



Статья

## Влияние фрагментации сна на когнитивные способности и утомляемость

Умайма Бенкиране

<sup>1,2</sup>, Родерик Славский Делвич,<sup>2</sup> Оливье Мэресс и Филипп Пенье \*

2



UR2NF - Исследовательское подразделение нейропсихологии и функциональной  
нейровизуализации CRCN-Центра исследований в области познания и  
нейронук и Института нейронук UNI-ULB, Свободный университет Брюсселя (ULB),  
1050  
Брюссель, Бельгия;  
Больница Университета Брумманн, Лаборатория сна  
и отделение хронибологии U78, Свободный  
университет Брюсселя (ULB), 1050 Брюссель, Бельгия.  
\*Переписка: philippe.reinehr@ulb.be

**Аннотация:** Непрерывность и эффективность сна необходимы для оптимальных когнитивных функций. Остается неясным, каким образом фрагментация сна (SF) ухудшает когнитивное функционирование и особенно когнитивную усталость (CF). Мы исследовали влияние индуцированного SF на CF с помощью задачи TloadDback, измеряя межиндивидуальную вариабельность объема рабочей памяти. Шестнадцать участников прошли адаптационную полисомнографию ночью и три ночи подряд, один раз в состоянии SF, вызванном не пробуждающие слуховые стимуляции, возникшие в состоянии восстановительного сна (RS), уравновешиваются внутри субъекта. В обоих случаях участникам проводилось тестирование памяти, бдительности, торможения и беглости речи, а для CF - TloadDback, а также опросники сна и усталости и были введены визуальные аналоговые шкалы сонливости. Субъективная усталость увеличилась, и архитектура сна была изменена после SF (снижение эффективности сна, процентное соотношение N3 и REM, количество NREM и фаз REM), несмотря на аналогичное общее время сна. На поведенческом уровне ухудшилось только торможение после SF, и CF аналогичным образом развивался в условиях RS и SF. В соответствии с предыдущими исследованиями, мы показываем, что SF нарушает архитектуру сна и оказывает пагубное влияние на субъективную усталость и заторможенность. Однако молодые здоровые участники, по-видимому, способны компенсировать МВ, вызванный тремя ночами СН подряд. Дальнейшие исследования должны изучить эффекты СН в условиях длительного и / или патологического срыва.



**Цитирование:** Бенкиране, У.; Делвич, Р.; Мэресс, О.; Пенье, П. Влияние фрагментации сна на когнитивные способности и утомление. Международная организация по охране окружающей среды. Отв. Общественное здравоохранение 2022, 19, 15485. <https://doi.org/10.3390/jerph192315485>

Научный Редактор: Б. Павел Тчонгуу

Получено: 11 октября 2022 г.  
Принято: 20 ноября 2022 г.  
Опубликовано: 22 ноября 2022 г.

**Примечание издателя:** MDPI сохраняет  
нейтрализует в отношении юрисдикционных  
претензий на опубликованных картах  
и заявлениях учреждений.



**Авторские права:** © 2022 авторства.  
Лицензиат MDPI, Базель, Швейцария.  
Эта статья находится в открытом  
доступе, распространяется в  
соответствии с условиями лицензии  
Creative Commons Attribution (CC BY)  
(<https://creativecommons.org/licenses/by/>  
4.0/).

### 1. Введение

Бесперебойный и качественный ночной сон играет ключевую роль в физической регенерации и поддержания оптимальной работы головного мозга и функции организма [1-3]. И наоборот, депривация сна (SD) или нарушение качества сна могут оказывать пагубное воздействие как на физическое здоровье, так и на когнитивные способности [4,5]. Несмотря на широкую межиндивидуальную вариабельность потребностей во сне [6], подсчитано, что большинству взрослых требуется в среднем 7 часов сна за ночь, чтобы избежать негативных последствий для здоровья [7]. Все еще, сон может быть неэффективным даже у людей, у которых ночи нормальной продолжительности [8], потенциально из-за различных факторов, которые могут повлиять на качество сна и его непрерывность [9]. Что касается непрерывности, было показано, что фрагментация сна, характеризующаяся повторяющимися эпизодами прерывания сна, которые систематически не приводят к пробуждениям, но препятствуют переходу мозга в стадии консолидированного сна, ослабляет восстанавливающий эффект сна [10] и оказывать пагубное воздействие на когнитивные функции в дневное время [11,12].

Фрагментация сна является основным компонентом нарушений дыхания во сне (SRBD) и особенно обструктивного апноэ во сне (OSA), определяемого повторяющимися эпизодами обструкции воздушного потока, что в конечном итоге приводит к кратковременным пробуждениям, периодической гипоксемии, храпу и фрагментации сна [13]. Хотя некоторые исследования показали определенное влияние сна фрагментации на когнитивные функции у больных COAD [14], все еще продолжаются дебаты о соответствующем воздействии гипоксемии и фрагментации сна на дневные нейрокогнитивные функции

дефицит [14-16]. Тем не менее, фрагментация сна является, по меньшей мере, усугубляющим компонентом нарушений, связанных с OSA. Действительно, о нейрологнитивном дефиците часто сообщают при COAC состояния, при которых нарушается восстанавливающий эффект сна [17,18]. Дефициты в основном распространены при выполнении задач, требующих постоянного использования когнитивных ресурсов (например, устойчивого внимания и исполнительных функций), но SRBD также может оказывать пагубное влияние на различные аспекты памяти, продуктивности и социальных взаимодействий [19-23]. Кроме того, у здоровых спящих людей фрагментация сна, вызванная шумом, повышает склонность к верхним дыхательным путям [24] и частота сердечных сокращений [25], которые типичны для OSA [26]. Поскольку независимый вклад фрагментации сна и гипоксемии в эти когнитивные нарушения все еще находится под пристальным вниманием [14], исследование последствий фрагментации сна на когнитивные функции у здоровых спящих людей является важным шагом в дальнейшем понимании влияния нарушения нормальных механизмов восстановительного сна для когнитивных функций в клинической модели, такой как пациенты с COAC. Следовательно, систематическое изучение влияния экспериментально индуцированной и обратимой фрагментации сна у здоровых групп населения может быть разумной экспериментальной моделью для изучения того, как фрагментация сна способствует когнитивному дефициту, связанному с OSA.

В частности, когнитивная усталость (КФ) является симптомом, который может быть связан как с фрагментацией сна, так и с SRBD, при котором она субъективно ощущается выше клинических пороговых значений рядом с чрезмерной дневной сонливостью [27]. Умственная или когнитивная усталость (CF) может быть определена как снижение когнитивной эффективности, развивающееся при устойчивых когнитивных потребностях в условиях ограниченного времени обработки, независимо от сонливости [28]. CF может быть результатом увеличенной продолжительности и / или ограниченного времени обработки умственно сложных задач, в конечном итоге возникает субъективная усталость, ощущение переутомления и недостатка энергии и снижение работоспособности. [29]. В прошлых исследованиях CF в основном использовались задания, в которых постоянное когнитивное требование (например, вычисления в уме по арифметике) выполнялось в течение длительного времени, до часов [30-36], и / или при высоких требованиях к когнитивным задачам, что в конечном итоге приводит к увеличению Ср. Основополагающий постулат заключается в том, что постоянные когнитивные запросы (например, при выполнении сложной задачи по обновлению рабочей памяти) истощают когнитивные ресурсы и, таким образом, приводят к более высоким уровням CF [37,38]. Когнитивная усталость также может быть концептуализирована в рамках основанного на времени распределения ресурсов (TBRS [39]) модель, предложенная Борраганом и др. [28]. В этой структуре не сложность задачи сама по себе приводит к когнитивной нагрузке и, в конечном итоге, к усталости, а время, отводимое на обработку материала, поскольку внимание является ограниченным ресурсом, который варьируется у разных людей. Следовательно, персональная максимальная когнитивная нагрузка соответствует самому быстрому темпу, в котором человек все еще точно выполняет требования задачи. Постоянная работа с такой максимальной когнитивной нагрузкой в конечном итоге приведет к увеличению CF. Используя задачу TloadDback, задачу когнитивной нагрузки, специально разработанную для учета межиндивидуальной изменчивости возможностей обработки рабочей памяти, было обнаружено, что CF модулируется уровнями когнитивной нагрузки [28], а также лишение сна [40] и продолжительность [41]. Однако то, как фрагментация сна способствует развитию CF и ухудшает когнитивные функции, остается недостаточно изученным.

В настоящем исследовании мы исследовали влияние на молодых здоровых участников экспериментально вызванной фрагментации сна (SF), имитирующей перерывы, связанные с OSA, в течение трех ночей подряд на CF и нейрологнитивные функции, по сравнению с тремя ночами, проведенными в лаборатории в условиях нормального восстановительного сна (RS). Участники прошли полисомнографию (PSG), им была введена нейропсихологическая батарея, охватывающая основные когнитивные функции, и они подвергались двойной рабочей нагрузке, вызывающей CF, задача обновления памяти (TloadDback [28]) в условиях низкого и высокого когнитивного спроса. С помощью этого внутрипредметного дизайна, мы стремились понять взаимосвязь между субъективными и объективными маркерами утомления и их взаимосвязь с когнитивными показателями, а также влияние вызванного SF нарушения нормальных механизмов восстановления сна на индукцию CF и когнитивные способности.

## 2. Материалы и методы.

### Участники

Шестнадцать здоровых и крепко спящих людей (8 женщин, 8 мужчин, средний возраст 28,5

± 4,48 года, минимальный

возраст = 24 года, максимальный возраст = 38 лет) были набраны с помощью рекламы в социальных сетях и листовок. Участники были наивны относительно цели эксперимента и дали письменное информированное согласие на участие в этом исследовании, одобренное Факультетским и ULB-Erasmus комитетами больницы по этике (CE 001/2019). За свое участие они получили 250 евро. Критериями исключения были нарушения сна или дыхания, нерегулярный режим сна и бодрствования, экстремальный утренний или вечерний хронотип, обычная продолжительность сна менее 6,5 ч, неврологические или психиатрические состояния, лечение опиоидами в анамнезе или текущий прием бензодиазепинов. Участников также попросили избегать возбуждающих и / или алкогольных напитков накануне, а также а также в течение дней эксперимента. Кроме того, отсутствие сна или нарушение дыхания контролировалось в течение ночи PSG привыкания, проведенной в лаборатории сна за неделю до перед началом эксперимента. Регулярность цикла сон-бодрствование и достаточная продолжительность сна контролировались с помощью 7-дневного актиграфического мониторинга и составления ежедневного расписания сна перед первым днем тестирования (подробнее см. Ниже).

### Процедура эксперимента

Эксперимент длился более 17 дней для каждого участника (рисунок 1). Первая ночь привыкания была проведена в лаборатории сна, чтобы убедиться в отсутствии нарушений сна и дыхания и приучить ко сну в условиях ПСГ. Участники вернулись домой утром на неделю. Чтобы обеспечить регулярность сна и бодрствования в течение этого периода дома, участников попросили каждое утро составлять график сна и носить устройство для актиографии (wGT3X-BT Monitor, ActiGraph, Пенсакола, Флорида, США). На 8-й день они вернулись в лабораторию сна для первой экспериментальной ночи. Экспериментальная манипуляция состояла из 3 последовательных ночей PSG, проведенных в лаборатории сна в условиях RS (в сравнении с SF), затем 3 ночей сна дома, а затем снова 3 последовательных ночей PSG в лаборатории сна в условиях SF (в сравнении с RS). Порядок выполнения условий RS и SF был уравновешен между участниками: 8 человек начинали с условия SF и 8 человек начинали с условия RS. Во все ночи экспериментов SF и RS участники прибывали в лабораторию между 21:30 и 22:00, готовились к записи PSG, а время выключения света устанавливалось между 23:00 и 24:00 в зависимости от индивидуальных привычек; время включения света устанавливалось соответственно обычному количеству часов сна каждого участника (среднее значение 531,43 ± 58,82 мин). В состоянии SF слуховые стимулы предъявлялись в течение 3 ночей подряд, чтобы вызвать фрагментацию сна (см. Ниже). В идеальном состоянии они спали безмятежно. Утром после каждой ночи в условиях RS и SF (дни с 9 по 11 и с 15 по 17) участники заполняли вопросник по сну Святой Марии [42], субъективно оценивая качество прошедшей ночи.

