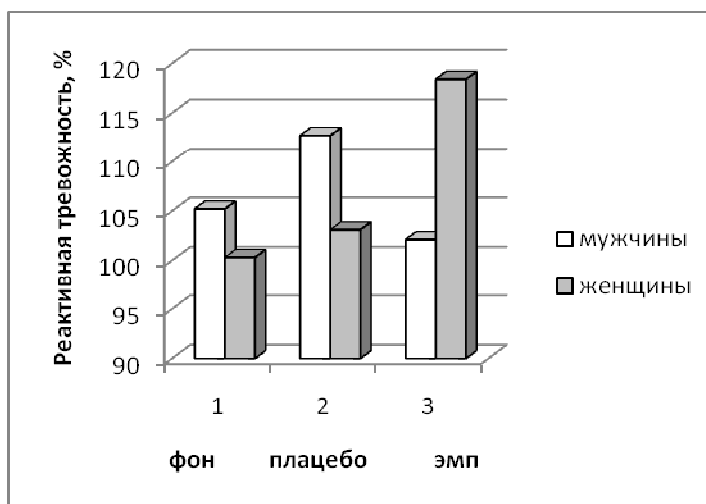


Рисунок 6 – Показатель реактивной тревожности у мужчин и женщин в экспериментах

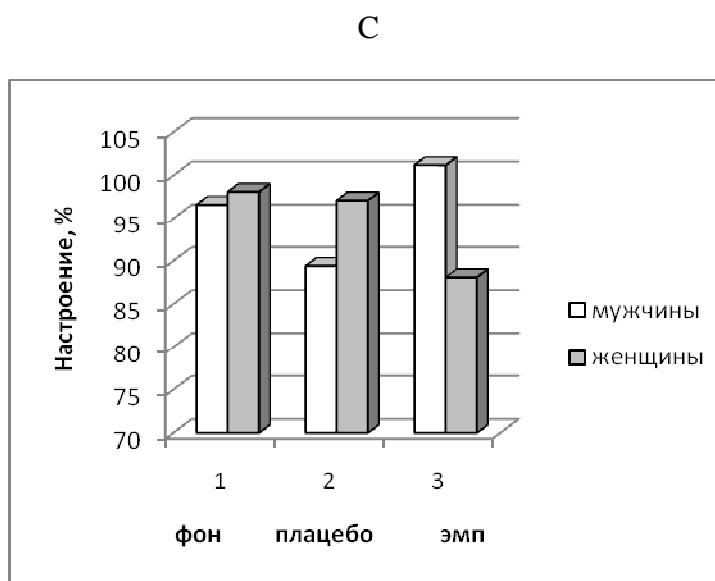
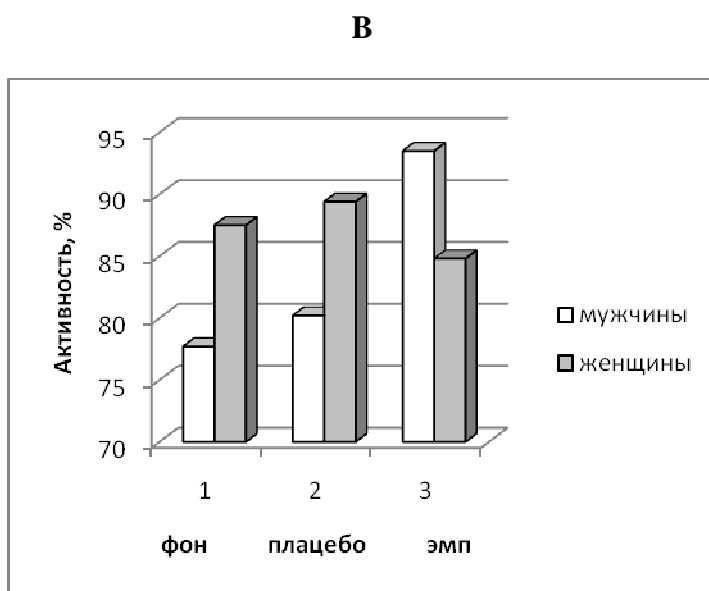
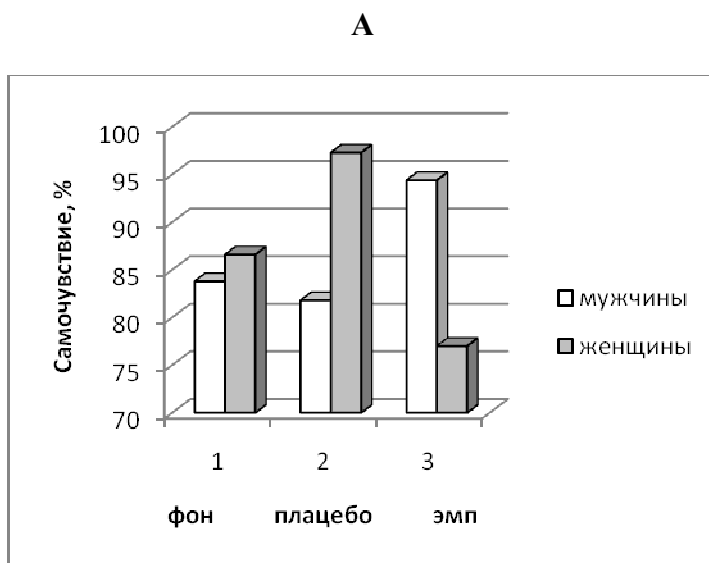


