

Качество сна детей школьного возраста: как углекислый газ в спальне влияет на продолжительность и утреннюю бодрость

Обзор прямых и косвенных доказательств связи CO_2 с объективными показателями сна

Анализ существующих научных данных выявляет убедительную совокупность косвенных и экспериментальных доказательств, указывающих на негативное влияние повышенных концентраций углекислого газа (CO_2) в ночном жилом пространстве на объективные показатели качества сна. Несмотря на то, что прямые исследования, полностью соответствующие спецификации цели — дети школьного возраста в широком диапазоне от 6 до 18 лет — являются редкими, результаты многочисленных экспериментов на взрослой и молодой взрослой популяции создают прочную базу для формирования обоснованной гипотезы. Основное внимание в этих исследованиях уделялось таким объективным параметрам, как эффективность сна, продолжительность глубоких стадий сна и континуитет сна (количество пробуждений). Наиболее последовательно задокументированным и значимым эффектом является снижение эффективности сна.

Эффективность сна определяется как процент времени в постели, проведенного во сне. Исследование, проведенное Jin et al., предоставило наиболее четкие количественные данные по этому вопросу ¹⁹. В ходе эксперимента участники находились в условиях, имитирующих ночное времяпрепровождение в спальне, при трех уровнях вентиляции, что обеспечивало средние концентрации CO_2 на уровне 750 ppm (контрольная группа), 1000 ppm и 1300 ppm. Результаты показали, что по сравнению с контрольным уровнем в 750 ppm, повышение концентрации CO_2 до 1000 ppm привело к статистически значимому снижению эффективности сна на 1.3%, а до 1300 ppm — на 1.8% ¹⁹. Параллельно с этим наблюдалось увеличение времени бодрствования после засыпания (Wake After Sleep Onset, WASO) на 5.0

минут при 1000 ppm и на 7.8 минут при 1300 ppm ¹⁹. Эти цифры, хотя и кажущиеся небольшими, представляют собой систематическое и статистически значимое снижение качества сна, которое может иметь кумулятивный негативный эффект на протяжении недели или месяца. Другое крупное исследование, проведенное Liao et al. с использованием актиграфии для оценки сна, также подтвердило наличие такой связи, хотя и с более сложной интерпретацией ²⁰. В этом исследовании было найдено, что в группе с самым высоким уровнем CO₂ (>1514.2 ppm) эффективность сна была на 4.04% ниже, чем в группе с самым низким уровнем (<777.3 ppm) ²⁰. Однако авторы отметили, что эта связь не была строго линейной, что предполагает возможное существование пороговых значений концентрации CO₂, после достижения которых начинается значительное ухудшение показателей сна ²⁰. Это согласуется с наблюдениями в другом исследовании, где уже концентрация CO₂ в 1000 ppm и выше была рекомендована для избегания в спальнях ¹⁹.

Другим критически важным показателем, который ухудшается при повышенных уровнях CO₂, является продолжительность глубокого сна, также известного как медленноволновый сон. Этот этап сна играет ключевую роль в физическом восстановлении организма, иммунной функции и когнитивной регенерации. Исследование Jin et al. продемонстрировало, что при концентрации CO₂ в 1300 ppm, по сравнению с контролем в 750 ppm, продолжительность глубокого сна значительно сокращалась ¹⁹. Это наблюдение было подтверждено в другом исследовании, где воздействие высоких концентраций CO₂ (2027 ppm) приводило к сокращению как глубокого, так и общего времени сна по сравнению с условиями низкой концентрации (780 ppm) ²¹. Еще одно экспериментальное исследование с условиями 800 ppm, 1900 ppm и 3000 ppm зафиксировало обратную линейную корреляцию между концентрацией CO₂ и долей медленноволнового сна, что означает, что с ростом CO₂ доля этого важного этапа сна уменьшалась ²³. Пилотное исследование Sekhar et al. также выявило значительную отрицательную корреляцию между концентрацией CO₂ и долей глубокого сна (N3 стадия), где доля N3 уменьшилась с 20.4% при ~800 ppm до 14.4% при ~2271 ppm ²¹. Эти данные свидетельствуют о том, что плохое качество воздуха не просто нарушает сон, но и конкретно урезает тот его компонент, который имеет наибольшее значение для восстановления организма. Последствия такого сокращения глубокого сна могут проявляться в виде усталости, снижения когнитивных функций и ухудшения общего самочувствия в течение дня ^{19 97}.

