

Особенности мозговой организации когнитивных процессов у студентов с депривацией сна при опознании лицевой экспрессии в условиях введения в контекст задания стимулов Go/NoGo

Е.А. Черемушкин, Н.Е. Петренко, И.А. Яковенко

ФГБУН Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, Москва
khton@mail.ru

Абстракт. У студентов с естественной депривацией сна с помощью анализа корковых биоэлектрических потенциалов исследовались межстимульные интервалы и особенности реакции на комплексный стимул. В период преднастройки к деятельности мощность альфа-ритма у них достоверно меньше, чем в контрольной группе. У них обнаружено значительное снижение и запаздывание индуцированной десинхронизации альфа-ритма в ответ на предъявление целевого (два лица) стимула. При экспонировании далее кондиционирующего стимула (Go/NoGo) десинхронизация у этих студентов была выражена существенно слабее, чем у студентов контрольной группы. Эти факты свидетельствуют об избыточной активации мозговых процессов и менее оптимальных условиях выполнения когнитивной деятельности.

Ключевые слова: депривация сна, ЭЭГ, альфа ритм, синхронизация/десинхронизация, опознание лицевой экспрессии, кондиционирующие сигналы Go/NoGo

Features of the brain organization of cognitive processes in students with sleep deprivation in the recognition of facial expression under conditions of introducing Go/NoGo stimuli into the context of the task

E.A. Cheremushkin, N.E. Petrenko, I.A. Yakovenko

Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology of the Russian Academy of Sciences
khton@mail.ru

Abstract. Students with natural sleep deprivation with the help of cortical bioelectrical potentials analysis studied interstimulus intervals and features of the response to a complex stimulus. During the pre-stimulus period, the alpha-rhythm power in them is significantly less than in the control group. They found a significant decrease and delay in the induced desynchronization of the alpha rhythm in response to the presentation of the target (two faces) stimulus. When exposing the conditioning stimulus (Go/NoGo), desynchronization in these students was significantly weaker than in the control group. These facts testify to excessive activation of brain processes and less optimal conditions for performing cognitive activity.

Keywords: sleep deprivation, EEG, alpha rhythm, synchronization/desynchronization, recognition of facial expression, conditioning signals Go/NoGo

Введение

В наших исследованиях тормозного контроля с использованием метода фиксированной установки по Д. Н. Узнадзе у студентов с трудностями и без трудностей обучения (Костандов, Черемушкин, 2017) у части испытуемых были выявлены нарушения сна. Студенты с этими нарушениями хуже опознают лицевую экспрессию, что может быть связано у них с менее оптимальным функциональным состоянием мозга (Черемушкин и др, 2016: 412-425).

Хорошо известно, что недостаток сна приводит к общему замедлению скорости реакции и увеличению вариабельности в эффективности деятельности, он сказывается, например, на такой функции, как внимание, однако его влияние на высшие психические процессы - восприятие, память и исполнительные функции изучено гораздо слабее (Killgore, 2010). Еще менее изучены нейрофизиологические механизмы, лежащие в основе этого ухудшения деятельности. Нейровизуализационные исследования свидетельствуют о снижении метаболической активности в ряде корковых регионов мозга, связанных с процессами внимания, обработкой информации и исполнительными функциями, такими как префронтальная кора, цингулярная извилина, таламус, базальные ганглии и мозжечок при недостатке сна (Thomas et al., 2000; Chee et al., 2008). Интересно отметить, что недостаток сна оказывает значимое влияние и на эмоциональные процессы, ухудшая например опознание лицевой экспрессии (Killgore et al., 2017) обеспечение которой во многом связано так же с участием префронтальной коры.

Целью нашего исследования являлось изучение механизмов обеспечения когнитивной деятельности у студентов в процессе задремывания. В качестве модели исследования дремотного состояния использовалась частичная депривация сна, увеличение паузы внутри комплексного стимула между одновременным предъявлением двух лиц и кондиционирующим стимулом (Go/NoGo), а также монотонная деятельность, вызываемая длительным повторением одних и тех же стимулов. В задачи работы входило сопоставление мощностных характеристик колебаний альфа ритма в межстимульные интервалы, а также на лицевые паттерны и стимулы Go/NoGo у студентов с частичной депривацией сна и их нормально спящих коллег.

