

Исследование возможности применения низкочастотной ритмической электростимуляции подкорковых структур головного мозга человека для купирования гиперактивации нервной системы спортсменов, вызванной приемом больших доз кофеина в предсоревновательный период

А.А. Емельянов ¹, А.Е. Емельянова ¹

¹- НИЦ “Курчатовский институт”

В настоящем исследовании рассмотрена возможность использования метода низкочастотной ритмической электростимуляции подкорковых структур мозга человека (метод электросна) для коррекции состояния гиперактивации нервной системы, являющегося следствием приема больших доз кофеина. Традиционно считается, что состояние электросна является искусственно создаваемым с помощью электрического тока аналогом сна естественного. Экспериментально было показано, что низкочастотная ритмическая электростимуляция позволяет эффективно купировать кофеиновую гиперактивацию нервной системы у спортсменов. По сравнению с покоем обнаружено увеличение значений показателей дыхательной и сердечной деятельности, сопровождающее состояние электросна, делающее его сходным с состоянием релаксации.

Ключевые слова: кофеиновая гиперактивация нервной системы у спортсменов, низкочастотная ритмическая электростимуляция подкорковых структур, электросон, естественный сон, дыхательная деятельность, частота дыхания, амплитуда дыхания, минутный объем дыхания, частота сердечных сокращений, насыщение крови кислородом.

Введение

В настоящее время остается актуальным поиск эффективных способов восстановления удовлетворительного психофизиологического состояния спортсмена после соревнований. Серьезной проблемой является купирование гиперактивации нервной системы, возникающее в результате приема веществ, в частности, кофеина, которые в обычной концентрации оказывают тонизирующее действие, а при приеме чрезмерной дозы приводят к развитию серьезных заболеваний и даже смерти спортсмена. Такие вещества входят в состав списка контролируемых веществ, на употребление которых во время соревнований введены ограничения Всемирным антидопинговым агентством по инициативе Международного Олимпийского Комитета [Федеральный закон Российской Федерации от 27 декабря 2006 г. N 240-ФЗ].

Настоящее исследование направлено на выявление возможности коррекции состояния гиперактивации нервной системы спортсменов с помощью метода низкочастотной ритмической электростимуляции подкорковых структур мозга, который обозначен термином электросон. Состояние электросна считается схожим с состоянием естественного сна [Ковальзон В.М., 2012; Левин Я.И., 2013] и рассматривается как появление разлитого торможения, возникающего вследствие действия электрического тока на структуры мозга. Экспериментально было показано сходство внешних проявления

физиологических процессов этих состояний [Гиляровский В.А., Ливенцев Н.М., Сегаль Ю.Е., Кириллова З.А., 1958]. Исследователи отмечают, что естественный сон характеризуется постоянным подъемом плетизмограммы, увеличением амплитуды пульсовых колебаний и улучшением рисунка дыхательных волн, которые становятся более регулярными и равными по амплитуде. При электросне наблюдается некоторое урежение и углубление дыхания, пульс замедляется на 3-5 ударов в минуту, наполнение пульса улучшается. Электрокардиограмма не изменяется, плетизмограмма указывает на медленное и постепенное расширение периферических сосудов. На начальных стадиях электросна на электроэнцефалограмме наблюдается угнетение колебаний альфа-ритма, вслед за которым появляются медленные волны. Дальнейшее действие электрического тока приводит к усилению высокочастотных колебаний в передних отделах коры головного мозга. Авторы отмечают, во-первых, отсутствие патологических явлений во время и после действия электросна, во-вторых, сходство электросна с состоянием естественного сна [Гиляровский В.А., Ливенцев Н.М., Сегаль Ю.Е., Кириллова З.А., 1958]. Особенности метода электросна позволяют рассматривать его как безопасный и более быстрый способ купирования гиперактивации нервной системы по сравнению с другими формами реабилитации, в частности, с восстановительной фармакотерапией.