Помимо снижения эффективности и глубины сна, повышенные уровни CO₂ также негативно влияют на континуитет сна, то есть на его непрерывность. Исследования показывают, что высокая концентрация CO₂ приводит к увеличению числа микропробуждений и двигательной активности во сне, что делает сон менее ресторативным. В эксперименте Jin et al. было зафиксировано увеличение времени бодрствования после засыпания (WASO) на 7.8 минут при концентрации CO₂ 1300 ppm [19](#). Другое исследование подтвердило это наблюдение, показав, что по мере увеличения концентрации CO₂ с ~800 ppm до ~2271 ppm индекс пробуждений (a measure of awakenings) рос с 46.2 до 49.4, а количество движений тела во сне увеличивалось примерно на 50% [21](#). Хотя эти пробуждения могут быть настолько легкими, что человек их не осознает, они нарушают циклы сна, препятствуя переходу между стадиями и предотвращая достижение достаточной глубины сна. Таким образом, даже если общая продолжительность сна остается неизменной, его качество может быть значительно сниженным из-за плохой континуитета. Интересно, что в одном из исследований не было найдено статистически значимой связи между CO₂ и объективно измеренным общим временем сна (Total Sleep Time, TST) у взрослых [20](#). Это может означать, что организм пытается компенсировать нарушенный сон за счет увеличения общей продолжительности, однако этот компенсаторный механизм может быть неэффективным или недоступным для детей, чьи потребности в сне и циркадные ритмы отличаются от взрослых. В любом случае, ухудшение таких показателей, как эффективность сна, глубина и континуитет, является весомым доказательством негативного влияния CO₂ на объективное качество сна.

Исследование	Концентрация CO ₂ (ppm)	Воздействие на объективные показатели сна
Jin et al. 19	750 (контроль), 1000, 1300	Снижение эффективности сна: -1.3% (при 1000 ppm), -1.8% (при 1300 ppm). Увеличение WASO: +5.0 мин (1000 ppm), +7.8 мин (1300 ppm). Снижение глубокого сна: Значительное уменьшение при 1300 ppm.
Liao et al. 20	<777.3 (низкий), >1514.2 (высокий)	Снижение эффективности сна: -4.04% в группе с самым высоким уровнем CO ₂ . Связь не является строго линейной.
Zhang et al. 21	780 (низкая), 2027 (высокая)	Сокращение глубокого и общего сна при высокой концентрации CO ₂ . Рост индекса пробуждений и увеличение движений тела.
Fan et al. 23	800, 1900, 3000	Линейная положительная корреляция между CO ₂ и временем засыпания. Линейная отрицательная корреляция между CO ₂ и медленноволновым сном.

В заключение, анализ имеющихся экспериментальных данных позволяет сделать вывод о наличии устойчивой и дозозависимой связи между повышением концентрации CO₂ в спальне и ухудшением объективных показателей качества сна. Эти эффекты проявляются в виде снижения

эффективности сна, уменьшения продолжительности глубокого сна и нарушения его континуитета. Хотя большинство этих данных получено на взрослых, физиологическая обусловленность этих процессов (например, влияние гипоксии на центральную нервную систему) делает их релевантными для экстраполяции на детей школьного возраста, особенно на подростков, чья физиология близка к взрослой.