После первых ночей RS и SF (дни 9 и 15) участникам была проведена нейропсихологическая оценка и калибровочная часть TloadDBack, направленная на определение их максимальной производительности обработки рабочей памяти (см. Ниже). [28]. После второй и третьей ночей RS и SF (дни 10-11 и 16-17) участникам вводили протокол индукции CF с обратной загрузкой либо в условиях высокого (HCL), либо низкого (LCL) когнитивного состояния каждый день, в рамках субъекта, сбалансированный дизайн. Участникам был разрешен спокойный период отдыха до, во время и после тренировки с обратной нагрузкой. CF субъективно оценивался с помощью визуальной аналоговой усталости (VASf [43]) и сонливость (BACc [44]) шкалы тяжести на каждом экспериментальном этапе (T.I, T.II и T.III), а также визуальные аналоговые шкалы стресса (VASst) и мотивации к контролю потенциальных проблем. Межиндивидуальную циркадную изменчивость контролировали путем тестирования каждого участника в одно и то же время суток во всех условиях RS и SF, LCL и HCL.

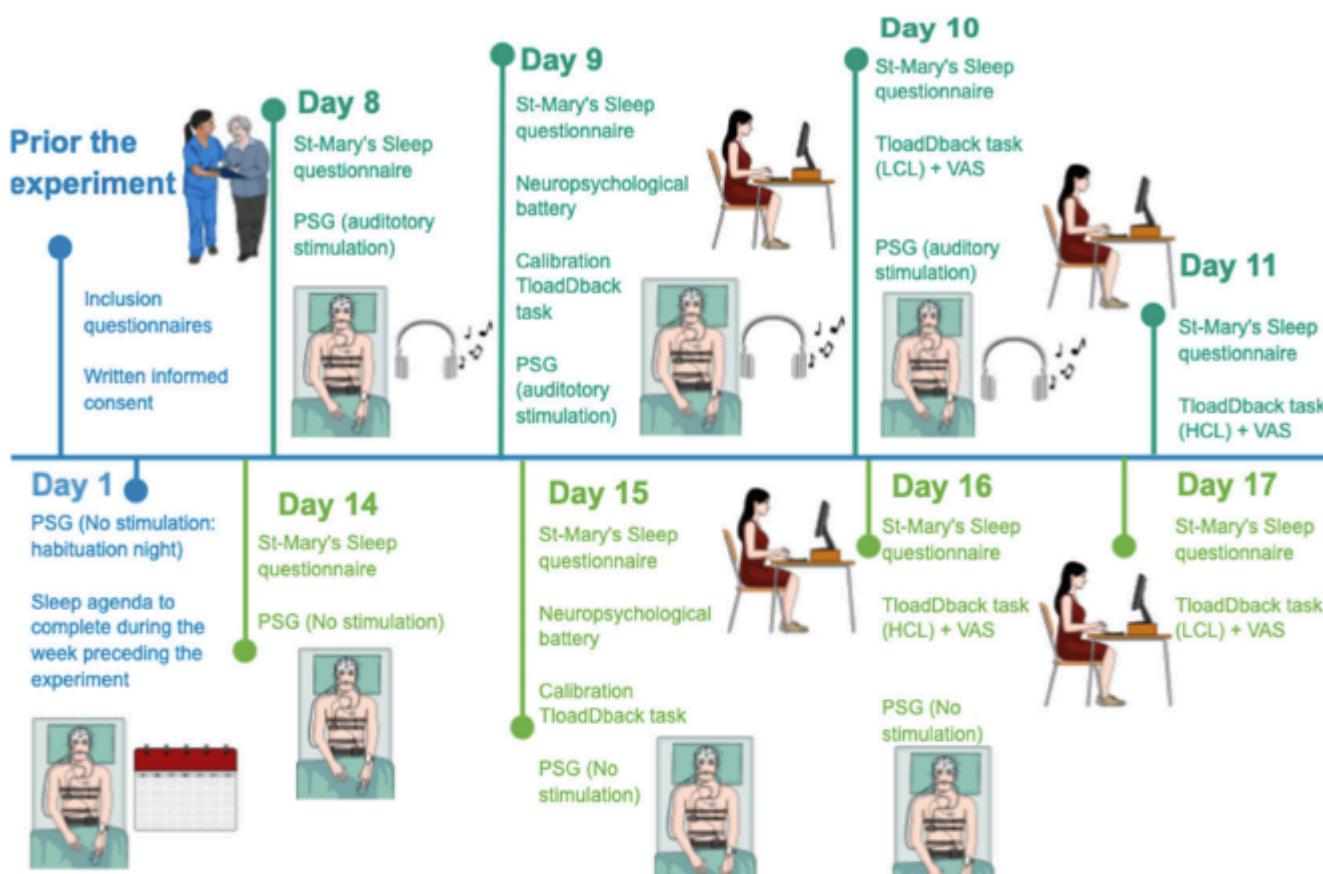


Рисунок 1. Протокол эксперимента. Примечание: PSG = Полисомнография, ВАШ = визуальные аналоговые шкалы (аналогичные шкалы (га-напряжение, сонливость, стресс и мотивация). LCL = состояние низкой когнитивной нагрузки, HCL = Высокий Сог-усталость, сонливость, стресс и мотивация). LCL = Низкая когнитивная нагрузка; HCL = Высокая

Состояние когнитивной нагрузки.

Состояние когнитивной нагрузки.

Включение в эксперимент [23] – в ночь с 2 на 3 (дни 9 и 15) участникам было предложено

участники заполнили онлайн-анкеты перед включением в эксперимент.

Качество сна (Питтсбургский индекс качества сна, PSQI [45]; предельный балл < 6) и воспринимаемое

максимальной пропускной способности их рабочей памяти (см. Ниже) [28]. После

влияние усталости (шкала тяжести усталости, FSS [46]; промежуточный балл < 4) оценивались для

второй и третий вечера RS и SF (дни 10-11 и 16-17), участниками были администраторы.-

предыдущий месяц, а также физическая и умственная усталость (шкала усталости Бругмана, BFS [27];

применяя протокол СР-индукции с обратной загрузкой либо при высоком (HCL), либо при низком (LCL) потреблении-

предельный балл < 6), предпочтение и сила циркадной типологии (опросник по хронотипу, ChQ

ежедневные условия в рамках субъекта, сбалансированность личности. Участники были

[47], отсутствие порогового значения (сильно выраженные / менее выраженные предпочтения) ≥ 23), de-

разрешен спокойный период отдыха до, во время и после практики TloadDBack. СР был равен

давлению (инвентаризация депрессии века, BDI [48]; пороговый балл < 8) и тревожность (тревога Бека

субъективно оценены участниками с использованием визуальных аналоговых шкал усталости (VASf [43]) и сонливости (VASSs [44])

на каждом этапе эксперимента (T.I, T.II и T.III), а также визуальных аналоговых шкал Экспериментальный вопросник

для снятия стресса (VASst) и мотивации контролировать потенциальные трудности. Межиндивидуальный cir-

вариабельность (диаграмма контролировалась путем тестирования каждого участника в одно и то же время

начала эксперимента, участники заполнили программу сна (шаблон см. в дополнительных

материалах), позволяющую нам рассчитать субъективную задержку наступления сна, пробуждение

Анкеты для включения

после начала сна, эффективность сна, общее время сна и качество сна и бодрствования.

Участники заполнили анкеты онлайн перед включением в эксперимент

Каждое утро в течение всего периода эксперимента в каждом состоянии сна (2 × 3 раза),

мент. Качество сна (Индекс качества сна Литтсбурга, PSQI [45]; пороговый балл 6) и за-

оценены предпочтение и сила циркадной типологии (шкала тяжести усталости, FSS [46]; пороговый балл < 4).

шага (PSQI [45]; пороговый показатель < 6); предпочтение циркадной типологии и сила (опросник хронотипа-

второй и третий день экспериментальных сеансов RS и SF непосредственно до и после

тионнер, ChQ [47]; отчетливость порогового значения (сильно выраженное / менее гибкое предпочтение) ≥

задание с обратной загрузкой и через 5 минут после второго NIRS / состояния

покоя [27]. На каждом из 3-х сеансов (опросник депрессии и тревоги BDI [48], опросник тревожности Бека, BDI [49]

пороговый балл < 8) и тревога (Опросник тревожности Бека [49], пороговый балл ≤ 35).

сонливость (BACs [44]; от очень однотипного до очень сонливого), стресс (значительно; из не на уровне

экспериментального уровня), пробуждение напряженных и мотивации (VASm; от совсем не мотивированных до сильно

мотивированных). Контурировать межиндивидуальные различия в субъективных представлениях о

Начиная с утра, следующего за ночью привыкания, и в течение всей недели,

перед началом эксперимента участники заполнили график сна (см. Дополнительную информацию

для шаблона), позволяющий нам рассчитать субъективную задержку начала засыпания,

пробуждение после начала сна, эффективность сна, общее время сна и качество сна и

бодрствования. Каждое утро в течение всего экспериментального периода в каждом состоянии сна (2

2022 Я использую 1-стороннюю министерскую библиотеку, которая может успешно выполнять однократную и 35%-ную нечетную / четную настройку скорости для нечетного определена как "промежуточное состояние между бодрствованием и сном, характеризующееся тенденцией к задремыванию".

#### Нейропсихологические

тесты, охватывающие вербальную и зрительную кратковременную и рабочую память, эпизодическую память, внимание и исполнительные функции, проводились после первой ночи эксперимента в каждом состоянии RS и SF.

Нейропсихологическая оценка  
Эпизодическую память оценивали с помощью "RLS-15" [50], в котором участники должны запомнить список из 15 слов. После каждого предъявления списка участников просили вспоминать его до тех пор, пока они не смогут воспроизвести весь список дважды подряд (немедленное вспоминание максимум с 10 попытками), за которыми следует отсроченное вспоминание (RD) через 30 минут. Результат измерялся среднее количество слов, правильно найденных во время испытаний на немедленное вспоминание (RM), процент слов, вспомненных по крайней мере в двух последовательных испытаниях на немедленное вспоминание, от общего количества вспомненных слов (% RLTC), и количество правильных слов при отложенном вспоминании (RD).

В течение интервала между немедленным отзывом и отложенным отзывом RLS-15 было выполнено несколько задач. Показатели вербальной и визуально-пространственной кратковременной памяти оценивались с использованием диапазона цифр (субтест WAIS [51]) и блокировать постукивание [52] тесты, соответственно. Производительность Span заключалась в том, что самая длинная серия чисел или позиций повторялась дважды в правильном порядке. Эффективность рабочей памяти оценивалась с помощью опроса участников воспроизвести цифры в обратном порядке (субтест WAIS [51]). Производительность Span представляла собой самую длинную серию чисел, повторяющуюся дважды в обратном порядке. Оценивалась бдительность использования задания на психомоторную бдительность (PVT [53]). Ингибиция оценивали с помощью Stroop (французская версия [54]) задание с 3 условиями: (1) назвать цветные прямоугольники, (2) назвать цвета для чтения и (3) обозначить цвета на основе цветов печати без учета написанного слова. Переменными результата были время выполнения и количество исправленных и неисправленных ошибок. После отложенного отзыва в RLS-15, вербальная фонологическая и семантическая беглость [54] были введены: участники должны были произнести как можно больше слов за две минуты. В уравновешенном дизайне для фонологической беглости слова должны были начинаться с букв "р" или "о", а для семантической беглости слова должны были быть отнесены к категории животных или фруктов.

Задача TloadDback представляет собой двойную задачу, сочетающую классическую задачу обновления рабочей памяти на N единиц  
Задание с обратной загрузкой, вызывающее когнитивную усталость

и задачу решения нечетных / четных чисел [28]. Объединение двух задач с различными

требованиями к обработке информации влечет за собой постоянное пополнение ресурсов рабочей памяти

, определяемое скоростью, с которой необходимо обрабатывать информацию. Эта задача

подробно описана в другом месте (см. [28]; Исследование 1); здесь представлена только необходимая информация

. В задании TloadDback на экране поочередно отображаются 30 цифр и 30 букв в блоке

(например, N-2-X-7-X-1-L . . . ). Участники должны поочередно (a) нажимать пробел

нажимайте левой рукой каждый раз, когда отображаемая буква совпадает с предыдущей

(задание 1 назад; например, . . . X-7-X . . . ), и (b) укажите, четная или нечетная отображаемая цифра

, нажимая клавиши "2" или "3" правой рукой на цифровой клавиатуре. Набор

когнитивных ресурсов подбирается индивидуально путем настройки во время сеанса калибровки

максимальной скорости представления предмета (т. Е. межстимульного интервала, ISI), при которой участник

все еще способен успешно выполнять задания (т. е. Средняя точность по блоку > 85%, взвешенный показатель 65% для

компоненты "1 возврат" и 35% для компонента "нечетное / четное решение").