Процедура исследования

Целью данного исследования является сравнение эффекта действия низкочастотной ритмической электростимуляции на подкорковые структуры головного мозга спортсмена после физической нагрузки в условиях дополнительного действия чрезмерных доз кофеина и без такого действия. Эффект действия низкочастотной ритмической электростимуляции оценивали на основе динамики показателей сердечной и дыхательной деятельности в спокойном бодрствовании и во время действия низкочастотной ритмической электростимуляции. Исследование проводили на группе из 5 спортсменов-мужчин в возрасте 25 лет, процедуру воздействия электростимуляции и запись физиологических показателей проводили с каждым испытуемым отдельно. Электростимуляции предшествовала тренировка, во время которой спортсмены подвергались значительной физической нагрузке (бег на длинную дистанцию). Всех испытуемых разделили на две группы: испытуемым одной группы перед тренировкой вводили кофеин, доза которого составляла 300 мг вне зависимости от массы тела, а испытуемым второй группы – плацебо. После тренировки все испытуемые подвергались процедуре электросна.

Общая продолжительность записи показателей сердечной и дыхательной деятельности составляла 25 минут и включала 3 серии, во время которых менялись условия воздействия. Во время первой серии, обозначенной как «покой» и длящейся 5 минут, испытуемых просили расслабиться и сидеть с закрытыми глазами. Вторая серия, обозначенная как «электросон (ЭС)», включала воздействие электрическим током в течение 15 мин. В процессе анализа данных вторая серия была подразделена на 3 этапа по 5 минут, каждый из которых был обозначен соответственно ЭС (1 этап), ЭС (2 этап) и ЭС (3 этап). Во время этой серии электрическое воздействие осуществлялось с помощью бытового прибора «Электросон – ЭГСАФ-01» глазнично-затылочным способом импульсами прямоугольной формы с частотой 6 Гц. Третья серия эксперимента

продолжительностью 5 мин была нами обозначена как «пробуждение», так как была связана с прекращением воздействия электрического тока на испытуемого.

Изменение физиологических показателей у испытуемых во время всех трех серий эксперимента фиксировали с помощью дыхательных датчиков, электродов сердечной деятельности и датчика для пульсоксиметрии в составе полиграфического блока (ПОЛИ-4) аппаратно-программного комплекса «РЕАКОР» (производство Медиком МТД). В результате обработки записанных данных были получены следующие показатели: частота дыхания (ЧД), условный минутный объем дыхания (УМОД), условная амплитуда дыхания (УАД), частота сердечных сокращений (ЧСС) и уровень насыщения крови кислородом (SpO₂).

В ходе обработки полученных данных результаты испытуемых усреднили по группам в зависимости от принятого препарата (группы «кофеин» и «плацебо»). Для сравнения данных этих двух групп использовали статистический критерий Манна-Уитни (U), этот критерий позволил выявить, что по каждому физиологическому показателю группы имеют значимые различия (уровень значимости p не более 0,018). Далее по каждой группе определили достоверность различий между сериями и этапами эксперимента на основе критерия Фридмана (X_r^2). Оказалось, что для каждой группы эти различия достоверны с уровнем значимости не более 0,01.

Результаты

Далее в виде сравнительных диаграмм представлены результаты двух групп испытуемых для полученных показателей: ЧД (рис. 1), УМОД (рис. 2), УАД (рис. 3), ЧСС (рис. 4) и SpO₂ (рис. 5).