Процедура и методы исследования

Из 71 человека, в возрасте 18.7 ± 0.7 лет, участвовавших в эксперименте, были выделены 2 группы испытуемых – основная (15 человек, спавших накануне от 2 до 4,5 часов: 2 юноши, 13 девушек) и контрольная (13 человек, спавших 8 часов и более: 4 юноши, 9 девушек). Ранее они не участвовали в опытах с опознанием лицевой экспрессии и дали письменное согласие на участие в исследовании. Перед экспериментом все заполняли опросник САН и отвечали на вопросы, касающиеся длительности сна (сколько спали в ночь перед опытом, сколько спали обычно в последние недели, сколько бы спали, если бы предоставилась возможность спать, сколько хочешь). Для оценки успеваемости мы впоследствии воспользовались результатами тестирования студентов с помощью компьютерной системы контроля знаний (Алипов с соавт., 2013). Показателем того, как учащиеся справляются с учебным процессом в ней служит отношение количества сданных зачетов по изучаемым темам в течение семестра к числу попыток их сдачи. Для наглядности мы нормировали данный показатель в интервале 1-5.

Использовали модель фиксированной психофизиологической установки (Узнадзе, 1958:5-126), в которой испытуемый решал задачу опознания лицевой экспрессии. При формировании установки 20 раз одновременно предъявляли две фотографии одного человека из атласа эмоций (Ekman, Friesen, 1976): слева – с сердитым, справа – с нейтральным выражением лица; на стадии тестирования влияния установки на восприятие 40 раз экспонировали два “нейтральных” лица. С паузой в 2 секунды после начала действия установочного (целевого) стимула S1, т.е. 1.65 с после его конца, предъявляли положительный (Go) или отрицательный (NoGo) кондиционирующий сигнал (S2) – круг диаметром 1 см зеленого или синего цвета. Цвета менялись случайным образом, при этом на обеих стадиях эксперимента количество сигналов Go и NoGo было одинаковым. Затем с паузой 8 с после начала предъявления S2 предъявляли пусковой стимул (S3) – световое пятно белого цвета. Согласно инструкции, если кондиционирующий стимул S2 был зеленого цвета, испытуемый в ответ на пусковой стимул S3 должен был нажать на кнопку джойстика и сказать – одинаково ли выражение обоих лиц или же одно из них, левое или правое, более неприятно. Если S2 был синего цвета, моторная реакция отменялась, однако сохранялась

необходимость вербального ответа. Время экспозиции всех стимулов – 350 мс. Интервал между комплексами стимулов S1–S3 составлял 4–7 с и менялся случайным образом.

В течение всего опыта отводили электрическую активность коры головного мозга. Предъявление стимулов, регистрация ответов и синхронизация их с ЭЭГ осуществляли с помощью программы системы “Неостимул” (“Neurobotics”). Отведение, усиление и фильтрацию ЭЭГ проводили с помощью системы Neocortex-Pro (“Neurobotics”). Частота дискретизации – 250 Гц. Полоса пропускания частот: 0.5–70 Гц. ЭЭГ регистрировали с помощью хлорсеребряных электродов с сопротивлением, не превышающим 5 кОм. Электрическую активность с поверхности головы отводили с помощью 20 электродов, расположенных в соответствии с международной схемой 10–20% с дополнительными отведениями (F3, F4, F7, F8, Fz, FT7, FT8, C3, C4, Cz, FC3, FC4, T3, T4, P3, P4, T5, T6, O1, O2). Отведение ЭЭГ было монополярным, референтный электрод – объединенный ушной.