На сеансе калибровки после первого вечера SF или RS участники сначала были ознакомлены

независимо друг от друга выполнили задания на 1-бэк и четное/нечетное решение, а затем комбинировали их. Затем им

была введена задача TloadDback максимум для 20 блоков с

настраиваемым ISI 1500 мс для первого блока. Всякий раз, когда производительность для блока была ≥85%,

значение ISI для следующего блока было установлено на уровне предыдущего значения ISI минус 100 мс, что усложняло задачу.

был достигнут предел когнитивной нагрузки участника.



использование программного обеспечения PRANA (PhiTools, Страсбург, Франция) как главным исследователем (OB), так и квалифицированным исследователем сна (BD), не знающим целей исследования.

#### Процедура фрагментации сна.

Сон был фрагментирован с использованием слуховой стимуляции с частотой, направленной на имитацию фрагментации сна, испытываемой пациентами с OSA. Фрагментация сна произошла во время 3 ночи SF подряд в попытке сделать эксперимент экологически ближе к тому, что пациенты с OSA могут испытывать в течение последовательных ночей без восстановления. Временная структура стимулаций была основана на схеме фрагментации пациентов с COAC, соответствующих возрасту, ранее поступивших в отделение сна больницы Бругманн. Мы адаптировались к потребностям каждого участника во сне (обычное количество часов сна). В среднем это было

0,62 часа за ночь. Для каждой ночи SF первый цикл сна оставался нетронутым, затем 7,73 сна\*фрагментация была вызвана с помощью возбуждающих звуковых сигналов, передаваемых через громкоговорители. Чтобы участники не привыкли к звукам или их повторению, звуковые сигналы генерировались со случайными интервалами между 60 и 120 секундами, со случайным чередованием звукового сигнала и звуков хлопушек. Громкость была адаптирована к слуховой чувствительности каждого участника, поскольку нашей целью было не разбудить их, а предотвратить консолидированный / восстанавливающий сон. Слуховая стимуляция сначала проводилась с низкой интенсивностью на уровне, а затем громкость постепенно увеличивалась до появления определенных микровозбуждений как резкие сдвиги частоты ЭЭГ, включая альфа, тета и/или частоты, превышающие 16 Гц, продолжительностью не менее 3 с [57]. При любом признаке пробуждения, определенном AASM (например, при наличии паттерна альфа-волн продолжительностью не менее 30 с), генерация слуховых сигналов прерывалась вручную до тех пор, пока участник не возобновлял более глубокую стадию сна (N2, N3 или REM) по крайней мере на 2 минуты, прежде чем возобновить протокол SF. Стимулы генерировались в стабильных состояниях N2, N3 и REM. Оценка возбуждения во время REM требовала одновременного увеличения субментальной ЭМГ продолжительностью не менее 1 секунды [56]. Как в ночь SF, так и в ночь RS участники были проинформированы о том, что могут звучать звуковые сигналы без намерения разбудить их, но их держали в неведении, в какие ночи и через сколько ночей это произойдет. Для каждой ночи, когда они лежали в постели, им был представлен пример обоих звуков, используемых для обеспечения хорошего функционирования устройства слуховой стимуляции. Никакой информации о состоянии сна на следующее утро предоставлено не было, даже если участники специально спрашивали об этом.

#### Статистический анализ

В эксперименте использовалась перекрестная схема внутри субъектов с повторными измерениями между условиями SF и RS. Статистический анализ проводился с использованием JASP 0.14.1. (Команда JASP; <https://jasp-stats.org> (дата обращения 10 октября 2022 года)). Управления (RS) и фраг- реализованы (SF) спать эффекты были исследованы с помощью парного t-тесты или повторными измерениями анализ отклонений после проверки статистических предположений; если не выполнены, корректируются были сделаны соответственно. При выполнении множественных сравнений значения p корректировали с использованием поправки Холма-Бонферрони, уравновешивающей ошибки I и II типов, и считали статистически  $\alpha = 5\%$ .

### 3. Результаты

#### 3.1. Демографические данные и стабильность сна до эксперимента

Демографические переменные и баллы, измеренные при зачислении, представлены в таблице 1. Анализ распорядка сна, выполняемый каждое утро в течение недели, предшествующей началу эксперимента, свидетельствовал об общей стабильности режима сна и бодрствования, как указано в Дополнительной таблице S1. Отличалось только качество сна в течение семи ночей ( $(6, 60) = 2.97, p = 0,01$ ). Пост-специальные тесты, проведенные в последующие ночи, выявили тенденцию F к снижению качества сна в первую ночь по сравнению со второй ночью ( $t(11) = -3,12, p = 0,06$ ). Другие переменные, о которых вы сами сообщаете во время сна (время нахождения в постели, задержка начала сна, пробуждение после начала сна, общее время бодрствования, общее время сна, эффективность сна, качество бодрствования в течение дня) не различались в течение семи ночей ( $p > 0,1$ ).

Таблица 1. Демографические данные.

	Данные (среднее значение)	Диапазон
Возраст (годы)	28.5 ± 4.48	24-38
Глобальный балл	3.19 ± 1.33	1-6
PSQI BFSm (умственный)	3 ± 2.34	0-6
BFSp	1.94 ± 1.69	0-5
(физический) FSS	2.05 ± 0.83	1-3.67
ChQ-Время наступления утра-вечера	19.5 ± 7.71	8-32
утра-вечера	16 ± 4.90	10-23
ChQ-Отчетливость BDI BAI	1.63 ± 1.86	0-6
	4.75 ± 8.33	0-35

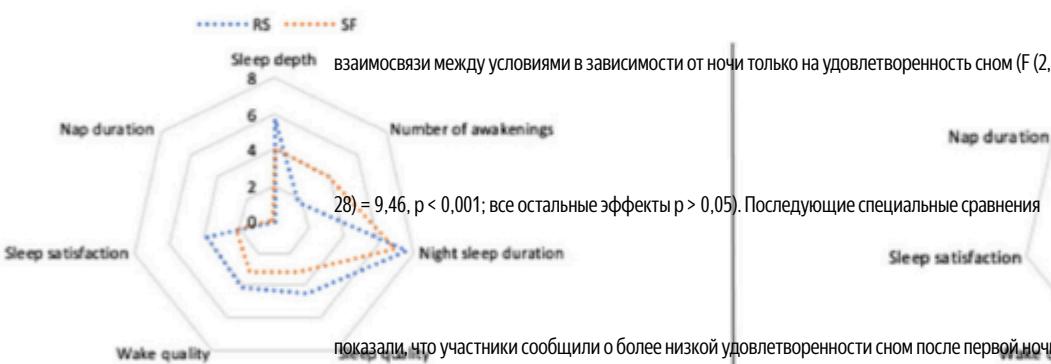
Примечание: Данные являются средними ( $\pm SD$ ) баллы. PSQI = Индекс качества сна в Питтсбурге [45]. BFS = Шкала усталости Бругмана [27]. FSS = Шкала тяжести усталости [46]. ChQ = Анкета хронотипа [47]. BDI = Инвентаризация депрессии Бека [48]. BAI = Инвентаризация тревожности Бека [49].

### 3.2. Субъективное качество сна в условиях SF и RS

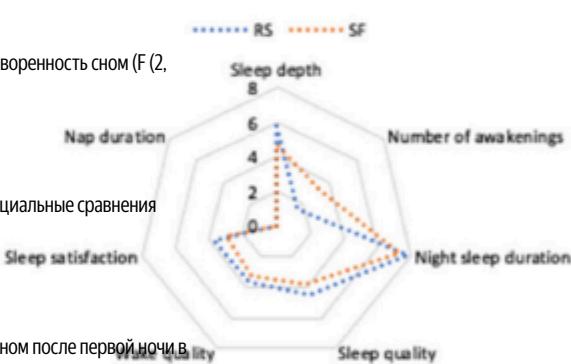
Повторный дисперсионный анализ показателей с учетом внутрипредметных факторов "Ночь"

(N1 по сравнению с N2 по сравнению с N3) и "Состояние" (SF по сравнению с RS) выявил влияние

#### NIGHT 1



#### NIGHT 2



A

B

#### NIGHT 3

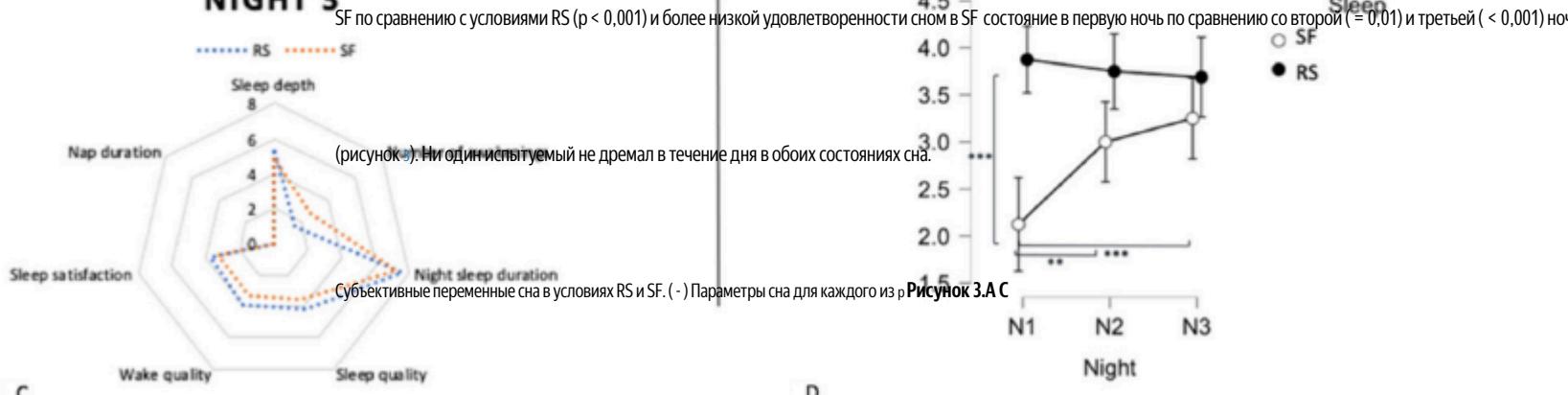


Рисунок 3. Субъективные переменные сна в условиях RS и SF. (А-с) Параметры режима сна для каждого из трех ночи в условиях RS (синий) и SF (красный). (д) удовлетворенность сном по ночам и продолжительность сна три ночи в условиях RS (синий) и SF (красный). (в) Удовлетворенность сном по ночам и условия сна . N1 = Ночь 1, N2 = Ночь 2, N3 = Ночь 3. \*\* p < 0.01, \*\*\* p < 0.001.

### 3.3. Влияние фрагментации сна на параметры сна (PSG)

В состоянии SF сон был фрагментированным в течение трех ночей подряд (количество выполненных стимуляций в N1: 98,25 ± 84,34; N2: 163,54 ± 124,48; N3: 212,36 ± 239,18).

### 3.3. Влияние фрагментации сна на параметры сна (PSG)

33,12 мин) и

$= 0,27$ ) и частота

В состоянии SF, сна<sup>2</sup> был фрагментирован в течение трех ночей подряд (количество

$= 0,11$ ) и N2 ( $F(1, 13) = 0,009$ ,

условия (рисунки 4 и 5).