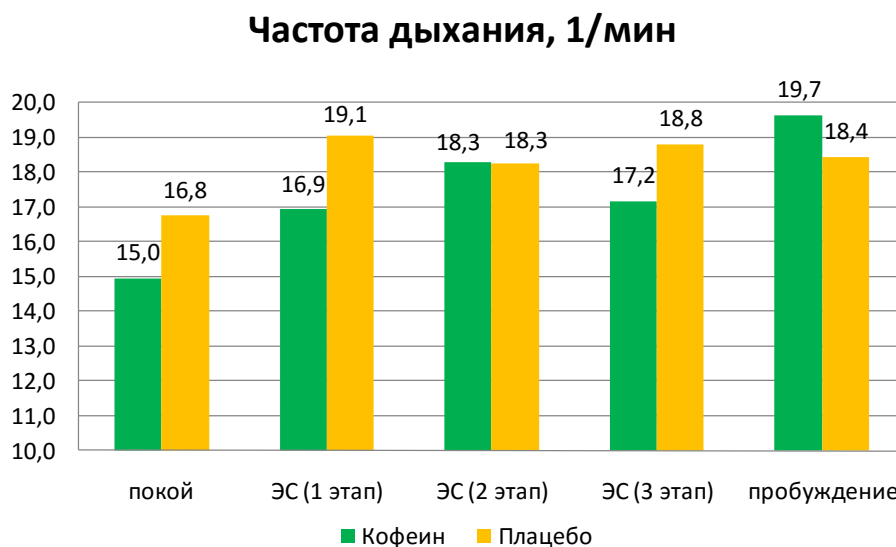


Рис. 1. Сравнительная диаграмма частоты дыхания для групп испытуемых кофеин и плацебо до, после и в процессе воздействия электросна

На рис.1 видно, что частота дыхания у испытуемых группы, принявших кофеин, в состоянии покоя, на первом и третьем этапе электросна ниже, чем в группе «плацебо», а на втором этапе электросна и при пробуждении соотношение меняется и у испытуемых из

группы «плацебо» частота дыхания ниже в сравнении с группой «кофеин». Испытуемые, принявшие стимулирующий препарат, характеризуются постепенным увеличением частоты дыхания при переходе от покоя к первому и второму этапу электросна при дальнейшем снижении ее на третьем этапе электросна с последующим увеличением при пробуждении.

Частота дыхания испытуемых группы «плацебо» отличается несколько иной динамикой. В данном случае ЧД увеличивается более всего при переходе от состояния покоя к первому этапу электросна, дальнейшее продолжение воздействия электросна приводит к снижению частоты дыхания на втором этапе и увеличению на третьем этапе с последующим снижением ее в состоянии пробуждения. Известно, что в покое у здоровых людей частота дыхания составляет 14-20 уд/мин, а во сне 12-13 уд/мин [Физиология человека, 1996; Физиология человека, 1998]. В нашем исследовании наблюдается тенденция увеличения частоты дыхания у всех испытуемых во время электросна и пробуждения по сравнению с покоем (значения соответствуют состоянию покоя, а не сна). Это указывает на наличие небольшого тормозного эффекта электросна и повышение активации при его дальнейшей отмене. На фоне действия большой дозы кофеина электросон приводит к замедлению процесса восстановления дыхания по сравнению с группой плацебо. Кофеин вызывает постепенное увеличение ЧД при действии электросна, так что максимум возникает только на втором этапе ЭС с дальнейшим уменьшением частоты дыхания. В группе испытуемых «плацебо» увеличение ЧД наблюдается уже на первом этапе ЭС с ее дальнейшим уменьшением. Похоже, что у испытуемых группы «плацебо» динамические изменения ЧД протекают ранее на один пятиминутный этап. На основе этого можно предположить, что прием больших доз кофеина для улучшения результатов тренировки требует более длительного времени восстановления и проведения более продолжительной процедуры электросна.