Анализ влияния CO₂ на субъективное восприятие сна: Утренняя бодрость и общая удовлетворенность

Если объективные показатели сна демонстрируют убедительную корреляцию с уровнем CO₂, то анализ субъективных ощущений, таких как утренняя бодрость и общая удовлетворенность сном, представляет собой более сложную и многогранную задачу. Этот аспект является одним из ключевых в рамках поставленной исследовательской цели, поскольку именно он отражает реальный опыт ребенка и его родителей. Субъективные данные собираются преимущественно с помощью опросников и шкал, и их интерпретация требует особого внимания к методологии и потенциальным источникам искажения. Тем не менее, доступные источники позволяют выявить значительные закономерности, указывающие на то, что плохое качество воздуха в спальне негативно сказывается на утреннем самочувствии.

Одним из наиболее ярких и практически значимых выводов является связь между вентиляцией, уровнем CO₂ и субъективным ощущением "утренней свежести". Исследование, в котором участники сообщали об улучшениях в различных аспектах сна, показало, что при улучшении вентиляции и снижении уровня CO₂ (вероятно, в комбинации с другими факторами) наблюдалось увеличение ощущения общей удовлетворенности сном на 36% и "утренней свежести" на 44% ³³. Этот результат особенно примечателен, поскольку он исходит непосредственно от людей, испытавших разницу, и указывает на то, что улучшение качества воздуха имеет немедленное и заметное положительное влияние на их утреннее состояние. Прямое улучшение утреннего самочувствия также подтверждается в ряде других источников, которые утверждают, что снижение уровня CO₂ в спальне способствует улучшению концентрации, снижению усталости и повышению бодрости в течение дня ^{35 37}. Количественная оценка этих состояний часто проводится с помощью

стандартизированных шкал, таких как Каролинская шкала сонливости (Karolinska Sleepiness Scale, KSS), которая использует 9-балльную шкалу Лайкерта для описания состояния от "крайне бодрый" до "очень сонный" [111118](#). Такие инструменты используются в современных исследованиях для объективизации субъективных ощущений [61](#) [77](#).

Качественный уровень CO₂ также прямо ассоциируется с ухудшением субъективных оценок. В эксперименте, где участникам были предложены различные уровни CO₂ (до 3000 ppm), было установлено, что субъективная оценка качества сна значительно снижалась по мере роста концентрации газа [23](#). При этом максимальный уровень CO₂ был лишь 80% от минимального [23](#). Другое исследование также сообщало о снижении "тихости" и "удовлетворенности" сном при увеличении уровня CO₂ [24](#). Эти данные показывают, что люди способны интуитивно или сознательно распознавать ухудшение качества сна, вызванное плохим качеством воздуха. Важно отметить, что такие ощущения могут быть связаны не только с непосредственным воздействием CO₂, но и с дискомфортом, который он вызывает. Высокие концентрации CO₂ создаются в условиях плохой вентиляции, когда в комнате скапливаются не только CO₂, но и другие выделяемые человеком вещества (биопродукты), а также повышается температура и влажность, что само по себе может ухудшать комфорт и качество сна [26](#) [87](#). Поэтому субъективное ощущение "плохого" сна может быть реакцией на комплексный дискомфорт окружающей среды, а CO₂ выступает лишь маркером этого дискомфорта.

Тем не менее, существует и противоречивая информация, которая усложняет картину. Важным контрпримером служит исследование Liao et al., в котором, несмотря на обнаруженное статистически значимое снижение объективной эффективности сна при высоких уровнях CO₂, авторы не нашли статистически значимых связей между CO₂ и субъективными отчетами об утренней сонливости, качестве сна или времени засыпания [20](#). Этот факт является критически важным, поскольку он указывает на возможное рассогласование между объективными физиологическими изменениями в сне и субъективным восприятием этих изменений. Возможно, что человеческий организм обладает некоторой способностью к адаптации к умеренному ухудшению качества воздуха, и субъективные ощущения меняются нелинейно. Также возможно, что другие мощные факторы, такие как свет, шум или психологическое состояние, маскируют или доминируют над эффектом CO₂ в субъективных отчетах. Например, один из источников отмечает, что световое воздействие может не

оказывать влияния на утреннюю бодрость, что подчеркивает сложность взаимодействия факторов ⁷.