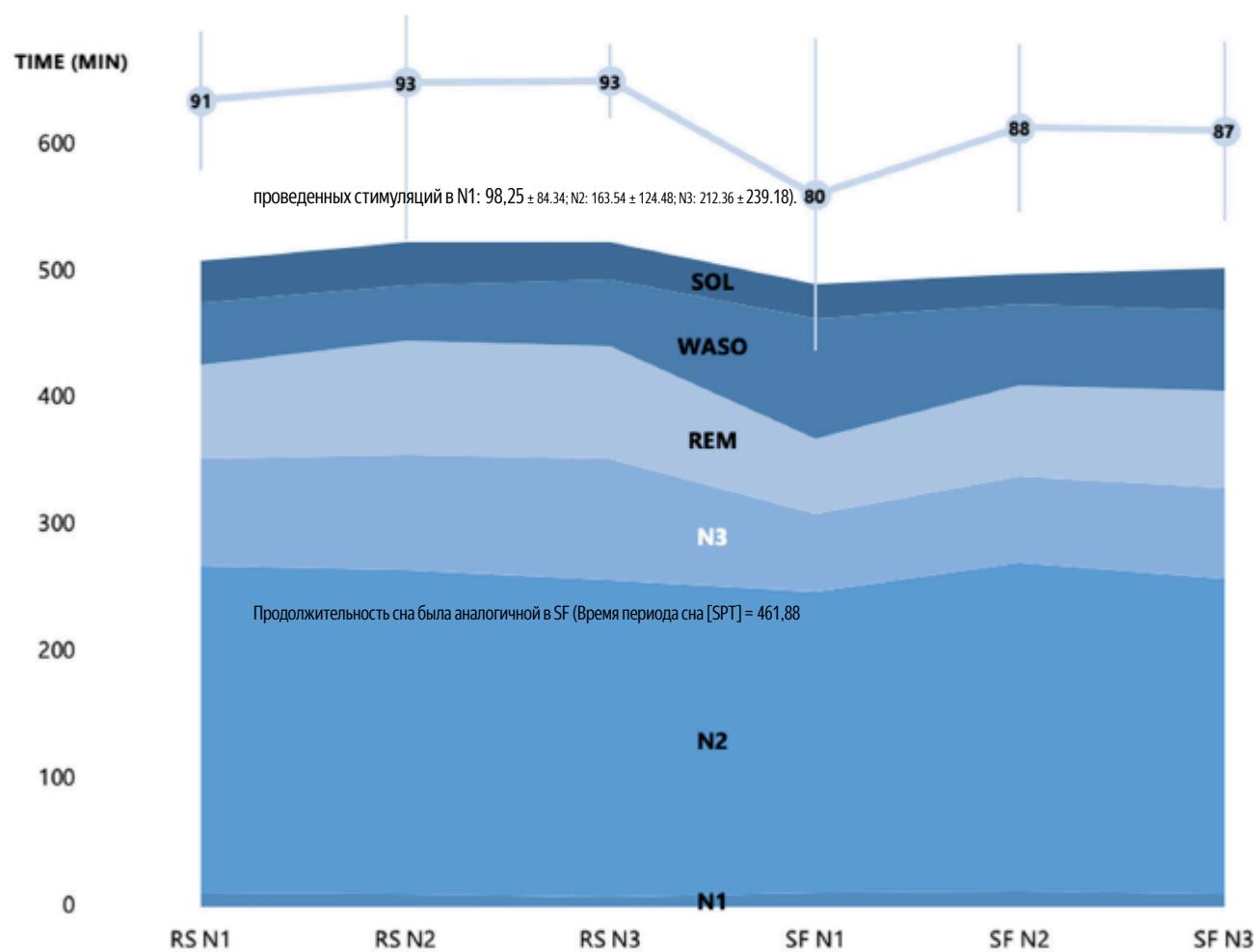
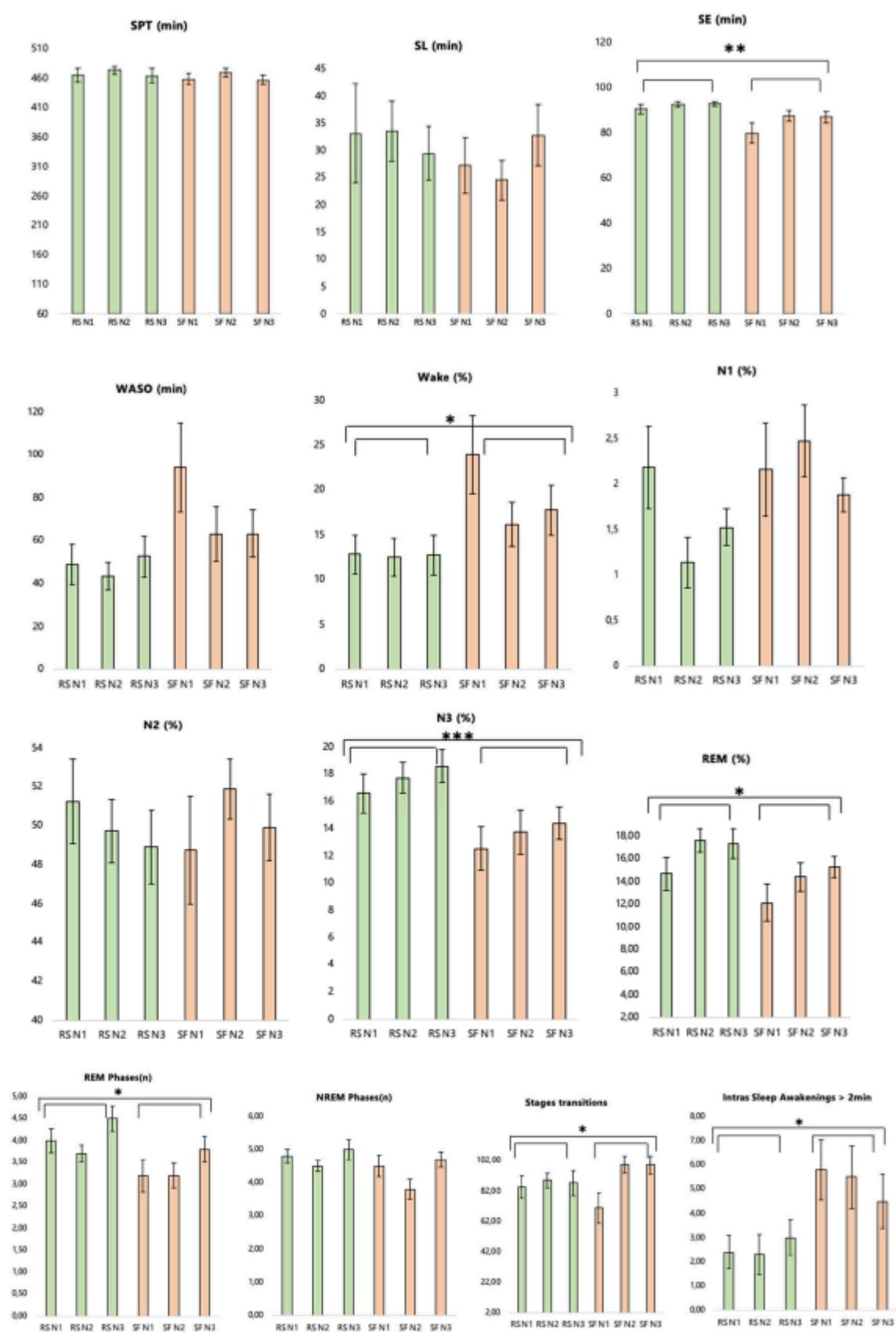


Рисунок 4. Структура сна и эффективность сна в течение трех ночей в каждом состоянии сна.  
RS = регулярный сон; SF = фрагментация сна; SE = эффективность сна; SOL = задержка начала сна; WASO = пробуждение после начала сна; REM = время, проведенное в стадии быстрого сна; N3 = время пробуждения после начала сна; N2 = время, проведенное на стадии N3; N1 = время, проведенное на стадии N2; N2 = время, проведенное на стадии N2; N1 = время, проведенное на стадии N1.

В первый цикл сна (которая хранилась так-ни стимуляции-как в условий), проценты H2 ( $F(1, 9) = 5.23, p = 0.05, \eta^2 = 0,37$ ), N3 ( $F(1, 9) = 7.81, p = 0.02, \eta^2 = 0,47$ ) и REM ( $F(1, 9) = 7.31, p = 0.02, \eta^2 = 0,45$ ) были выше в первом цикле в SF, чем в состоянии RS. Задержка сна (SL) не различалась в зависимости от условий сна ( $F(1, 15) = 0.81, p = 0.38, \eta^2 = 0.05$ ). Однако эффективность сна (SE) была ниже в состоянии SF, чем RS ( $F(1, 15) = 8.82, p = 0.01, \eta^2 = 0.37$ ). Процент пробуждения в первом цикле ( $F(1, 9) = 3.47, p = 0.10, \eta^2 = 0.28$ ) и процентное соотношение N1 в первом цикле ( $F(1, 9) = 0.14, p = 0.71, \eta^2 = 0,02$ ) не различались в зависимости от условий сна (рис. 6).

В разные ночи участники, возможно, начинали привыкать ко сну в



**Рисунок 5.** Полосомнографические параметры контрольного (RS) и фрагментированного (SF) сна в течение всей ночи. SPT = продолжительность сна; SL = время до первого пробуждения; SE = эффективность пробуждения после пробуждения после засыпания; Пробуждение (%) = процент пробуждения; N1 (%) = процент от N1; N2 (%) = процент от N2; N3 (%) = процент от N3; REM (%) = процент от REM; Фазы REM = количество фаз REM; Фазы NREM = количество фаз NREM; переходы стадий = количество переходов стадий; Пробуждения внутри сна > 2 мин = количество периодов бодрствования минимальной продолжительностью 2 мин; \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$ . Столбики ошибок представляют стандартные ошибки.

Int. J. Окружающая среда. RES. Общественное здравоохранение 2022, 19, 15485

В первом цикле сна (который сохранялся одинаковым - без стимуляции - в обоих состояниях сна),

процентное соотношение N2 ( $F(1,9) = 5,23, p = 0,05, \eta^2 = 0,37$ ), N3 ( $F(1,9) = 7,81, p = 0,02, \eta^2 = 0,47$ ) и

REM ( $F(1, 9) = 7,31, p = 0,02, \eta^2 = 0,45$ ) были выше в первом цикле в SF, чем в RS.

Состояние сна отличалось (условия различались) от состояния сна (условия различались) в отношении N1 (%) – процентное соотношение

N1 (%) к общему времени сна (0,08, процент N1 в SF было выше, чем у RS).

Фазы NREM = количество фаз NREM; переходы по стадиям = количество переходов на следующую стадию сна.

(Условие ( $F(1, 15) = 8,82, p = 0,01, \eta^2 = 0,27$ ) Пробуждения во сне > 2 мин = количество периодов бодрствования минимальной продолжительностью 2 мин; \*  $p < 0,05, p = 0,10, \eta^2 = 0,28$ ) и процентное соотношение

$p = 0,71, \eta^2 = 0,02$ ) не различались в зависимости от условий сна (рисунок 6).

Рисунок 6. Полосомнографические параметры в контролльном (RS) и фрагментированном (SF) сне во время первого цикла сна.

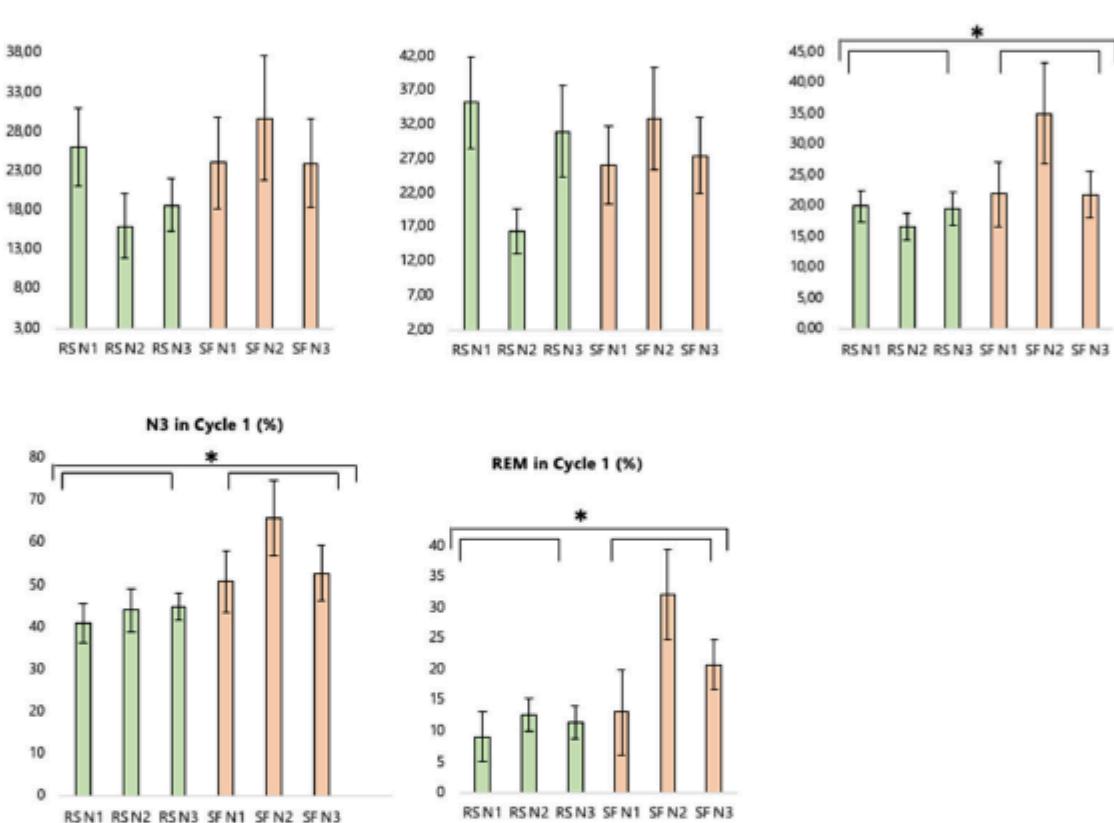


Рисунок 6. Полосомнографические параметры в контролльном (RS) и фрагментированном (SF) сне во время первого цикла сна.