Условная амплитуда дыхания, мм

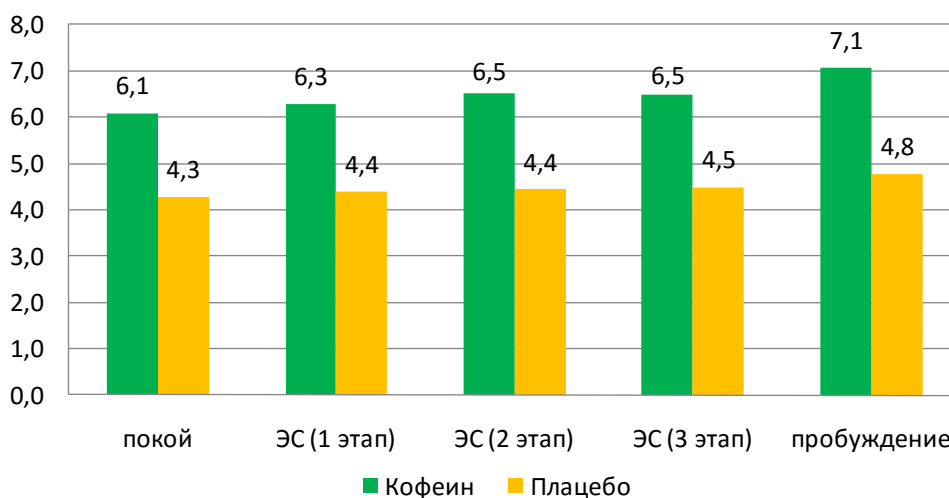


Рис. 2. Сравнительная диаграмма условной амплитуды дыхания для групп испытуемых «кофеин» и «плацебо» до, после и в процессе воздействия электросна

Условный минутный объем дыхания, усл.ед/мин

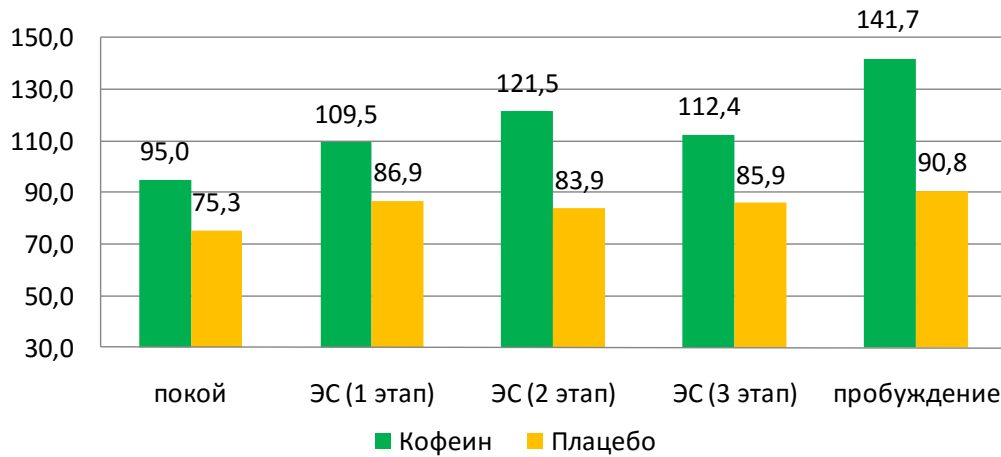


Рис. 3. Сравнительная диаграмма условного минутного объема дыхания для групп испытуемых «кофеин» и «плацебо» до, после и в процессе воздействия электросна

На рис. 2 показана диаграмма изменения условной амплитуды дыхания (УАД) для группы испытуемых «кофеин» и «плацебо». В обеих группах наблюдается постепенное увеличение амплитуды дыхания при переходе от покоя к этапам электросна и к пробуждению. На рис. 2 видно, что в двух группах отличаются значения показателя амплитуды дыхания: в группе «плацебо» значения показателя ниже, чем в группе «кофеин».