Рисунок 7 – Показатели теста САН: А – самочувствие; В – активность; С – настроение.

- самочувствие, активность и настроение у мужчин *повышается*, а у женщин – снижается (рис. 7).

#### 4. Простая зрительно-двигательная реакция

Задача тестирования – как можно быстрее нажать кнопку при появлении на экране светового стимула. Определяется среднее время простой зрительно-двигательной реакции ( $T_{\text{ср.}}$ ), среднеквадратическое отклонение (СКО), фактически характеризующее стабильность работы, и максимальное время ответа ( $T_{\text{max}}$ ).

Данные нормированы к значениям, полученным до начала каждого опыта.

Результаты этого теста также свидетельствуют о разном влиянии изучаемого ЭМП на мужчин и женщин (рис.8, 9):

- в опытах с воздействием Акватона у *женщин* в среднем по группе время реакции увеличивается на 26% (в фоне увеличение составляет 5%, а в опытах с плацебо – 17%), СКО – на 78% (в фоне увеличение составляет 60%, а в опытах с плацебо – 27%), т.е. значительно снижается стабильность выполнения теста;

- у *мужчин* наблюдается незначительное и недостоверное повышение среднего времени реакции в опытах с Акватоном и выраженное снижение показателя СКО (на 58% по сравнению с фоном и на 20% по сравнению с плацебо).

Показатель  $T_{\text{max}}$  при воздействии снижается у мужчин и у женщин по сравнению с фоном, но не отличается от плацебо (рис.10).

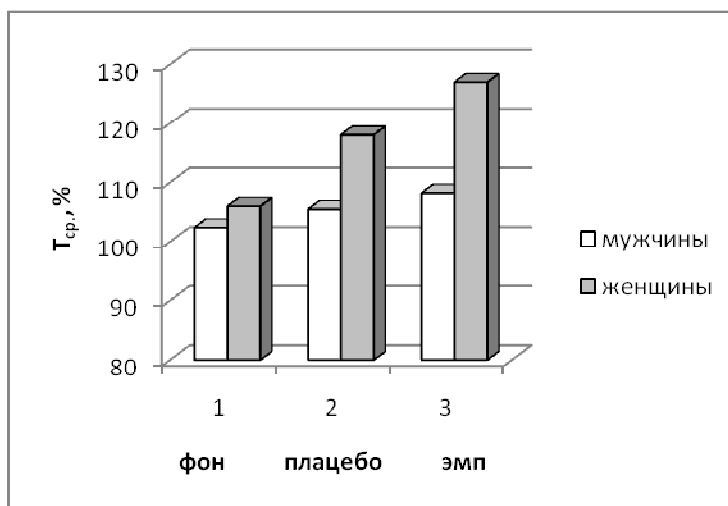


Рисунок 8 – Среднее время простой зрительно-двигательной реакции для мужчин и женщин