Пробуждения > 2 мин (%) – процент пробуждений > 2 мин в цикле 1 (%) – процент от N1; N2 в Цикле 1 (%) – процентное соотношение N2; N3 в Цикле 1 (%) – процентное соотношение N3; REM в Цикле 1 (%) – процентное соотношение

REM в Цикле 1 (%); \* – статистически значимое различие между группами.

Статистическая значимость различий определена методом Манн-Уитни для независимых образцов.

Статистическая значимость различий определена методом Манн-Уитни для независимых образцов.

В различных мониторингах возможных причин привыкать ко сну в лаборатории, как

следует из увеличения SE в течение последующих ночей ( $F(2, 30) = 3,51, p = 0,04,$

$\eta^2 = 0,19$ ). Последующий анализ выявил тенденцию к увеличению SE между результатами

по сравнению с RS) и порядок учета факторов между субъектами (первое введение в состояние SF по сравнению с состоянием RS)

проводились на основе результатов нейропсихологических тестов. Только ингаляции-

первая и вторая/третья ночи ( $p = 0,08$ ), и никакой разницы между второй и третьей

ночью ( $p = 0,97$ ). Это также согласуется с анализом процента быстрого сна ( $F(2, 26) = 3,08$ ,

ошибка (эффект помех, то есть разница между скоростью отклика в номинале

и условий помех) в teste Струпа был выше в RS, чем в условиях SF. –

$p = 0,04, \eta^2 = 0,27$ ). Последующий анализ выявил тенденцию к увеличению процента REM

и условия помех в teste Струпа были выше в RS, чем в условиях SF. –

между первой и второй/третьей ночами ( $p < 0,07$ ), и никакой разницы между второй ночью ( $F(1, 14) = 8,10, p = 0,01, \eta^2 = 0,37$ ; Рисунок 7). Эффекта, связанного с состоянием SF по сравнению с состоянием RS, не было.

На третью ночь (равно для всех) произошли изменения нейропсихологических тестов (см. Таблицу 2).

Переходы стадий сна в первую ночь по сравнению со второй/третьей ночами ( $p = 0,03$ ), и нет

разницы между второй и третьей ночами ( $p = 0,86$ ).

Также наблюдалась тенденция взаимодействия между ночами и условиями сна для

переходов от стадии к стадии ( $F_{(2, 18)} = 2,99, p = 0,25$ ). Последующий анализ выявил увеличение  $p = 0,08, \eta^2 = 0,08$

между первой и второй ночами SF ( $p = 0,02$ ) и между первой и третьей ночами

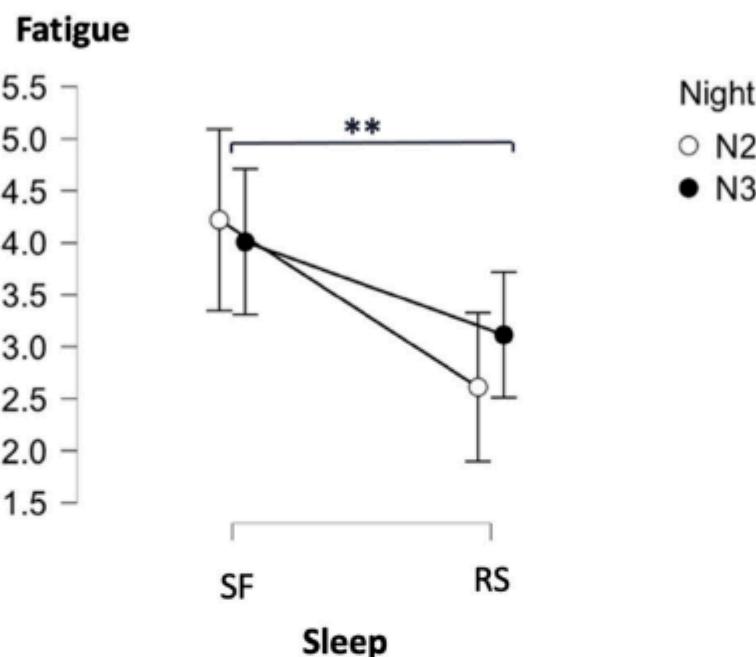
SF ( $p = 0,02$ ), но не между второй и третьей ночами ( $p = 1,00$ ). Все остальные сравнения

были незначимыми в контролльном состоянии сна (RS) (все  $p > 0,05$ ).



Int. J. Окружающая среда. RES. Общественное здравоохранение 2022, 19, 15485

Во-первых, мы сравнили баллы VAS между условиями SF и RS до начала практики в задаче TloadDBack, вызывающей CF. Повторный дисперсионный анализ показателей с внутрипредметными факторами "Ночь" (N2 против N3) и "Состояние" (SF против RS) выявил основные эффект состояния с более высокой субъективной усталостью (VASf) в состоянии SF, чем в состоянии RS ( $F(1, 15) = 8,77, p = 0,01, \eta^2 = 0,37$ ; Рисунок 8). Другие эффекты были незначительными ( $p > 0,5$ ) (смотрите Дополнительные материалы).



**Рисунок 8.** Визуализация оценки уровня усталости (VASf) до начала практики в задаче TloadDBack. Примечание: ошибки столбиков представляют стандартные ошибки.

Для корректировки базовых различий и правильной оценки объекта, связанного с TloadDBack.  
Для корректировки базовых различий и правильной оценки подзаголовка, связанного с TloadDBack.

для изучения производительности вычислять каждую когнитивную склонность к производительности VASf, если введенная VASf является производительностью перед выполнением задания (или введенная VASf, разделенная на 100), умноженную на 100, умноженную на 100. Повторный дисперсионный анализ показателей когнитивной нагрузки (LCL) по сравнению с HCL и состояния (SF по сравнению с RS) не выявили статистически значимых эффектов (или  $p > 0,5$ ). Для корректировки базовых различий и правильной оценки подзаголовка, связанного с TloadDBack.

### 3.5.2. Задача обратной загрузки

#### 3.5.2. Задача обратной загрузки

продолжительность производительности (или время обратной загрузки) рассчитана после первого RS. Максимальная производительность (т. е. Высокая когнитивная нагрузка ISI), рассчитанная после первого эксперимента. ментальная ночь во время сеанса калибровки была  $ISI = 775 \pm 144$  мс [диапазон = 600-1000]; Среднее значение ISI SF =  $756 \pm 136$  мс [диапазон = 600-1100];

Оценить динамику (и связанное с усталостью ухудшение) производительности в течение времени значение ISI =  $775 \pm 144$  мс [диапазон = 600-1000]; среднее значение SF ISI =  $756 \pm 136$  мс [диапазон = 600-1100];

16-минутная практика выполнения задания TloadDBack, точность для каждого блока была усреднена за четыре года

последовательных сегментов (или изменения усталостью ухудшения) производительности в течение 4 минуты и сравнение динамики производительности (или время обратной загрузки) сегментов внутренних факторов (1-й, 2-й, 3-й, 4-й) когнитивной нагрузки (LCL по сравнению с HCL) (Рисунок 9). Дисперсионный анализ повторных измерений, проведенный на точность с помощью лучшей точности в LCL по сравнению с условием HCL ( $F(1, 13) = 34,30, p < 0,001, \eta^2 = 0,73$ ), эффект основного сегмента со снижением производительности, начиная со второго состояния (SF по сравнению с RS) выявили основной эффект когнитивной нагрузки с помощью лучшей точности в сегменте ( $F(3, 39) = 14,41, p < 0,001, \eta^2 = 0,53$ ), и слабая тенденция к основному условию

LCL по сравнению с условием HCL (сравнение с условием SF:  $F(1, 17) = 3,00, p = 0,09, \eta^2 = 0,17$ ), основной

эффект сегмента со снижением производительности, начиная со второго сегмента ( $F(3, 39) = 14,41, p < 0,001, \eta^2 = 0,53$ ), и слабая тенденция к эффекту основного условия с более высоким  $\eta^2$

точность в RS по сравнению с условием SF ( $F(1, 13) = 3,42, p = 0,09 ; \eta^2 = 0,21$ ).

$\eta^2$

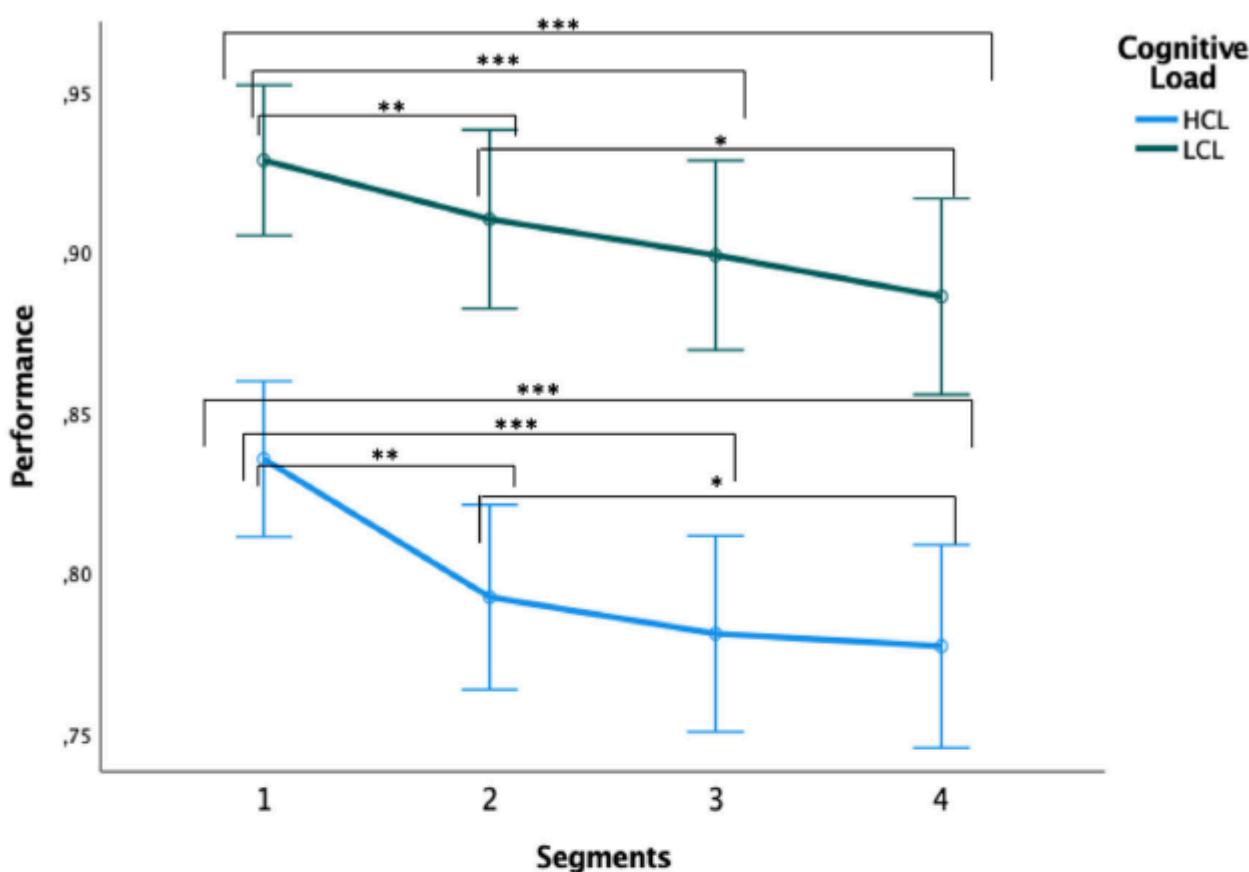


Рисунок 9. Производительность (производительность), для четырех временных сегментов TloadDback длительностью 16 минут

Задачи TloadDback: LCL – низкая когнитивная нагрузка; HCL – высокая когнитивная нагрузка; \*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$ ,  
\*\*\*  $p < 0.001$ . Столбики ошибок представляют стандартные ошибки.  
p < 0.001. Столбики ошибок представляют стандартные ошибки.

#### 4. Обсуждение

В настоящем исследовании участвовали подвергшиеся воздействию Абстриледид-подряд фрагментация сна, вызванная слухом, и три ночи обычного сна уравновешены. Наш фрагментация сна, вызванная слухом, и три ночи обычного сна уравновешены.