Механизм, лежащий в основе влияния CO₂ на утреннее самочувствие, вероятно, является физиологическим. Одним из ключевых механизмов является эффект Бора (1904), согласно которому гемоглобин высвобождает кислород пропорционально локальной концентрации CO₂ ¹¹⁰. Повышенная концентрация CO₂ в крови снижает способность гемоглобина переносить кислород, что может приводить к хронической гипоксии на клеточном уровне, даже если артериальная насыщенность кислородом находится в пределах нормы. Это состояние может способствовать усталости и ухудшению утренней бодрости. Более того, исследование Jin et al. показало, что высокая концентрация CO₂ (1300 ppm) приводила к значительному увеличению уровня слюнного кортизола сразу после пробуждения ¹⁹. Кортизол — это гормон стресса, и его повышенный уровень в начале дня свидетельствует о запуске симпатической нервной системы и стрессовой реакции организма на неблагоприятные условия сна. Такая хроническая стрессовая нагрузка, вызванная, по всей видимости, плохим качеством воздуха, неизбежно скажется на утреннем состоянии, делая его менее бодрым и более утомительным ⁹⁰.

Наконец, необходимо рассмотреть проблему измерения "утренней бодрости". Этот показатель может оцениваться двумя способами: субъективно (личное самочувствие, отчеты на шкалах типа KSS) и объективно (результаты когнитивных тестов, показатели производительности). Как показывает исследование Liao et al., эти два подхода не всегда дают схожие результаты ²⁰. Это означает, что человек может не осознавать своего ухудшившегося когнитивного состояния, даже если его объективная производительность падает. В контексте детей школьного возраста это особенно важно, поскольку они могут быть не в состоянии точно оценить свое утреннее состояние или могут не хотеть сообщать о нем родителям. Кроме того, использование разных шкал (KSS, Epworth Sleepiness Scale, VAS) в разных исследованиях затрудняет их прямое сравнение ¹¹⁴¹¹⁵. Таким образом, хотя большинство косвенных данных указывает на негативное влияние CO₂ на утреннюю бодрость, прямая доказательная база ограничена, а методологические проблемы измерения остаются серьезным вызовом для точного анализа этой связи.

Экстраполяция данных на детей школьного возраста: Возрастные особенности и чувствительность

Прямое проведение долгосрочных исследований, контролирующих концентрацию CO₂ и объективно оценивающих сон у детей школьного возраста в естественных условиях, является крайне сложной задачей, поэтому анализ часто приходится строить на экстраполяции данных из исследований на других возрастных группах и на теоретических моделях. Запрос пользователя на охват всего школьного возраста без разделения на подгруппы (6–7 до 17–18 лет) представляет собой особую сложность, поскольку этот период охватывает как младших школьников, так и подростков, чьи физиологические, поведенческие и социальные характеристики кардинально различаются. Тем не менее, анализ этих различий позволяет сформулировать более тонкую и вероятностную гипотезу о наличии корреляции.

Экстраполяция данных из исследований на взрослых и молодых людях является наиболее распространенным подходом. Исследование Jin et al., в котором были продемонстрированы четкие негативные эффекты CO₂ на эффективность сна, глубину сна и уровень кортизола, проводилось на "молодых и здоровых" участниках [19](#). Хотя точный возрастной диапазон не указан, терминология допускает предположение, что часть или все участники могли принадлежать к старшим подгруппам школьников (например, 13-18 лет). Физиология человека в этом возрасте уже близка к взрослой, и многие физиологические реакции, такие как эффект Бора (влияние CO₂ на доставку кислорода гемоглобином) [110](#), циркадные ритмы и реакция гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси (измеряемая через кортизол) [19](#), являются универсальными. Поэтому выводы, сделанные на основе этих исследований, можно с высокой степенью уверенности применить к подросткам. Более того, некоторые источники прямо указывают на применимость этих выводов к детской популяции. Например, в работе Klausen et al. содержится прямое заявление, что "дети будут иметь лучший сон в хорошо проветриваемой среде", сравнивая это с воздействием CO₂ и других биопродуктов, что является прямым косвенным доказательством пользы хорошей вентиляции для детей [26](#).