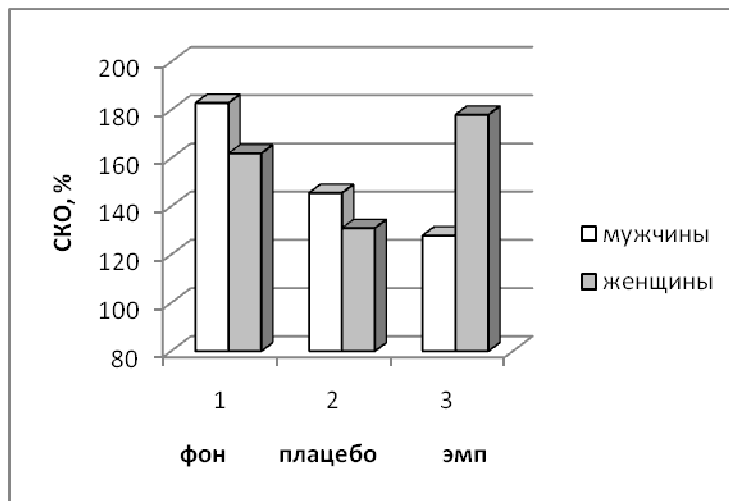


Рисунок 9 – Среднеквадратическое отклонение времени реакции для мужчин и женщин

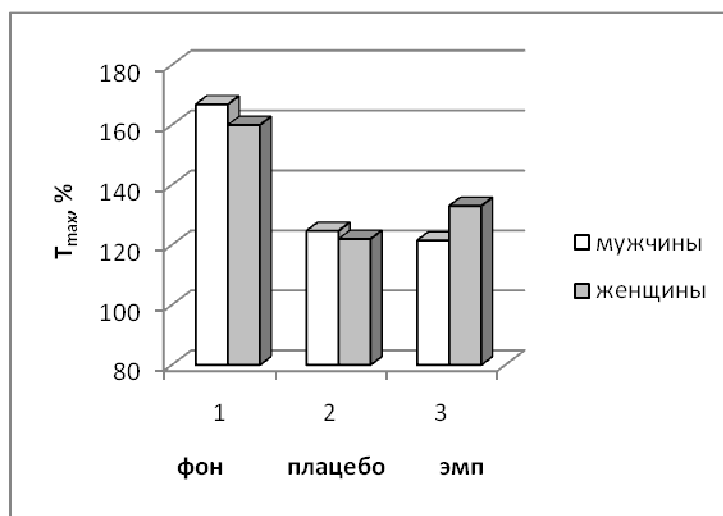


Рисунок 10 – Максимальное время реакции простой зрительно-двигательной реакции для мужчин и женщин

### 5. Сложная зрительно-двигательная реакция

В основе метода лежит анализ уровня и стабильности зрительно-моторных реакций человека в ответ на световые раздражители двух типов. При проведении теста испытуемому предъявляют серию из 75 световых стимулов со случайным распределением зеленого и красного цвета. Время появления очередного стимула является случайной величиной в диапазоне от 2 до 5 секунд, считая от момента ответа, сопровождаемого гашением индикатора. На световые стимулы зеленого цвета испытуемый нажимает кнопку **ДА**, красного – **НЕТ**.

Определяли среднее время реакции ( $T_{cp}$ ), среднеквадратическое отклонение (СКО), фактически характеризующее стабильность работы, и максимальное время ответа ( $T_{max}$ ).