Интересно, что при этом в группе «плацебо» различия между этапами эксперимента менее выражены, чем в группе «кофеин», особенно при прекращении воздействия электросна. В случае с амплитудой дыхания также наблюдается некоторое запаздывание динамических изменений по данному показателю в группе «кофеин» по сравнению с группой «плацебо». Динамика условного минутного объема дыхания схожа с изменениями частоты дыхания в двух группах (рис. 3). У испытуемых группы «кофеин» наблюдается увеличение минутного объема при переходе от покоя к первому и затем второму этапам электросна с дальнейшим уменьшением на третьем этапе электросна и значительным увеличением при пробуждении. Для группы «плацебо» характерным является увеличение минутного объема дыхания при переходе от состояния покоя к первому этапу электросна, с его дальнейшим снижением на втором этапе электросна. Далее происходит постепенное увеличение минутного объема дыхания при переходе к третьему этапу электросна и пробуждению. Значения минутного объема дыхания у испытуемых группы «кофеин» значительно выше, чем у испытуемых группы «плацебо».

Изменения показателей частоты сердечных сокращений для двух групп показаны на рис. 4. В динамике ЧСС группы «кофеин» и «плацебо» наблюдаются небольшие различия, проявляющиеся в том, что в группе «кофеин» ЧСС увеличивается два раза: при

переходе от покоя к первому этапу ЭС и при переходе от третьего этапа ЭС к пробуждению, а в группе «плацебо» – один раз: при пробуждении. При этом в группе «кофеин» значения ЧСС выше во все периоды исследования по сравнению со значениями этого показателя в группе «плацебо».

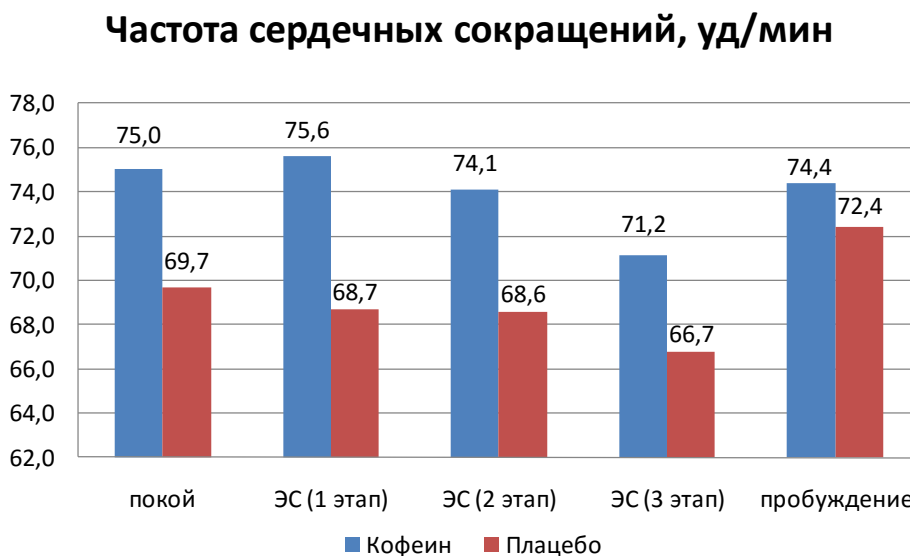


Рис. 4. Сравнительная диаграмма частоты сердечных сокращений для групп испытуемых «кофеин» и «плацебо» до, после и в процессе воздействия электросна

В группе «плацебо» наблюдается постепенное снижение ЧСС при переходе от покоя к электросну, которое продолжается в процессе всех трех этапов электросна. Увеличение этого показателя проявляется при отключении воздействия электросна, приводящее к пробуждению. Интересно, что во время электросна в группе «кофеин» ЧСС не становится менее 70 уд/мин, этот показатель принимает самое малое относительное значение на третьем этапе электросна и его значения при пробуждении практически соответствует уровню ЧСС в покое. Испытуемые группы «плацебо» характеризуются тем, что у них ЧСС не достигает значения 70 уд/мин ни в состоянии покоя, ни во время этапов электросна, только при пробуждении ЧСС превышает это значение. Особенности динамики ЧСС у испытуемых группы «плацебо» демонстрируют, что электросон оказывает тормозное действие на сердечную активность. Практически такой же эффект, но менее выраженный, наблюдается у испытуемых группы «кофеин» с разницей в том, что стимулирующий эффект кофеина на сердечную деятельность продолжается несколько подавляемый тормозным влиянием электросна.