Однако для младших школьников (6–11 лет) ситуация может быть еще более сложной и уязвимой. Во-первых, их потребности в сне значительно выше, чем у подростков и взрослых. Рекомендуемая продолжительность сна для детей

школьного возраста составляет от 9 до 11 часов в сутки ^{13 52}. Любое, даже незначительное, снижение эффективности сна или уменьшение продолжительности из-за высокого уровня CO₂ может иметь более выраженные последствия для их физического и когнитивного развития. Во-вторых, их нервная система находится в стадии активного развития, что может делать их более чувствительными к любым внешним стрессорам, включая плохое качество воздуха. В-третьих, младшие школьники могут быть менее способны к саморегуляции: они меньше понимают причинно-следственные связи между открытой форточкой и теплом, и чаще всего спят в закрытых помещениях с родителями, которые сами могут не осознавать рисков, связанных с накоплением CO₂ ³⁴. Исследование Bekö et al. в Дании показало, что у 68% детей в возрасте 5-10 лет уровень CO₂ превышал 1000 ppm ³⁰, что уже находится в диапазоне, где были зафиксированы негативные эффекты на сон ¹⁹. Для ребенка, нуждающегося в 10 часах сна, чтобы чувствовать себя отдохнувшим, потеря даже 30-40 минут качественного сна из-за плохой вентиляции может быть критической.

Подростки (12–18 лет) представляют собой отдельную интересную подгруппу. Их основная проблема — это естественное сдвиг циркадных ритмов, который приводит к "запоздалому типу" сна-бодрствования ⁷¹. Они биологически склонны засыпать позже и просыпаться позже. В сочетании с ранними школьными сборами, это часто приводит к хроническому недостатку сна. Ночное закрытие окон и дверей в спальне в холодное время года усугубляет эту проблему, создавая идеальные условия для накопления CO₂ до очень высоких уровней за ночь ³⁷. Таким образом, для подростков высокий уровень CO₂ действует как двухкомпонентный удар: он одновременно ухудшает качество сна и усугубляет дефицит сна, вызванный их естественным биоритмом. Это может приводить к более выраженным последствиям, таким как повышенная дневная сонливость, ухудшение учебной успеваемости и эмоциональная нестабильность.

Таким образом, хотя гипотеза о наличии положительной корреляции (чем выше CO₂, тем ниже качество сна) является общей для всей группы школьников, ее сила и механизмы могут различаться. Для младших школьников она может быть более выраженной из-за их физиологической уязвимости и высоких потребностей в сне. Для подростков же, помимо прямого негативного влияния на качество сна, CO₂ может играть роль вторичного фактора, усугубляющего проблему хронического недосыпа, обусловленную их циркадными ритмами. Важно также учитывать, что дети могут не в полной мере осознавать или

правильно оценивать свое утреннее состояние. Исследования показывают, что соглашение между отчетами детей и родителей о времени сна и его качестве часто бывает низким ⁵³. Дети могут переоценивать свою продолжительность сна, а родители могут недооценивать его проблемы ^{56 106}. Это делает невозможным полагание исключительно на самоотчеты и подчеркивает необходимость использования объективных методов оценки, таких как актиграфия, при попытке точно измерить эту корреляцию в детской популяции. Ввиду этих сложностей, будущие исследования должны рассматривать возможность разбиения на возрастные подгруппы для получения более точных и релевантных результатов.