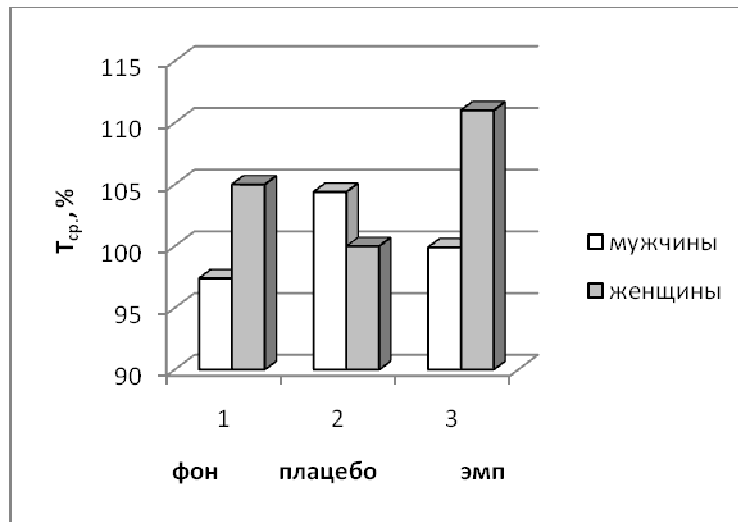


Рисунок 11 – Среднее время сложной зрительно-двигательной реакции для мужчин и женщин

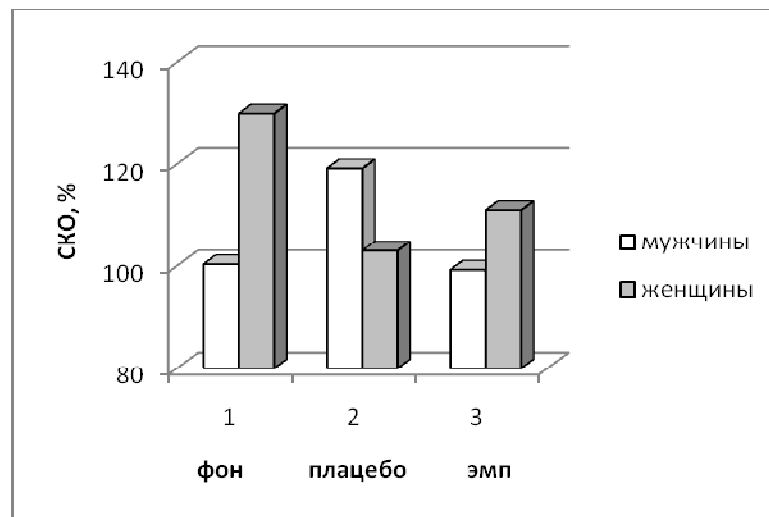


Рисунок 12 – Среднеквадратическое отклонение времени реакции для мужчин и женщин

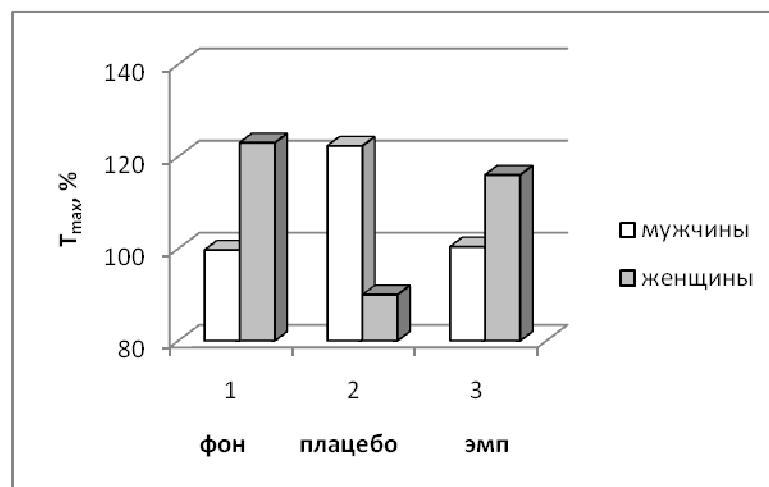


Рисунок 13 – Максимальное время реакции простой зрительно-двигательной реакции для мужчин и женщин

В этом тесте динамика показателей аналогична, но не столь выражена, и, тем не менее, по сравнению с плацебо в опытах с воздействием ЭМП показатели сложной зрительно-моторной реакции у женщин ухудшаются (рис.11-13).