Несмотря на отсутствие записи SF на сон, это было первое сон. Неожиданно оказалось, что молодые здоровые участники казались способны привыкнуть к новым нарушениям в течение двух последующих ночей, что позволяло им частично компенсировать воздействие стимулов, связанных с SF. Ночь привыкания, проведенная под полным PSG за неделю до начала эксперимента, позволила нам контролировать потенциальный эффект первой ночи, который мог увеличить количество пробуждений. Эксперимент позволил нам контролировать потенциальный эффект перед сном, который может увеличить количество пробуждений. Действительно, недавние исследования показывают, что, хотя эффект после первой ночи присутствует в большинстве случаев, он наблюдается только в первую ночь записи PSG и менее выражен среди выделено в большинстве случаев только в первый вечер записи PSG и менее выражен среди молодых людей [58]. Более того, уравновешивая порядок условий сна, с которым начавшийся эксперимент позволил нам дополнительно контролировать любые потенциальные оставшиеся последствия начала эксперимента, позволило нам дополнительно контролировать любые потенциальные оставшиеся последствия потенциального эффекта перед сном, искающегося протокол фрагментации сна. Несмотря на способность к когнитивной нагрузке, оцененную во время сеанса калибровки Несмотря на способность к когнитивной нагрузке, оцененную во время сеанса калибровки Задание с обратной загрузкой, как правило, было ниже в состоянии SF, чем в состоянии RS, когнитивной усталости При выполнении задания с обратной загрузкой когнитивная усталость, как правило, была ниже в состоянии SF, чем в состоянии RS (CF), то есть способность поддерживать точную производительность в течение всего времени тренировки, была аналогичной (CF), то есть способность поддерживать точную производительность в течение всего времени тренировки, была аналогично подвержена аффекту обоих состояний. В настоящем исследовании мы стремились генерировать различные количества субъективных и объективных SF в ситуациях, подразумевающих одинаковую сложность задачи, но при этом время обработки текущих данных регулируется таким образом, чтобы повысить когнитивные потребности. Этот контроль имеет особый смысл при рассмотрении основных межиндивидуальных различий требований. Этот контроль имеет особый смысл при рассмотрении основных межиндивидуальных различий агрессивные радиации у разных людей и теми образованы, где был разработан стабилизатора для каждого и той же задачи, связанной с обучением, сложность одной и той же задачи разных людей. Таким образом, наш метод был направлен на стабилизацию до непредвиденного изучения эффектов CF [28]. Производительность во время TloadDback проанализируйте результаты, связанные с обучением, прежде чем непредвиденно изучать эффекты CF [28]. Производительность практика была разделена на четыре временных сегмента, чтобы оценить ее эволюцию с течением времени во время TloadDback тренировку разделили на четыре временных сегмента, чтобы оценить ее эффективность. перед нами стояла задача, вызывающая утомление. Производительность постепенно снижалась по блокам, независимо от состояния когнитивной нагрузки. Задание с обратной загрузкой способствует производительности неспособно поддерживать квалифицированную обработку вводимой информации и, следовательно,

из задачи по запуску CF [28]. Это постепенное снижение представляет собой мощную функцию системы обработки данных человека, определяемую как "принцип постепенной деградации" (т.е. Когда по крайней мере, два когнитивных процесса потребляют одни и те же ограниченные ресурсы, может произойти последующее снижение производительности для пары или, по крайней мере, одного из активных процессов) [60]. Следовательно, повышенные когнитивные требования могут вызвать субъективный CF и, как следствие, устойчивое снижение производительности при выполнении 16-минутного задания [28]. Производительность по четырем блокам также была ниже при высокой (HCL), чем при низкой (LCL) когнитивной нагрузке, подтверждая гипотезу о том, что CF, вторичный по отношению к напряженным когнитивным требованиям, обусловлен потреблением ограниченных ресурсов [60] когда испытуемые выполняют задание на пределе своих способностей. Таким образом, субъективный CF будет усиливаться быстрее, чем сонливость, причем последнее скорее характеризует задачи, которые представляют меньшую когнитивную нагрузку, обычно сопровождающуюся большим увеличением сонливости, чем CF [28]. В случае настоящего исследования, даже с учетом кумулятивного эффекта SF, а при выполнении задания CF, специально адаптированного к лучшим способностям каждого испытуемого, эволюция производительности была лишь незначительно выше (и несущественна) в условиях RS, чем в условиях SF. Это согласуется с предыдущими результатами, предполагающими, что SF с неизмененной общей продолжительностью сна не окажет заметного поведенческого влияния на когнитивные показатели в большинстве областей. [61-63], тогда как нейрофизиологические показатели были бы более чувствительны к умеренным нарушениям сна [63].

Обычно эксперименты с SF приводят ко множеству кратковременных пробуждений, увеличивая время, проводимое в сне №1, при одновременном сокращении времени, проводимого в стадиях SWS и REM. Предыдущие исследования SF тщательно контролировали общее время сна, чтобы убедиться, что результаты, связанные с SF, не просто объясняются частичным недосыпанием [64]. Более того, было обнаружено, что фрагментация сна оказывает большее влияние на качество сна, чем ограничение сна [3]. Следовательно, наша экспериментальная манипуляция была направлена на изменение продолжительности и эффективности сна без влияния на общее время сна. Наши результаты подтверждают обоснованность нашего экспериментального плана с сокращением времени, затрачиваемого на более глубокие стадии (т. е. SWS и REM), и снижением эффективности сна при SF, чем в состоянии RS, с одинаковым общим временем сна, проведенным в обоих состояниях. Эти изменения соответствуют изменениям у пациентов, у которых COAC может вызывать возбуждение, варьирующееся от кратковременных ЭЭГ до более длительных ЭЭГ-возбуждений, приводящих к изменению структуры сна и (микро) периодам пробуждения продолжительностью до нескольких минут [65]. В соответствии с пациентами с COAC, и подчеркивая важность непрерывного восстановительного, ненарушенного сна, субъективный оценка усталости была повышена у наших участников после SF, хотя количество сна было одинаковым в зависимости от условий. Как упоминалось выше, наши участники, похоже, начали привыкать к SF после первой ночи, о чем свидетельствует увеличение SE во вторую и третью ночи. Субъективная удовлетворенность сном также улучшилась за 3 ночи SF. Стоит отметить, что сон не был фрагментированным во время первого цикла сна, что, возможно, способствовало обеспечению минимального восстановительного эффекта сна при состоянии SF. Тем не менее, первый цикл сна (который сохранялся одинаковым в обоих состояниях сна) характеризовался повышенным уровнем N2, SWS и стадиями быстрого сна в состоянии SF. Это также соответствует увеличению процента быстрого сна после первой ночи, а также смене стадий. Помимо сенсорного привыкания к слуховой стимуляции [65], такая адаптация может быть объяснена снижением чувствительности, развивающейся с нарастающей сонливостью как результатом самой фрагментации сна [11,66,67].

Другие когнитивные аспекты (память, бдительность, торможение и беглость речи) оценивались как-нейропсихологическая батарея после первой ночи в каждом состоянии сна. Хотя объективная PSG и субъективные отчеты свидетельствовали об эффектах, связанных с SF, после одной ночи, известно, что объективная бдительность чувствительна к потере сна (измеряется по времени взаимной реакции [53]) не пострадал, предполагая, что молодые здоровые субъекты могут компенсировать последствия одной ночи SF. Это согласуется с предыдущими исследованиями, показывающими сопоставимые уровни внимания между молодыми пациентами с OSA и соответствующими возрасту контрольными группами. [68]. Особенно, поскольку эти участники были студентами университета или имели диплом о высшем образовании, более высокий когнитивный резерв, возможно, помог им преодолеть влияние фрагментации сна на когнитивные способности [69]. Кроме того, предыдущие исследования показали, что ПВТ недостаточно чувствителен к последствиям умеренных нарушений сна [3]. Соответственно, в другом исследовании мы не обнаружили связанных с лечением OSA изменений в показателях PVT, в то время как вербальная память улучшилась af-

после первой ночи лечения состояние оставалось стабильным до трех месяцев спустя [70]. Однако в области исполнительной функции эффективность торможения ухудшалась после одной ночи SF, что согласуется с предыдущими результатами, связывающими лишение сна с изменениями сверху вниз [71]. Когда эксперимент начался с SF, задание на несоответствие и интерференция (несоответствие времени обозначения времени) были значительно более длительными после первой ночи SF, чем после одной ночи RS. В целом, это может указывать на эффект обучения при выполнении этой задачи в обоих состояниях сна. Однако улучшение результатов, когда эксперимент начался с SF, можно было бы понимать как раннее влияние фрагментации сна на торможение. Таким образом, вторая оценка после восстановления сна усилила бы повышение способности к торможению и стратегическому выполнению. Это согласуется с тем фактом, что, когда эксперимент начался с восстановленного сна, эффективность торможения не снизилась, как ожидалось, во время второй оценки состояния SF.

Это также согласуется с предыдущими исследованиями, в которых утверждалось, что изменения в стадии прогрессирования сна и значительное прерывание нормального процесса сна в значительной степени способствовали бы когнитивному дефициту [67]. Беглость речи, как в фонологических, так и в семантических заданиях, снизилась во второй момент тестирования (например, в RS, чем условие SF, когда эксперимент начался в состоянии RS. Аналогично, в состоянии SF было сгенерировано больше слов, чем в состоянии RS, когда эксперимент начался в состоянии SF). Это можно объяснить мотивацией, поскольку участники поняли, что это было последнее задание из одночасовой нейropsихологической батареи, и предвкушали предстоящее утомительное и длительное задание (калибровка задания TloadDback, продолжительность ≈ 35 мин.). Это согласуется с теорией Аккермана, утверждающей, что снижение производительности может быть объяснено потерей интереса к утомительной задаче, характеризующейся нехваткой времени и словесным содержанием, особенно когда время на выполнение задачи продолжается без перерывов [72].

Визуальные аналоговые шкалы оценивали субъективные состояния (сонливость, усталость, стресс и мотивацию) после каждого этапа эксперимента. Несмотря на то, что исследования выявили надежную связь между сонливостью и усталостью [73-75], результаты здесь показали значительные различия в зависимости от условий сна только для скорректированной визуальной аналоговой шкалы усталости после возврата к нагрузке. Субъективно, SF увеличился больше после восстановленных, чем фрагментированных ночей. Эти результаты следует понимать относительно исходного уровня, который не был одинаковым в условиях сна SF и RS. Действительно, усталость уже была выше после фрагментации сна и даже хотя она значительно возросла после выполнения задания TloadDback с (более высокой субъективной оценкой утомления в состоянии SF), увеличение было больше в состоянии RS. Возможное объяснение заключается в том, что участники уже чувствовали достаточную усталость после выполнения условия SF, когда задание в меньшей степени влияло на оценку развития у них утомления. Это может быть связано с предыдущими исследованиями, демонстрирующими снижение производительности в задачах обработки движений лица после лишения сна и фрагментации [76,77]. В частности, фрагментация быстрого сна играет важную роль в обработке эмоциональной информации [78], ухудшенная эмоциональная обработка [79] и дефектное регулирование влияния [80,81]. Взятые вместе, эти результаты иллюстрируют потенциальную трудность в анализе подавляющего числа симптомов после SF, которые влияли на стадии SWS и REM. Эта трудность при решении задачи по обработке эмоций также была обнаружена у пациентов с COAC и бессонницей [81].

## 5. Выводы

Подводя итог, мы обнаружили, что фрагментация сна изменила непрерывность сна, даже при сохранении общего времени сна, и нарушила архитектуру сна, субъективную оценку усталости и работоспособности. Однако молодые испытуемые оказались способными компенсировать последствия измененной непрерывности сна в нескольких когнитивных областях. Только торможение было затронуто после ночи фрагментированного сна. Даже с учетом кумулятивного эффекта от двух-трех ночей SF и при выполнении задачи SF, специально разработанной с учетом лучших способностей каждого испытуемого, изменение производительности имело тенденцию только к ухудшению состояния SF. Дальнейшие исследования должны исследовать влияние фрагментации сна при более длительных (т.е. до нескольких недель) и / или патологических (например, COAC, синдром беспокойных ног ...) нарушениях сна.

**Дополнительные материалы:** Следующую вспомогательную информацию можно загрузить по адресу <https://www.mdpi.com/article/10.3390/ijerph192315485/s1>, Рисунок S1. Шаблон программы сна, составленный в течение 7 ночей перед первой экспериментальной ночью. Таблица S1. Субъективные отчеты о сне за 7 ночей до первой экспериментальной ночи. Таблица S2. Параметры PSG в экспериментальные ночи RS и SF. Таблица S3. Визуальной аналоговой шкалы до и после задач TloadDback. Рисунок C2. Число слов, которые будут генерироваться для фонологической (рис. 2A) и семантический (рисунок 2B) Подзадачи (устное задание на беглость речи).