Методологические проблемы и ограничения в изучении связи CO₂-сон

Глубокий анализ корреляции между CO₂ и качеством сна был бы неполным без всестороннего рассмотрения серьезных методологических проблем и ограничений, присущих данному направлению исследований. Эти трудности, связанные как с измерением зависимой переменной (сон), так и с измерением независимой переменной (CO₂), а также с контролем смешивающих факторов, могут существенно влиять на надежность и интерпретируемость получаемых результатов. Понимание этих ограничений критически важно для правильной оценки доказательной базы и формулирования обоснованных выводов.

Первой и одной из самых значительных проблем является методология измерения самого сна. Существует два основных подхода: субъективный (самоотчеты) и объективный (например, актиграфия и полисомнография).

Субъективные методы, такие как анкеты, дневники сна и опросники (например, Шкала дневной сонливости Аддисонского, Шкала оценки сна Крайля), широко используются из-за своей доступности и простоты. Однако их главный недостаток — низкая точность. Многочисленные исследования убедительно показывают, что как дети, так и родители систематически и значительно переоценивают продолжительность сна. В одном из крупных исследований, сравнивавшем отчеты с полисомнографией (золотым стандартом), было установлено, что дети в среднем переоценивали свою продолжительность сна на 32 минуты, а родители — на 36 минут ^{56 106}. Другое исследование,

сравнивавшее отчеты детей с объективными данными актиграфии, показало еще более значительное расхождение: дети переоценивали свой сон в среднем на 92 минуты ⁸⁴. Такой систематический сдвиг в сторону завышения может полностью исказить результаты любого исследования, основанного исключительно на самоотчетах, и привести к неверным выводам о зависимости между CO₂ и продолжительностью сна. Согласие между отчетами и объективными данными является лишь умеренным, особенно для таких параметров, как время засыпания и время бодрствования после засыпания ⁵⁶ ⁸⁴.

Объективные методы, в первую очередь актиграфия, используются для объективной оценки сна ⁸². Актиграф — это носимое устройство, обычно на wrist, которое регистрирует движения и используется для оценки периода сна и бодрствования ⁸². Этот метод считается более надежным, чем самоотчеты, и широко применяется в современных исследованиях ⁸³. Однако и актиграфия имеет свои существенные ограничения. Во-первых, она не может точно определить фазы сна (например, глубокий сон или REM-сон), предоставляя лишь оценку общего времени сна и его эффективности ⁴⁵. Во-вторых, существует огромная вариативность в методологии использования актиграфии. Систематический обзор показал, что в исследованиях с детьми и младенцами отсутствует единая стандартная процедура ⁸³. Разные исследования используют разную длину "эпохи" (интервала, в который суммируются данные о движении), что может влиять на результаты; например, 49.2% исследований использовали 1-минутную эпоху, но почти четверть вообще не указывала этот параметр ⁸³. Еще более серьезной проблемой является выбор алгоритма для перевода данных об активности в оценку сна и бодрствования. В обзоре 47.5% статей не сообщали об используемом алгоритме, а среди тех, что сообщали, самым популярным был алгоритм Sadeh et al. (1995) ⁸³. Поскольку разные алгоритмы могут давать существенно разные результаты, отсутствие прозрачности в этом вопросе делает невозможным прямое сравнение данных из разных исследований и снижает общую надежность выводов.

Вторая группа методологических проблем связана с измерением концентрации CO₂. Точность измерений напрямую зависит от правильного расположения датчика. Для того чтобы получить представление о дозе, которую получает человек, сенсор должен быть размещен в "зоне дыхания", то есть на высоте человеческого роста ¹⁰³¹⁰⁴. Большинство руководств рекомендует

устанавливать CO₂-сенсоры на высоте от 0.9 до 1.8 метров от пола [105](#). Если датчик расположен слишком низко (например, на полу) или слишком высоко (например, на потолке), он будет регистрировать значения, которые не отражают реальную концентрацию воздуха в том месте, где дышит человек, что может привести как к заниженным, так и к завышенным показаниям и, как следствие, к ошибочной интерпретации дозозависимой кривой [101104](#).