## 6. Электрокардиограмма

Запись ЭКГ проводилась по стандартной схеме отведений с последующей обработкой методом вариационной кардиометрии.

Для анализа вегетативного обеспечения деятельности в экспериментах были выбраны частота сердечных сокращений (ЧСС), среднеквадратическое отклонение (СКО) R-R-интервалов, а также индекс напряжения (ИН), предложенный Г. И. Сидоренко, а затем модифицированный Р. М. Баевским:  $ИН = АМо / (2\Delta X \cdot Мо)$ , где АМо – амплитуда моды (количество RR-интервалов, соответствующих моде); Мо – мода, т.е. наиболее часто встречающееся значение RR-интервалов;  $\Delta X$  – вариационный размах, т.е. разность между длительностью наибольшего и наименьшего R-R интервала. ИН характеризует степень напряжения нейро-гуморальных механизмов регуляции.

Кроме того, использовали также показатель LF/HF (отношение индексов медленных волн первого порядка и дыхательных волн) – оценка вегетативного баланса, повышение которого свидетельствует об увеличении симпатических влияний на деятельность сердечно-сосудистой системы.

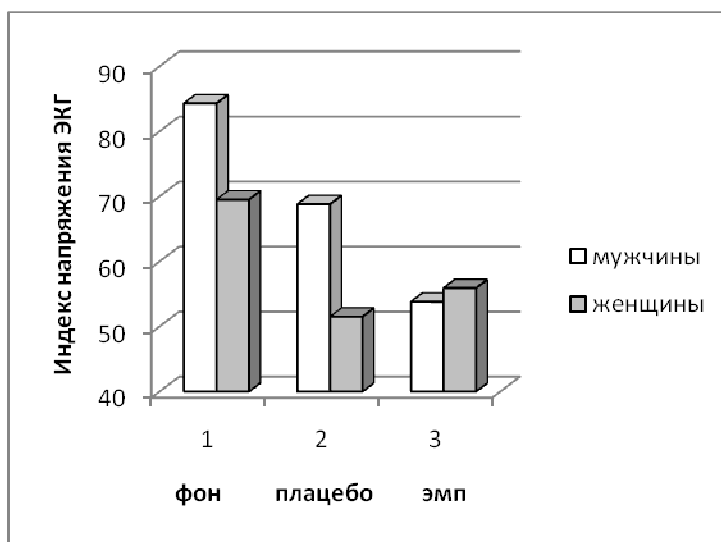


Рисунок14 – Индекс напряжения сердечно-сосудистой системы у мужчин и женщин

Судя по показателю ИН, в опытах с воздействием Акватона в группе *мужчин* наблюдается снижение (на 24% по сравнению с плацебо) степени напряжения регуляторных систем по стресс-индексу, чего нельзя сказать о группе женщин (рис.14).

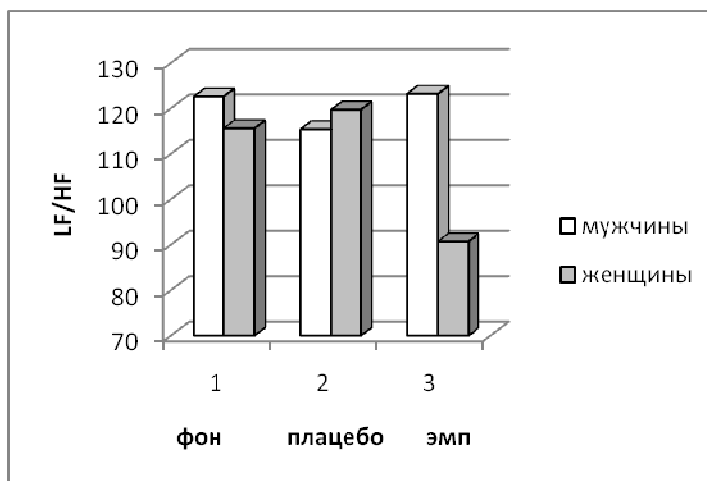


Рисунок 15 – Показатель вегетативного баланса LF/HF для мужчин и женщин

Динамика показателя LF/HF свидетельствует о снижении симпатических влияний на сердечно-сосудистую систему женщин (30% в среднем по группе) в опытах с воздействием ЭМП, чего не наблюдается в группе мужчин (рис.15).