Анализировали отрезки ЭЭГ продолжительностью 14 с, которые включали 4 с до и 10 с после предъявления целевого стимула (лица). На основе Фурье-преобразования для каждого испытуемого вычисляли “ведущую частоту”, т.е. частоту наибольшей величины спектральной мощности в альфа-диапазоне ЭЭГ. Амплитуда ведущей частоты наиболее существенно изменяется на значимые стимулы (Klimesch W., 1999). Эта частота использовалась для определения индивидуального альфа ритма. Он включал в себя ведущую частоту и полосу 1 Гц до нее. Для оценки изменений электрических колебаний применяли метод анализа вариационных кривых. По определению вариационная кривая является произведением амплитуды потенциала на его частоту. Однако, учитывая малые изменения частотной структуры электрических колебаний на относительно небольшом отрезке времени (например, 1 с), можно говорить о ней как о показателе мощностного, амплитудного типа (Козлов, 2009). Для упомянутого альфа ритма на исследуемых отрезках ЭЭГ длиной 1 с и со скользящим окном 100 мс и сдвигом 10 мс для каждого отведения определяли вариационную кривую. В качестве показателя изменения функции, использовали ее средние значения, вычисляемые на анализируемых отрезках времени. Вычислялось среднее значение показателя по всем отведениям. Чтобы определить, как мощность постстимульных потенциалов меняется по отношению к предстимульным, из полученных средних значений на каждом секундном отрезке интервала между целевым и пусковым стимулами вычитали среднее значение на секундном отрезке, непосредственно перед предъявлением целевого стимула S1. Для оценки различий в реакциях альфа ритма между группами использовали критерий Стьюдента.

Результаты исследования

По шкалам “Самочувствие” и “Активность” опросника САН основная и контрольная группа различаются ($t=2.39$, $p=0.024$ и $t=2.44$, $p=0.021$ по критерию Стьюдента соответственно). Выспавшиеся студенты имели более высокие баллы по упомянутым шкалам ($M=54.7\pm 2.6$, $M=54.3\pm 2.4$ и $M=45.7\pm 2.7$, $M=46.8\pm 1.9$ соответственно). В течение ближайшего времени они в среднем спали дольше, чем их не выспавшиеся коллеги ($t=3.1$, $p=0.004$, $M=7.1\pm 0.3$ и $M=4.6\pm 0.6$ соответственно). Если бы студентам предоставилась возможность спать, сколько захочешь, то цифры были следующие: $M=8.5\pm 0.3$ для выспавшихся и $M=10.2\pm 1.2$ для не выспавшихся. По успеваемости, согласно выбранному показателю, группы студентов не различались ($M=4.15\pm 0.19$ и $M=3.96\pm 0.24$ для контрольной и основной групп соответственно; $t=0.65$, $p=0.52$).

Число ошибок опознания лицевой экспрессии на стадии предъявления пар лиц с одинаковым выражением (“нейтральным”) у групп с депривацией сна и контролем значимо не различалось ($M=7.2\pm 2.0$ и $M=10.5\pm 2.4$ соответственно; $t=0.65$, $p=0.52$). Также не различалось время реакции между группами на пусковой стимул. Показано уменьшение данного параметра от стадии формирования к стадии тестирования установки ($M=422\pm 37$ мс и $M=422\pm 31$ мс, $t=2.9$, $p=0.013$ у основной группы; $M=486\pm 49$ мс и $M=379\pm 49$ мс, $t=3.6$, $p=0.004$ у контрольной).

Мощность колебаний альфа ритма в 4-секундном интервале времени после поведенческой реакции на предыдущий комплексный стимул и предъявлением кадра с изображением лиц следующего была больше у выспавшихся учащихся на протяжении всего опыта (рис. 1. А). В ответ на предъявление лицевых стимулов изменения альфа-ритма у испытуемых основной группы выражены слабо или полностью отсутствуют, т.е. его характеристики практически не отличаются от предстимульного уровня. У испытуемых контрольной группы при этом отмечается реакция десинхронизации (рис. 1. Б), за исключением 1-ой с на стадии тестирования установки.