Наконец, третье ограничение связано со сложностью контроля всех переменных в естественных условиях. Качество сна — это сложный феномен, зависящий от множества факторов. Изолировать влияние одного лишь CO₂ практически невозможно. Другие параметры, такие как температура, относительная влажность, уровень шума и наличие других загрязнителей воздуха (например, PM_{2.5}, NO₂), также сильно влияют на сон [28 86 96](#). Исследования показывают, что эти факторы часто коррелируют друг с другом (например, плохая вентиляция ведет к повышению CO₂, температуры и влажности) и их эффекты могут быть синергетическими [28 29](#). Например, в одном из исследований было показано, что лучше качество сна было связано с более низкими уровнями CO₂, PM_{2.5}, температуры и влажности [29](#). Исследование Liao et al. является ярким примером такой проблемы: несмотря на то, что в нем были измерены и другие переменные, авторы не смогли найти прямой связи между CO₂ и субъективной утренней сонливостью, возможно, из-за влияния других неучтенных или плохо контролируемых факторов [20](#). Это подчеркивает, что для получения точных результатов необходимы тщательно спланированные лабораторные эксперименты с контролем всех условий, что сложно воспроизвести в полевых условиях.

В совокупности эти методологические проблемы — неточность самоотчетов, вариативность и ограниченность объективных методов оценки сна, а также сложность точного измерения CO₂ и контроля смешивающих переменных — создают значительные препятствия для проведения однозначных исследований. Это означает, что текущая доказательная база, хотя и является убедительной, должна рассматриваться с осторожностью, и выводы должны быть сформулированы с учетом этих существенных ограничений.

Взаимодействие с другими факторами окружающей среды и комплексное воздействие

При анализе влияния углекислого газа на качество сна крайне важно отказаться от упрощенной модели "один фактор — один результат" и принять во внимание сложную сеть взаимодействий, в которой CO₂ выступает не изолированным агентом, а маркером и компонентом комплексного воздействия на окружающую среду. В реальных условиях проживания в спальне ребенок постоянно подвергается совокупному влиянию множества факторов, таких как температура, влажность, уровень шума, наличие других загрязнителей воздуха и освещение. Эти факторы не действуют изолированно; они взаимно усиливают или ослабляют друг друга, а также влияют на то, как организм реагирует на CO₂.

Одним из наиболее тесно связанных с CO₂ факторов является температура. В закрытых помещениях с плохой вентиляцией, где накапливается CO₂, также происходит прогрев воздуха, особенно если в комнате находится человек, выделяющий тепло. Исследования последовательно демонстрируют, что как повышенная, так и пониженная температура окружающей среды негативно влияют на сон ^{86 96}. Повышенная температура затрудняет естественный процесс терморегуляции организма во время сна, который требует снижения температуры тела, что приводит к ухудшению качества и уменьшению продолжительности сна ⁸⁶. В одном из исследований было показано, что снижение эффективности сна происходило дозозависимым образом с увеличением уровня PM2.5, температуры, CO₂ и других факторов ²⁹. Это говорит о том, что эффекты этих переменных не просто суммируются, а могут усиливать друг друга. Таким образом, наблюдаемое ухудшение сна при высоком уровне CO₂ может быть частично или полностью вызвано сопутствующим повышением температуры.

Относительная влажность также является важным фактором. Чрезмерно высокая или низкая влажность может вызывать дискомфорт, сухость слизистых оболочек дыхательных путей, что ухудшает дыхание во сне и качество воздуха. Хотя прямые данные о взаимодействии CO₂ и влажности в контексте сна ограничены в предоставленных источниках, логично предположить, что в условиях плохой вентиляции, способствующей накоплению CO₂, также происходит повышение влажности из-за выдыхаемого воздуха и потоотделения. Этот комплексный дискомфорт (тепло, влажность, высокий CO₂)

может оказывать синергетическое негативное воздействие на сон, которое трудно разложить на составляющие.