На рис. 5 показаны изменения уровня насыщения крови кислородом (SpO₂) у испытуемых двух групп в зависимости от воздействия электросна. В целом надо отметить, что уровень насыщения крови кислородом в среднем по группам меняется мало. Уровень насыщения крови кислородом в группе «кофеин» выше, чем в группе «плацебо». При практическом равенстве значения этого показателя для обеих групп в состоянии покоя динамика SpO₂ в двух группах наблюдается различная. Для группы «кофеин» характерно увеличение уровня насыщения крови кислородом на первом этапе электросна и при пробуждении, при этом наблюдается снижение на втором и третьем этапах ЭС, а для

группы «плацебо» – постепенное снижение до второго этапа ЭС с последующим постепенным увеличением значения этого показателя.

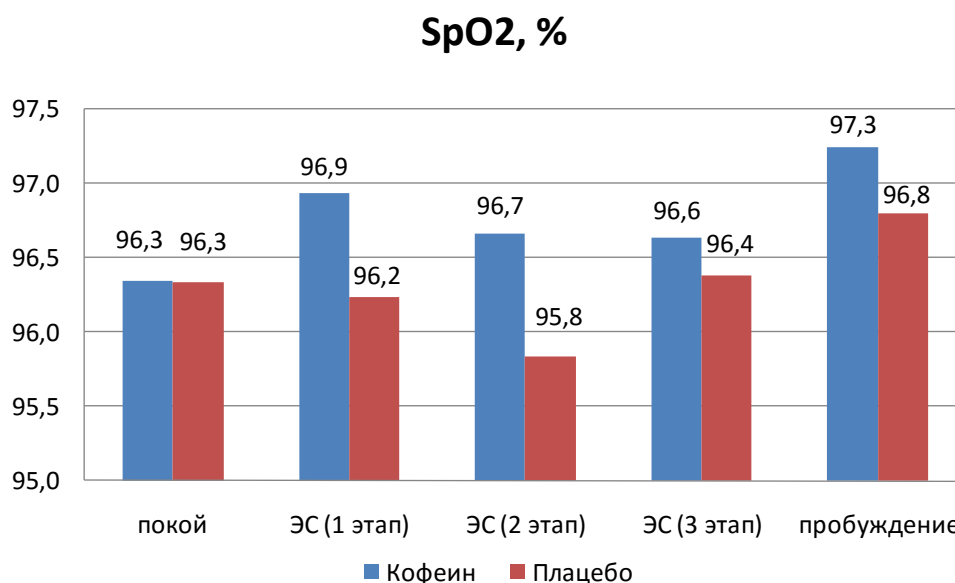


Рис. 5. Сравнительная диаграмма уровня насыщения крови кислородом для групп испытуемых «кофеин» и «плацебо» до, после и в процессе воздействия электросна

Очевидно, воздействие электросна на испытуемых группы «плацебо» приводит к некоторому уменьшению уровня насыщения крови кислородом, которое сменяется ростом этого уровня на последнем этапе ЭС и при пробуждении. В случае стимулирующего влияния кофеина наблюдается первоначальное увеличение SpO₂ при включении процедуры электросна, продолжение которой приводит к небольшому снижению SpO₂ и дальнейшему его увеличению при пробуждении.

Все приведенные выше данные необходимо рассмотреть в комплексе для понимания возможных механизмов, лежащих в основе динамических изменений физиологических показателей отдельно для группы плацебо и лекарство.