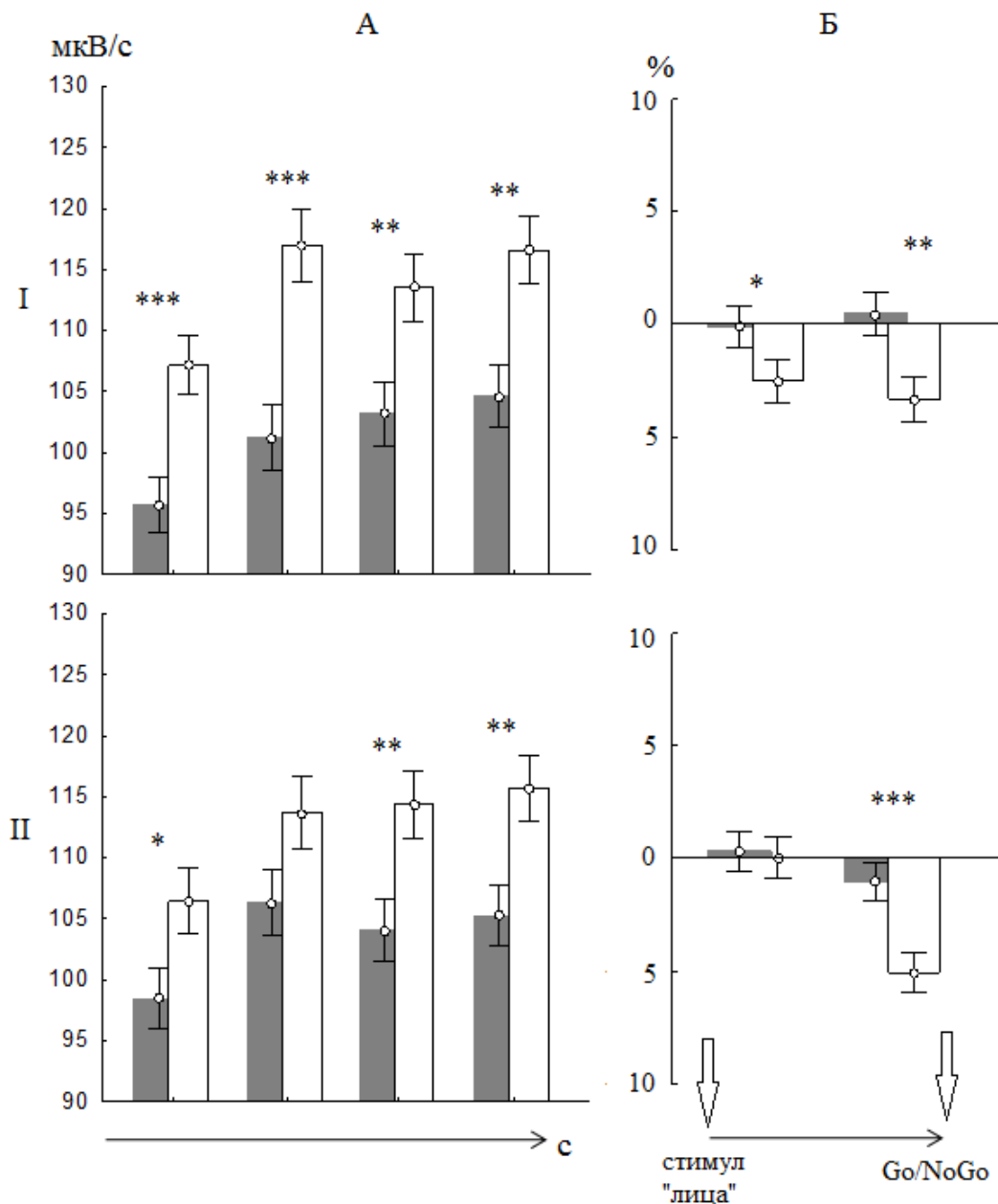


Рис. 1. Мощность предстимульного альфа ритма (А) и его реакции на лицевые стимулы в % по отношению к предстимульному периоду - последней секунде перед стимулом (Б) у группы студентов с депривацией сна и контрольной группы. I, II - стадии опыта: одновременное предъявление двух лиц с разной лицевой экспрессией и с одинаковой - соответственно; серые столбики - группа студентов с депривацией, белые - контрольная группа. Обозначения *, ** и *** – достоверность различия между группами (<0.05, < 0.01 и <0.001 соответственно). Показана ошибка среднего