**Вклад автора:** Концептуализация, П.П., О.М. и О.Б.; методология, П.П., О.М. и О.Б.; формальный анализ, О.Б. и Б.Д.; исследование, О.Б.; ресурсы, П.П.; написание - подготовка первоначального проекта, ОВ; написание -рецензирование и редактирование, Р.Р., Б.Д. и О.М.; надзор, Р.Р.; администрирование проекта, Р.Р.; привлечение финансирования, Р.Р. Все авторы прочитали опубликованную версию рукописи и согласились с ней.

**Финансирование:** Это исследование финансировалось Фондом научных исследований (FNRS), номер гранта-ber FC27533.

**Заявление институционального наблюдательного совета:** Исследование проводилось в соответствии с руководящими принципами Хельсинской декларации и одобрено Комитетом по этике факультета и ULB-Erasme комитетами больницы по этике (CE 001/2019).

**Заявление об информированном согласии:** Информированное согласие было получено от всех субъектов, участвовавших в исследовании. **Заявление о доступности данных:** Данные, подтверждающие сообщенные результаты, и дополнительные материалы находятся в открытом доступе в рамках проекта OSF (<https://osf.io/ra3wd/>).

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Спонсоры не играли никакой роли в разработке исследования; в сборе, анализе или интерпретации данных; в написании рукописи или в принятии решения о публикации результатов.

## Ссылки

1. Се, Л.; Кан, Х.; Сой, К.; Чен, М.Дж.; Ляо, Ю.; Тиягаджан, М.; О'Доннелл, Дж.; Кристенсен, Д.Дж.; Николсон, К.; Илифф, Дж.Дж.; и др. Сон Способствует выведению метаболитов из мозга взрослого человека. Наука **2013**, *342*, 373-377. [[Перекрестная ссылка](#)] [[Опубликованный](#)]
2. Цзян, Ю.; Чай, Ю.; Ян, Ф.; Сой, С.; Баснер, М.; Детре, Дж.А.; Динджес, Д.Ф.; Рао, Х. Влияние недосыпания и восстановительного сна на Сетевая организация человеческого мозга. Спать **2018**, *41* (Дополнение. S1), A85-A86. [[Перекрестная ссылка](#)]
3. Йахарнар, Н.; Фатек, Дж.; Земманн, М.; Глос, М.; Ледерер, К.; Суворов, А.В.; Демин, А.В.; Пензель, Т.; Фитце, И. Вмешательство во сне Исследование, сравнивающее влияние ограничения и фрагментации сна на сон, бдительность и потребность в восстановлении. Физиология. Вести себя. **2020**, *215*, 112794. [[Перекрестная ссылка](#)] [[Опубликованный](#)]
4. Киллгор, У.Д.С. Влияние недосыпания на когнитивные способности. Прогресс. Исследование мозга. **2010**, *185*, 105-129. [[Перекрестная ссылка](#)]
5. Шарма С.; Кавуру М. Сон и метаболизм: обзор. Инт. Ж. Эндокринол. **2010**, *2010*, 270832. [[Перекрестная ссылка](#)]
6. Хиршковиц, М.; Уитон, К.; Альберт, С.М.; Алесси, К.; Бруни, О.; Донкарлос, Л.; Хейзен, Н.; Герман, Дж.; Кац, Э.С.; Хейрандиш-Гозал, Л.; и др. Рекомендации Национального фонда сна по продолжительности сна: методология и результаты краткое изложение. Здоровье сна **2015**, *40*-43. [[Перекрестная ссылка](#)]
7. Уотсон, Н.Ф.; Бадр, М.С.; Беленький, Г.; Бливайз, Д.Л.; Бакстон, О.М.; Буйсс, Д.; Дингес, Д.Ф.; Гангвиш, Дж.; Гранднер, М.А.; Кусида, С.; и др. Рекомендуемое количество сна для здорового взрослого человека: совместное консенсусное заявление Американской академии медицины сна и Общества исследований сна. Сон **2015**, *38*, 843-844. [[Перекрестная ссылка](#)]
8. Туле, К. Когнитивная усталость: нарушение восстановления кортико-динамических интеграторов. Повреждение мозга. **2007**, *31*, 1625-1631. [[Перекрестная ссылка](#)]
9. [[Опубликованный](#)]
10. , 25, 117-129. [[Перекрестная ссылка](#)] Дурмер, Дж.С.; Дингес, Д.Ф. Нейрокогнитивные последствия недосыпания. Семин. Нейро. [a href="#">Опубликованный] **2005**
11. Степански, Э.Дж. Влияние фрагментации сна на дневную функцию. Сон **2002**, *25*, 268-276. [[Перекрестная ссылка](#)] [[Опубликованный](#)]
12. Наир, Д.; Чжан, С.Х.; Рамеш, В.; Хаким, Ф.; Каушал, Н.; Ванг, Ю.; Гозал, Д. Фрагментация сна вызывает когнитивный дефицит через никотинамидадениндинуклеотидфосфоксидазозависимые пути у мышей. А.М. Дж. Респир. Крит. Медицинская помощь. **2011**, *184*, 1305-1312. [[Перекрестная ссылка](#)] [[Опубликованный](#)]
13. Маннарино, М.Р.; Ди Филиппо, Ф.; Пирро, М. Синдром обструктивного апноэ во сне. Eur. J. Интерн. Мед. **2012**, *23*, 586-593. [[Перекрестная ссылка](#)]
14. Аломри Р.М.; Кеннеди Г.А.; Вали С.О.; Ахеджаили Ф.; Робинсон С.Р. Дифференциальные ассоциации гипоксии, фрагментации сна и депрессивных симптомов с когнитивной дисфункцией при обструктивном апноэ во сне. Спать **2021**, *44*, zsa213. [[Перекрестная ссылка](#)]
15. Колт, Х.Г.; Хаас, Х.; Рич, Г.Б. Гипоксемия в сравнении с фрагментацией сна как причина чрезмерной дневной сонливости при обструктивном сне апноэ. Грудная клетка **1991**, *100*, 1542-1548. [[Перекрестная ссылка](#)] [[Опубликованный](#)]

Валенсия-Флорес, М.; Моклеси, Б.; Сантьяго-Айала, В.; Ресендис-Гарсиа, М.; Кастаньо-Менесес, А.; Меза-Варгас, М.С.; Мендоса, А.; Ореа-Техеда, А.; Гарсия-Рамос, Г.; Агилар-Салинас, С.; и др. Периодическая гипоксемия и фрагментация сна: ассоциации с повышением бдительности в дневное время у пациентов с апноэ во сне, страдающих ожирением, живущих на умеренной высоте. *Sleep Med.* 2016; 20: 103-109. [Перекрестная ссылка]

Верстратен, Э. Нейрокогнитивные эффекты синдрома обструктивного апноэ во сне. *Curr. Neurol. Neurosci. Reps.* 2007; 7, 161-166.

[Перекрестная ссылка]

18. R. Когнитивный дефицит у взрослых с обструктивным апноэ во сне по сравнению с детьми  
Куцта, К.; Блатек, А.; Завада, К.; Стерапчик, А.

Нейронная передача. 2017; 124 (Дополнение. S1), 187-201. [Перекрестная ссылка]

19. Чаби, Э.; Бенедек, П.; Янчак, К.; Катона, Г.; Немет, Д. Нарушение сна в детском возрасте ухудшает декларативный, но не недекларативный формы обучения. *Дж. Клин. Опыт.* 2013; 35, 677-685. [Перекрестная ссылка]

20. Даура, А.; Форе, Дж.; Брет-Дибат, Дж.Л.; Фурейкс, К.; Тиберж, М. Фрагментация сна влияет на пространственную и временную память при синдроме обструктивного апноэ во сне. *J. Clin. Exp. Нейропсихол.* 2008; 30, 91-101. [Перекрестная ссылка]

Джонлагич И.; Сабойский Дж.; Карузона А.; Стикгольд Р.; Малхутра А. Повышенная фрагментация сна приводит к нарушению

21. автономной консолидации моторных воспоминаний у людей. *PLoS ОДИН* 2012; 7, e34106. [Перекрестная ссылка] [Опубликованный]

22. Олайт, М.; Бакс, Р.С. Исполнительная дисфункция при СОАС до и после лечения: метаанализ. *Сон.* 2013; 36, 1297-1305.

[Перекрестная ссылка] [Опубликованный]

23. Уивер, Т.Э.; Джордж, К.Ф.Н. Когнитивные способности и работоспособность у пациентов с обструктивным апноэ во сне. В "Принципах и практике медицины сна", 5-е изд.; Крайгер М., Рот Т., Демент В., ред.; Эльзевир Сондерс: Сент-Луис, Мичиган, США, 2011; стр. 1194-1205. [Перекрестная ссылка]

Серьес Ф.; Рой Н.; Марк И. Влияние недосыпания и фрагментации сна на свертываемость верхних дыхательных путей у нормальных людей.

*Am. J. Respир. Crit. Care Med.* 1994; 150, 481-485. [Перекрестная ссылка] [Опубликованный]

Грифэн Б.; Броде П.; Маркс А.; Баснер М. Вегетативные возбуждения, связанные с шумом дорожного движения во время сна. *Сон* 2008;

31, 569-577, 25.

[Перекрестная ссылка]

26. Гербаз, М.В.; Дратва, Дж.; Жермонд, М.; Чопп, Дж.М.; Пепин, Дж.Л.; Карбалло, Д.; Концли, Н.; Пробст-Хенш, Н.М.; Адам, М.; Земп Штутц, Э.; и др. Фрагментация сна и нарушение дыхания во сне у людей, живущих вблизи основных дорог: результаты исследования популяционное исследование. *Sleep Med.* 2014; 15, 322-328. [Перекрестная ссылка]

27. Мейресс, О.; Деймен, В.; Ньюэлл, Дж.; Корнрайх, К.; Вербанкп.; Неу, Д. Шкала усталости Бругмана: аналог шкалы сонливости Элвпорта для измерения поведенческой склонности к отдыху. Веди себя прилично. Средство для сна. 2019; 24, 437-458. [Перекрестная ссылка]

28. Борраган Г.; Слами Х.; Бартоломей М.; Пенье П. Когнитивная усталость: учет распределения ресурсов на основе времени. Кора головного мозга 2017; 89, 71-84. [Перекрестная ссылка]

29. Маркова, С.М.; Стайано, У.; Мэннинг, В. Умственное переутомление снижает физическую работоспособность у людей. *Ж. Приложение. Физиол.* 2009; 106, 857-864. [Перекрестная ссылка]

30. Трехо, Л.; Кубиц, К.; Росипал, Р.; Кочави, Р.; Монтгомери, Л. Оценка и классификация умственного переутомления на основе ЭЭГ. *Психология* 2015; 5, 572-589. [Перекрестная ссылка]

31. Сайт Lorist, М.М.; Кляйн, М.; Ньюенхейс, С. Умственная усталость и контроль выполнения задач: планирование и подготовка. *Психофизиология* 2000; 37, 614-625. [Перекрестная ссылка]

32. Сайт Lorist, М.М.; Боксем, М.С.; Риддерикхоф, К.Р. Нарушение когнитивного контроля и снижение активности поясной извилины при умственном переутомлении. Исследование мозга. Познание. Рез мозга. 2005; 24, 199-205. [Перекрестная ссылка] [Опубликованный]

33. Мидзуно К.; Танака М.; Фукуда С.; Имаи-Мацуумара К.; Ватанабэ Ю. Взаимосвязь между когнитивными функциями и распространенностью утомления у учащихся начальной и младшей средней школы. Разработчик мозга. 2011; 33, 470-479. [Перекрестная ссылка] [Опубликованный]

34. Ван дер Линден, Д.; Фрезе, М.; Зоннентаг, С. Влияние умственной усталости на исследование в сложной компьютерной задаче: жесткость и потеря систематических стратегий. Шум. Факторы 2003; 45, 483-494. [Перекрестная ссылка] [Опубликованный]

35. Аккерман П.Л.; Канфер Р. Продолжительность теста и когнитивная усталость: эмпирическое исследование влияния на производительность и реакции тестируемых *J. Exp. Psychol. Приложение.* 2009; 15, 163-181. [Перекрестная ссылка]

Лим, Дж.; Ву, У.; Ванг, Дж.; Детре, Дж.А.; Дингес, Д. Ф. Перфузионное исследование эффекта времени выполнения задачи. Нейровизуализация. 2010; 49,

3426-3435, 36.