Для испытуемых группы «плацебо» характерна разная динамика показателей дыхательной и сердечной активности. При постепенном росте амплитуды дыхания наблюдается скачкообразное увеличение, затем уменьшение частоты дыхания. Интересно, что при пробуждении наряду с уменьшением ЧД увеличивается УАД и УМОД. Изменения ЧСС и SpO₂ схожи, но при этом значительное уменьшение уровня насыщения крови кислородом наблюдается в середине процедуры электросна, а уменьшение ЧСС приходится на последний этап электросна. Похоже, что уровень насыщения крови кислородом быстрее реагирует на воздействие электросна по сравнению с частотой сердечных сокращений. Наличие разной направленности изменений ЧС и УАД, УМОД, а также несинхронности ЧСС и SpO₂ указывает на системное протекание компенсаторных процессов во время тормозного влияния низкочастотной ритмической электростимуляции подкорковых структур головного мозга человека.

Для испытуемых группы «кофеин» разные показатели дыхательной и сердечной деятельности оказываются более синхронизированными. Динамика частоты дыхания, амплитуды дыхания и его минутного объема имеет схожие тенденции, проявляющиеся в росте значений этих показателей до второго этапа электросна с их уменьшением и дальнейшим ростом. Значения показателей ЧСС и SpO2 сходным образом сначала увеличиваются при переходе от покоя к первому этапу электросна, затем снижаются постепенно на третьем этапе ЭС и увеличиваются при пробуждении. Направленность изменений всех показателей дыхательной и сердечной деятельности, очевидно, является результатом стимулирующего действия большой дозы кофеина, которое приводит к изменению взаимодействия компенсаторных процессов. В частности, результатом такого действия являются более высокие показатели амплитуды, минутного объема дыхания, частоты сердечных сокращений и уровня насыщения крови кислородом.

Выводы

Полученные в данном исследовании результаты позволяют сделать следующие выводы. Во-первых, состояние электросна характеризуется значениями показателей дыхательной и сердечной деятельности, типичными для состояния спокойного бодрствования или релаксации. Это позволяет обозначить состояние электросна не как состояние естественного сна, а, скорее, релаксации или «электрорелаксация». Во-вторых, выделение пятиминутных этапов ЭС оказалось полезным для уточнения динамики рассмотренных физиологических показателей, что указывает на наличие неоднородных состояний в процессе воздействия низкочастотной ритмической электростимуляции. В-третьих, изменения работы физиологических систем во время электросна можно фиксировать с помощью рассмотренных нами показателей ЧС, УАД, УМОД, ЧСС и SpO2. В-четвертых, результатом процедуры электросна является улучшение вегетативной регуляции активности организма (на основе показателей физиологических процессов в группе «плацебо») и общего самочувствия (на основе самоотчета испытуемых). В-пятых, применение стимулирующего воздействия больших доз кофеина оказало влияние на динамику и величину значений показателей дыхательной и сердечной деятельности испытуемых (на основе показателей физиологических процессов в группе «кофеин») и не оказало влияние на общее самочувствие (на основе самоотчета испытуемых). В-шестых, применение метода электросна с целью купирования гиперактивации нервной системы у спортсменов является эффективным при условии увеличения длительности воздействия низкочастотной ритмической электростимуляции, по крайней мере, на 5 минут.

Список литературы

1. Гиляровский В.А., Ливенцев Н.М., Сегаль Ю.Е., Кириллова З.А. Электросон. М.: Медгиз, 1958. – 172 с.
2. Ковальзон В.М. Основы сомнологии: физиология и нейрохимия цикла "бодрствование-сон". Изд-во «БИНОМ. Лаборатория знаний», 2012. 239 с.
3. Левин Я.И. Вегетативная нервная система и сон. // Сомнология и медицина сна. Избранные лекции. Под ред. Я.И. Левина, М.Г. Полуэктова. – М.: Медфорум, 2013. С. 104-110.
4. Федеральный закон Российской Федерации от 27 декабря 2006 г. N 240-ФЗ.

5. Физиология человека. В 3-х тт. / Под ред. Р.Шмидта и Г.Тевса. – М.: Мир, 1996.
6. Физиология человека. / Под ред. Н.А. Агаджаняна и В.И. Циркина. – Спб., 1998.