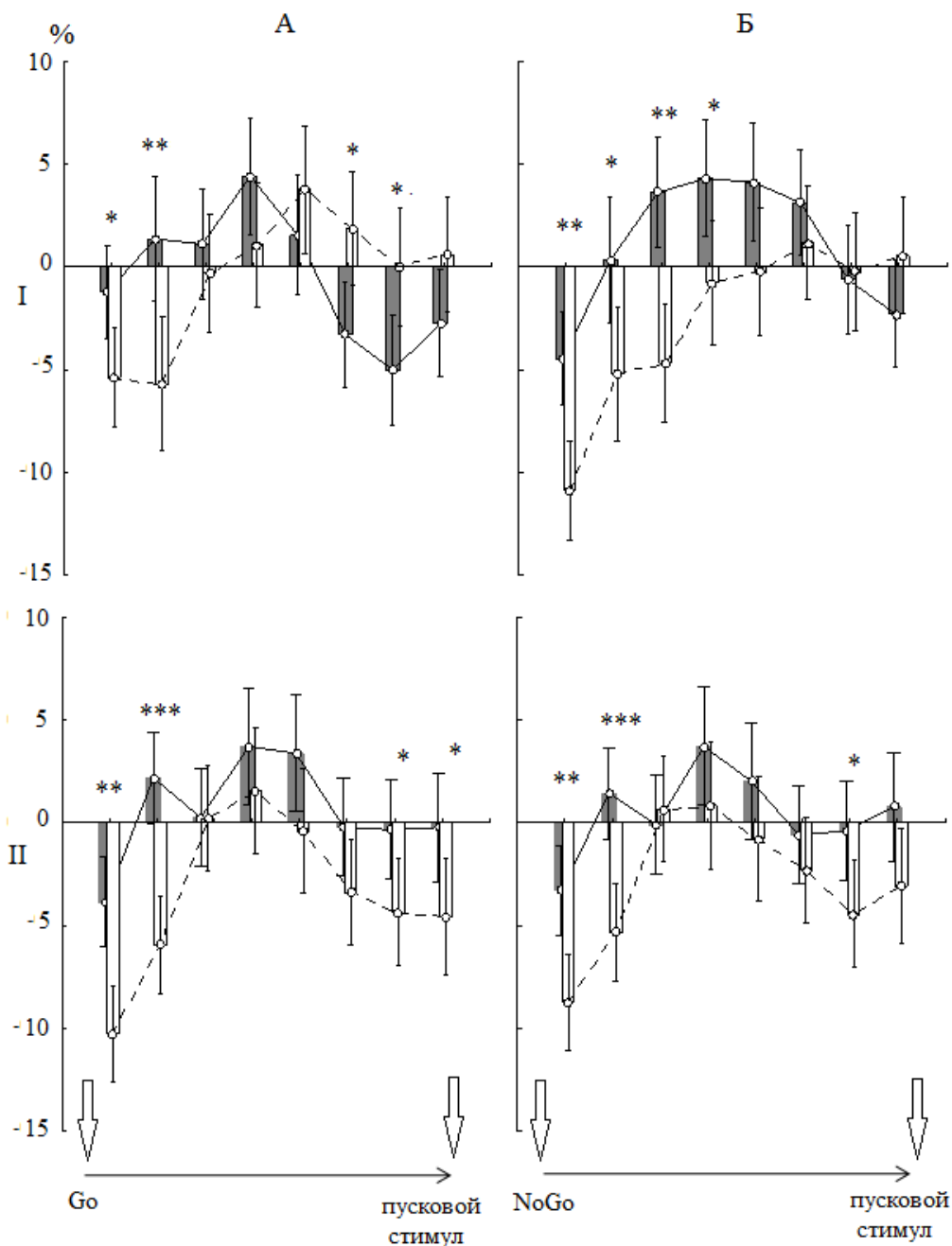


Рис. 2. Индуцированная синхронизация/десинхронизация альфа-колебаний у группы студентов с депривацией сна и контрольной группы после предъявлений стимулов Go (А) и NoGo (Б). По горизонтали – время от начала предъявления кондиционирующего стимула. Стрелки (слева направо) – время предъявления кондиционирующего (Go/NoGo) и пускового стимулов. По вертикали – реакции синхронизации/десинхронизации, %. Остальные обозначения, как на рис. 1