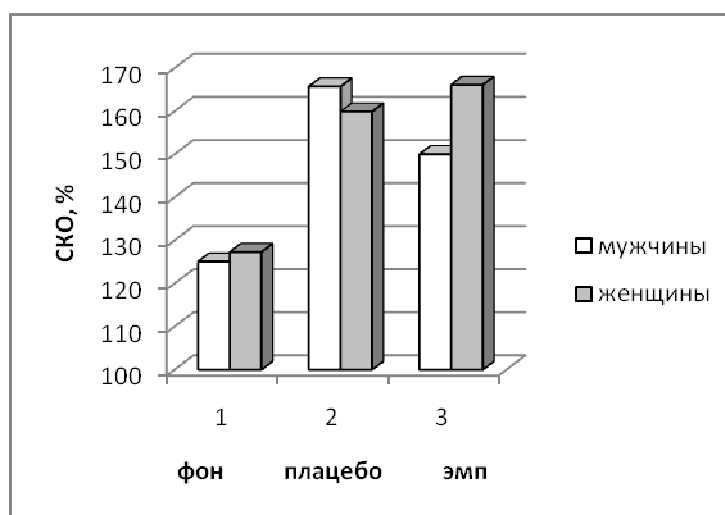


Рисунок 16 – Среднеквадратическое отклонение RR-интервалов для мужчин и женщин

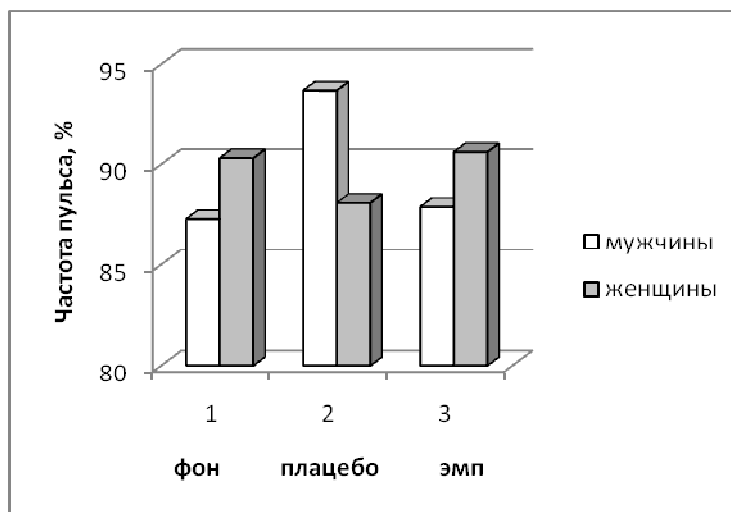


Рисунок 17 – Частота сердечных сокращений для мужчин и женщин

Что касается частоты пульса, то в опытах с Акватоном выявлено некоторое повышение ЧСС по сравнению с плацебо у женщин и снижение у мужчин (рис.17).

### Заключение

Таким образом, результаты проведенных экспериментов свидетельствуют о том, что ЭМП прибора «Акватон» является биологически активным излучением и может быть использовано для коррекции функционального состояния человека-оператора.

Кроме того, стоит обратить внимание на различия в эффектах воздействия Акватона на психофизиологические показатели мужчин и женщин:

- **У мужчин** достоверно улучшилось самочувствие, снизилась мощность медленных ритмов и повысилась мощность альфа-ритма, повысилась лабильность корковых процессов, улучшились показатели СЗМР и качества операторской деятельности,
- **У женщин** повысилась реактивная тревожность, ухудшилось самочувствие, снизилась лабильность корковых процессов.
- **У мужчин и женщин** снизилась нагрузка на сердечно-сосудистую систему.

Представляется интересным провести дальнейшие исследования по изучению влияния на функциональное состояние человека ЭМП «Акватон» с другими режимами (модуляция и т.п.), которые заложены в приборе.