36. Кук Д.Б.; О'Коннор П.Дж.; Ланге Г.; Штеффенер Дж. Функциональные корреляты нейровизуализации умственного переутомления, вызванного когнитивными процессами , у пациентов с синдромом хронической усталости и контрольной группы. Нейровизуализация 2007; 36, 108-122. [Перекрестная ссылка]

37. Сигихара, Ю.; Танака, М.; Иси, А.; Канай, Э.; Фунакура, М.; Ватанабэ, Ю. Два типа умственного переутомления по-разному влияют на спонтанную колебательную деятельность мозга. Поведение. Функционирование мозга. 2013; 9, 2. [Перекрестная ссылка]

38. Баррийе П.; Бернарден С.; Камос В. Временные ограничения и совместное использование

39. ресурсов в рабочей памяти взрослых. *J. Expr. Psychol. Gen.* 2004; 133, 83-100. [Перекрестная ссылка]

40. Борраган, Г.; Герреро-Москара, С.; Гийом, С.; Слами, Х.; Пенье, П. Снижение префронтальной связности параллельно снижению когнитивной работоспособности, связанной с переутомлением, после лишения сна. Исследование оптической томографии. *Бiol. Psychol.* 2019; 144, 115-124. [Перекрестная ссылка]

41. Борраган Г.; Жильсон М.; Атас А.; Слами Х.; Лизандропулос А.; Де Шеппер М.; Пенье П. Когнитивная усталость, сон и активность коры головного мозга при рассеянном склерозе. Поведенческая, полисомнографическая и функциональная спектроскопия ближнего инфракрасного диапазона Расследование. Фронт. Шум. Неврологи. 2018; 12, 378. [Перекрестная ссылка]

42. Ли К.А.; Хикс Г.; Нино-Мурсия Г. Валидность и надежность шкалы для оценки утомления. Психиатрия Отв. ред. 1991; 36, 291-298. [Перекрестная ссылка] [Опубликованный]

43. Танака М.; Иси А.; Ватанабэ Ю. Нейронные эффекты умственного переутомления, вызванные постоянной нагрузкой внимания: магнитоэнцефалографическое исследование. Исследование мозга. 2014; 1561, 60-66. [Перекрестная ссылка] [PubMed]

- Буйсс, Д.Дж.; Рейнольдс, К. Ф.; Монк, Т.Х.; Берман, С.Р.; Купфер, Д.Дж. Питтсбургский индекс качества сна: новый инструмент для 44.
- психиатрическая практика и исследования. Психиатрия Отв. 1989, 28, 193-213. [Перекрестная ссылка] [Опубликованный]
45. Крупп, Л.Б.; Ларокка, Н.Г.; Мьюир-Нэш, Дж.; Стейнберг, А.Д. Шкала тяжести усталости. Применение у пациентов с рассеянным склерозом и системной красной волчанкой. Арх. Неврол. 1989, 46, 1121-1123. [Перекрестная ссылка] [PubMed]
- Х. Чувствуете ли вы ритм? Краткий опросник для описания двух измерений хронотипа. 46. Огинская, 2011, 50, 1039-1043. [Перекрестная ссылка]
47. Бек, А. Т.; Уорд, К.Х.; Мендельсон, М.; Мок, Дж.; Эрбо, Дж. Методика измерения депрессии. Арх. Генералитет. Психиатрия 1961, 4, 561-571. [Перекрестная ссылка]
- Бек, А. Т.; Эпштейн, Н.; Браун, Г.; Стир, Р.А. Методика измерения клинической тревожности: психометрические свойства. 48. Клиника. Психол. 1988, 56, 893-897. [Перекрестная ссылка]
49. Эллис Б.В.; Джонс М.В.; Ланкастер Р.; Раптонулоус Н.; Прист Р.Г. Опросник по сну больницы Святой Марии: Исследование надежности. Статья . 4, 93-97. [Перекрестная ссылка] [1981]
- Rectem, D.; Pointrenaud, J.; Coyette, F.; Kalaft, M.; Van der Linden, M. Une épreuve de rappel libre à 15 items avec remémoration sélective (RLS-15). В L'évaluation des Troubles de la Mémoire: Piaprévention de Quatre Tests de Mémoire Episodique (Avec Leur Etalonnage); van der Linden, M., Adam, S., Agniel, A., Baisset Mouly, C., et les Membres du GREMEM, Eds: Solal: Marseille, France, 2014; pp. 69-84. Векслер Д. Пересмотренная шкала интеллекта взрослых Векслера (Руководство); Психологическая корпорация: Нью-Йорк, Нью-Йорк, США, 1981; 51. стр. 84-85.
- Корси П.М. Память человека и медиальная височная область мозга. Докторская диссертация, Университет Макгилла, Монреаль, КК, Канада, 1973.
- Баснер, М.; Дингес, Д.Ф. Максимальная чувствительность теста психомоторной бдительности (PVT) к потере сна. Сон 2011; 34, 581-591. [Перекрестная ссылка]
54. Годфруа, О.; ГРЕФЕКС. Fonctions Exécutives et Pathologies Neurologiques et Psychiatriques: Evaluation en Pratique Clinique; De Boeck Supérieur: Bruxelles, Belgium, 2012.
55. Борраган, Г.; Слама, Х.; Дестребекц, А.; Пенье, П. Когнитивная усталость облегчает усвоение последовательности процедур. Фронт. Гул. Нейробиологи. 2016, 10, 86. [Перекрестная ссылка]
56. Американская академия медицины сна (AASM). Международная классификация нарушений сна (ICSD), 3-е издание: диагностика и Руководство по кодированию; Американская академия медицины сна: Дариен, Иллинойс, США, 2014.
57. Американская ассоциация по расстройствам сна (ASDA). Возбуждение на ЭЭГ: правила подсчета баллов и примеры: Предварительный отчет Рабочей группы по составлению Атласа нарушений сна Американской ассоциации по нарушениям сна. Сон 1992, 15, 173-184. [Перекрестная ссылка]
58. Дин Ли; Чен Б.; Даи Ю.; Ли Ю. Метаанализ эффекта первой ночи у здоровых людей для всего возрастного спектра. Лекарство для сна. 2022, 89, 159-165. [Перекрестная ссылка] [Опубликованный]
59. Гайяр В.; Барруье П.; Джерролд К.; Камос В. Различия в развитии рабочей памяти: откуда они берутся? J. Exp. Детский психол. 2011, 110, 469-479. [Перекрестная ссылка] [Опубликованный]
60. Норман, Д.А.; Боброу, Д.Г. О процессах с ограниченными данными и ресурсами. Познание. Психол.
61. Кот, К.А.; Милнер, К.Э.; Осип, С.Л.; Рэй, Л.Б.; Бакстер, К.Д. Количественная электроэнцефалограмма бодрствования и слуховые события, связанные с потенциалами, возникающими после экспериментально вызванной фрагментации сна. Сон 2003, 26, 687-694. [Перекрестная ссылка] [Опубликованный]
62. Кингшотт, Р.Н.; Косуэй, Р.Дж.; Дири, И.Дж.; Дуглас, Н.Дж. Влияние фрагментации сна на когнитивную обработку с использованием компьютерного топографического картирования мозга. J. Исследование сна. [Перекрестная ссылка] [2000]
63. Ко, К.-Х.; Фанг, Ю.-В.; Цай, Л.-Л.; Се, С. Влияние экспериментальной фрагментации сна на мониторинг ошибок. Биология. Психология. 2015, 104, 163-172. [Перекрестная ссылка]
64. Боннет, М.Х.; Аранд, Д.Л. Клинические эффекты фрагментации сна в сравнении с лишением сна. Sleep Med. Преподобный 2003, 7, 297-310. [Перекрестная ссылка] [Опубликованный]
65. Шахвейси К.; Джалали А.; Молуди М.Р.; Моради С.; Маруфи А.; Хазайе Х. Архитектура сна у пациентов с первичным храпом и обструктивным апноэ во сне. Базовая клиника. Неврологи. 2018, 9, 147-156. [Перекрестная ссылка]
66. Шорт, М.А.; Бэнкс, С. Функциональное воздействие недосыпания, ограничения сна и фрагментации сна. Влияние сна на болезнях: Бьянки, М., ред.; Спрингер: Нью-Йорк, Нью-Йорк, США, 2014. [Перекрестная ссылка]
67. Шорт, М.А.; Бэнкс, С. Функциональное воздействие недосыпания, ограничения сна и фрагментации сна. Влияние сна на болезнях: Бьянки, М., ред.; Спрингер: Нью-Йорк, Нью-Йорк, США, 2014. [Перекрестная ссылка]
68. Алчанатис, М.; Зиас, Н.; Делигиоргис, Н.; Лиаппас, И.; Хрону, А.; Солдатос, С.; Руссос, С. Сравнение когнитивных показателей в разных возрастных группах у пациентов с обструктивным апноэ сна. Дыхание во Сне 2008, 12, 17-24. [Перекрестная ссылка] [Опубликованный]
69. Олайт, М.; Пушпанатан, М.; Хиллман, Д.; Иствуд, П.Р.; Хантер, М.; Скиннер, Т.; Джеймс, А.; Веснес, К.А.; Бакс, Р.С. Когнитивные профили при обструктивном апноэ во сне: кластерный анализ в выборках клиники сна и сообщества. J. Clin. Лекарство для сна. 2020, 16, 1493-1505. [Перекрестная ссылка] [Опубликованный]
70. Бенкиран, О.; Hey, Д.; Шмитц, Р.; Деон, Х.; Мэрресс, О.; Пенье, П. Обратимый дефицит интеграции вербальной памяти при обструктивном апноэ во сне. Психол. Белг. 2021, 61, 131-144. [Перекрестная ссылка] [PubMed]
71. Геверс, У.; Делиенс, Г.; Хоффманн, С.; Нотеберг, У.; Пенье, П. Лишние сна избирательно нарушают нисходящую адаптацию к когнитивному конфликту в teste Струпа. J. Исследование сна. 2019, 24, 666-672. [Перекрестная ссылка] [Опубликованный]
72. Аккерман П.Л.; Калдервуд К.; Конклайн Э.М. Характеристики задач и утомление. В Справочнике по усталости оператора; CRC Press: Бока-Ратон, Флорида, США, 2017; стр. 91-101.

- Червин Р.Д. Сонливость, переутомление и недостаток энергии при обструктивном апноэ во сне. 73. [\[PubMed\]](#)
- Хоссейн Дж.Л.; Рейниш Л. В.; Каюмов Л.; Бхуйя П.; Шапиро К.М. Лежащая в основе патология сна может вызывать хроническую повышенную утомляемость у сменных работников. *J. Sleep Res.* 2003, 12, 223-230. [\[Перекрестная ссылка\]](#) [\[Опубликованный\]](#)
- Лихштейн К.Л.; Минс М.К.; Ноэ С.Л.; Агиллард Р.Н. Усталость и нарушения сна. Поведение. Отв. Там же. 1997, 35, 733-740. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
75. [\[Опубликованный\]](#)
76. Паллесен С.; Джонсен Б.Х.; Хансен А.; Эйд Дж.; Тайер Дж. Ф.; Олсен Т.; Хугдал К. Недосыпание и межполушарная асимметрия для определения времени и точности реакции распознавания лиц. Восприятие. Мог. Духи. 2004, 10 (Выполнение S3), 1305-1314. [\[Перекрестная ссылка\]](#) [\[Опубликованный\]](#)
77. Соффер-Дудек, Н.; Саде, А.; Даль, Р.Э.; Розенблат-Штайн, С. Плохое качество сна предсказывает недостаточную обработку эмоциональной информации с течением времени в раннем подростковом возрасте. Спать 2011, 34, 1499-1508. [\[Перекрестная ссылка\]](#) [\[Опубликованный\]](#)
78. Липинска Г.; Томас К.Г. Взаимодействие фрагментации быстрого сна и ночных возбуждения модулирует эмоциональную зависимую от сна консолидацию памяти. *Front. Psychol.* [\[Перекрестная ссылка\]](#) [\[Опубликованный\]](#) 2019
- Werner, G.G.; Schabus, M.; Blechert, J.; Kolodyazhnyi, V.; Wilhelm, F.H. Изменение психофизиологической реактивности до и после сна на эмоциональные фильмы: Поздний быстрый сон связан с ослабленной эмоциональной обработкой. *Психофизиология* 2015, 52, 813-825. [\[Перекрестная ссылка\]](#) [\[Опубликованный\]](#)
- Лесонен, А. К.; Gradišar, M.; Куула, л.; коротких, М.; Мерикантто, И.; тарк Р.; Райкконен К.; г. Лахти, Ю. сна раздробленности связан 80. с депрессивными симптомами и генетического риска для депрессии у сообщества выборке подростков. Ж. Повлиять. Разлад. 2019, 245, 757-763. [\[Перекрестная ссылка\]](#) [\[Опубликованный\]](#)
81. Вандекерхов, М.; Клайдтс, Р. Эмоциональный мозг и сон: интимная взаимосвязь. *Sleep Med. Rev.* 2010, 14, 219-226. [\[Перекрестная ссылка\]](#) [\[Опубликованный\]](#)