В ответ на предъявление кондиционирующих стимулов Go и NoGo в обеих группах наблюдается реакция десинхронизации, больше выраженная у контрольной группы студентов (рис. 2). Далее в основной группе начинает быстро развиваться реакция синхронизации, достигающая наибольших значений на 4-5 с после предъявления кондиционирующего стимула и наиболее выраженная после действия тормозного сигнала NoGo (рис. 2. I. Б). В первой части опыта (при экспонировании кадров лиц с разными эмоциями) далее у них развивается реакция десинхронизации (рис. 2. I), а во второй (одинаковые лица) - характеристики альфа ритма снижаются к уровню предстимульных значений (рис. 2. II).

В контрольной группе студентов реакция десинхронизации к середине 8-секундной паузы между кондиционирующим и пусковым стимулами достигает предстимульных величин или несколько их превосходит. После этого до экспонирования пускового стимула значения альфа ритма сохраняются на предстимульном уровне (рис. 2. I), или развивается их десинхронизация (рис. 2. II).

Обсуждение

Меньшие значения значений шкал "Самочувствие" и "Активность" опросника САН у студентов основной группы по сравнению с контрольной свидетельствуют, что они находились в худшем функциональном состоянии. Число ошибок опознания на стадии тестирования эффекта установки у исследуемых групп значимо не различалось. Вопрос о влиянии депривации сна на формирование установки и ее устойчивость в условиях нагрузки на рабочую память, таким образом, остается открытым.

Более низкие значения мощности альфа-ритма между комплексами стимулов у не выспавшихся, в том числе за секунду до предъявления лиц (состояние внимания направленного на деятельность (Фарбер с соавт., 2014)) при депривации указывает на более высокий уровень активации, что впоследствии приводит к практическому отсутствию ЭЭГ-реакции на лицевые стимулы. Известно, что увеличение амплитуды альфа-ритма связано со снижением уровня метаболической активности (Feige et al., 2005). Избыточная активация мозговой сети обеспечивающей состояние покоя (default mode network) у лиц с депривацией сна описывалась ранее (Drummond et al., 2005). Поскольку эта система обычно активируется когда человек бодрствует, но находится в состоянии покоя и активно не вовлечен в реализацию когнитивной деятельности, можно предполагать, что межстимульные интервалы не требующие никакой деятельности частично обеспечиваются этой же системой. Соответственно ее избыточная активация в "фоновом" состоянии может привести к тому, что когда необходимо задействовать ресурсы для выполнения деятельности их может не хватать, что и отражается в отсутствии реакции на целевые стимулы в группе депривированных студентов.

На кондиционирующий стимул реакция десинхронизации у них появляется, а далее, ближе к середине 8-секундной паузы альфа-ритм возрастает, чтобы перед экспонированием пускового стимула вернуться к предстимульным величинам. Мы предполагаем, что студенты с естественной депривацией поддерживают более высокий уровень внимания в периоды между реакцией на предыдущий комплексный стимул и появлением следующего, а паузу после лицевого и Go/NoGo стимула используют для отдыха, передышки. Наиболее выражен этот тип реакции после предъявления стимула, тормозящего моторную реакцию в первой части опыта, когда экспонировались пары лиц с разным эмоциональным выражением. Во второй его части, ближе к концу эксперимента, когда предъявлялись одинаковые пары лиц, рост мощности колебаний альфа-ритма на стимул NoGo был менее значителен и практически не отличался от реакции на стимул Go. Период отдыха, таким образом, сокращался, им необходимо было задействовать дополнительные ресурсы для невилирования снижения внимания вызванного депривацией сна (Chee et al., 2008), особенно при длительном и монотонном предъявлении однотипных стимулов.

В контрольной группе на стимул «лица» наблюдается десинхронизация, которая возрастает при предъявлении следующего, кондиционирующего стимула. К середине 8-секундной паузы реакция альфа-ритма приближается к предстимульным значениям. При одновременном экспонировании лиц с разным выражением ее величина сохраняется на предстимульном уровне, а во второй части опыта снова уменьшается. Эти факты, на наш взгляд, свидетельствуют, что между комплексными стимулами выспавшиеся студенты находятся в состоянии покоя, близкого к физиологическому оптимуму, а на отрезке времени между целевым и пусковым стимулами активизируются.

Реакции на комплексный стимул у студентов с естественной депривацией и нормально спящих различаются и отражают разные стратегии обработки информации.

Избыточный уровень активации мозговых процессов, характерный для группы студентов с депривацией сна свидетельствует и менее оптимальных условиях выполнения ими когнитивной деятельности.

Литература

Chee, M. W., Tan, J. C., Zheng, H., Parimal, S., Weissman, D. H., & Zagorodnov, V., et al. 2008. Lapsing during sleep deprivation is associated with distributed changes in brain activation. *Journal of Neuroscience*, 28. – P. 5519-5528.

Drummond, S. P., Bischoff-Grethe, A., Dinges, D. F., Ayalon, L., Mednick, S. C., & Meloy, M. J. 2005. The neural basis of the psychomotor vigilance task. *Sleep*, 28. – P. 1059-1068.

Ekman P., Friesen W.V. 1976. *Pictures of Facial Affect*. Palo Alto Consult. Psychol. Press. 250 p.

Feige B., Scheffler K., Esposito E., Di Salle F., Hennig J., Seifritz E. 2005. Cortical and subcortical correlates of electroencephalographic alpha rhythm modulation // *J. Neurophysiology*. 93. 2864-72.
Killgore, W. D. S. 2010. Effects of sleep deprivation on cognition. In *Progress in Brain Research/ G. A. Kerkhof and H. P. A. Van Dongen (Eds.), Vol. 185.* – P. 105-129.

Killgore W. D.S., Balkin T. J., Yarnell A. M., Capaldi V. F. (2017) Sleep deprivation impairs recognition of specific emotions. *Neurobiology of Sleep and Circadian Rhythms* 3, 10–16
Klimesch W. 1999. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis // *Brain Res. Rev.* 29 (2–3). – P. 169-195.

Thomas, M., Sing, H., Belenky, G., Holcomb, H., Mayberg, H., & Dannals, R., et al. (2000). Neural basis of alertness and cognitive performance impairments during sleepiness. I. Effects of 24 h of sleep deprivation on waking human regional brain activity. *Journal of Sleep Research*, 9. – P. 335-352.

Алипов Н.Н., Соколов А.В., Сергеева О.В. 2013. Контроль знаний в медицинских вузах: проблемы и пути решения // *Медицинское образование и профессиональное развитие.* №4. – С. 55-63.

Козлов М.К. 2009. Оценка достоверности вариационных характеристик пре- и постстимульной кривой ЭЭГ по критерию хи-квадрат. // *Журнал высшей нервной деятельности им И.П.Павлова.* 59(2). – С. 281-290.

Костандов Э.А., Черемушкин Е.А. 2017. Нарушение нисходящего когнитивного контроля у отстающих в учебе студентов // *Физиология человека.* Т.43. №4. – С. 5-15.

Фарбер Д.А., Мачинская Р.И., Курганский А.В., Петренко Н.Е. 2014. Функциональная организация мозга в период подготовки к опознанию фрагментарных изображений // *Журнал высшей нервной деятельности им И.П.Павлова.* 64 (2). – С. 190-200.

Черемушкин Е. А., Петренко Н. Е., Яковенко И. А., Алипов Н. Н., Гордеев С. А. 2016. Опознание лицевой экспрессии и нарушения сна. Лицо человека в пространстве общения. Под ред. О. В. Шапошникова. – С. 412-425.

Узнадзе Д.Н. 1958. Экспериментальные основы психологии установки. Экспериментальные исследования по психологии установки // *Тбилиси: Изд-во АН ГССР.* – С. 5-126.