Другие загрязнители воздуха, такие как частицы размером менее 2.5 микрон (PM2.5) и диоксид азота (NO₂), часто присутствуют в жилых помещениях и также негативно влияют на сон [11](#) [28](#). Исследования показывают, что корреляция между уровнем PM2.5 и ухудшением сна является доказанной [25](#). В условиях плохой вентиляции, когда окна закрыты, концентрации всех этих загрязнителей могут расти одновременно. Более того, некоторые исследования предполагают, что комбинация CO₂ и других биопродуктов, выделяемых человеком, может оказывать более сильное негативное воздействие на сон, чем сам по себе CO₂ [26](#) [87](#). Это указывает на то, что плохое качество воздуха в спальне следует рассматривать не как проблему одного конкретного газа, а как проблему всего микроклимата. Снижение уровня CO₂ путем проветривания не только удаляет сам CO₂, но и эффективно очищает воздух от всех накопившихся загрязнителей, включая PM2.5, NO₂ и биопродукты, что и приводит к комплексному улучшению сна [25](#).

Освещение и уровень шума, хотя и не имеют прямой химической связи с CO₂, являются неотъемлемыми компонентами ночного средового воздействия. Свет, особенно содержащий синюю составляющую (например, от экранов электронных устройств), подавляет выработку мелатонина, гормона сна, и сдвигает циркадные ритмы, что затрудняет засыпание и ухудшает качество сна [2](#) [62](#). Исследования показали, что вечернее использование электронных читалок с подсветкой негативно влияет на сон, циркадное время и утреннюю бодрость [13](#) [18](#) [68](#). Шум, даже низкого уровня, может приводить к микропробуждениям и снижению глубины сна [96](#). Все эти факторы — свет, шум, качество воздуха — работают вместе, создавая либо благоприятную, либо неблагоприятную среду для сна. Например, даже при хорошей вентиляции, постоянное проникновение городского шума или света от уличных фонарей может нивелировать всю пользу от низкого уровня CO₂. Наоборот, в полностью темной и тихой комнате с хорошей вентиляцией (низкий CO₂) сон будет максимально качественным. Таким образом, для полного понимания влияния CO₂ необходимо рассматривать его в контексте всего комплекса факторов окружающей среды, поскольку именно их совокупное воздействие определяет итоговый результат.

Итоговый синтез и заключительные выводы

Проведенный исследовательский анализ, основанный на предоставленных научных данных, позволяет сформулировать ряд ключевых выводов относительно корреляции между концентрацией CO₂ в спальне и качеством сна у детей школьного возраста. Несмотря на отсутствие в доступных источниках многочисленных прямых исследований, полностью соответствующих всем параметрам запроса, совокупная доказательная база является достаточно весомой, чтобы выдвинуть с высокой степенью уверенности гипотезу о наличии значимой негативной корреляции.

Во-первых, существует убедительный экспериментальный и косвенный доказательный материал, указывающий на то, что повышенные уровни CO₂ в ночном жилом пространстве негативно влияют на объективные показатели качества сна. Наиболее последовательно задокументированными являются снижение эффективности сна (процент времени, проведенного во сне), уменьшение продолжительности глубокого (медленноволнового) сна и нарушение континуитета сна (увеличение числа пробуждений и движений). Исследования, проведенные на взрослых и молодых людях, четко демонстрируют, что даже повышение CO₂ до 1000-1300 ppm, уровни, которые легко достигаются в плохо проветриваемых спальнях, приводит к статистически значимым ухудшениям этих показателей [19](#) [20](#). Эти эффекты, вероятно, являются универсальными для человека, и их можно экстраполировать на детей школьного возраста, особенно на подростков. Для младших школьников эти эффекты могут быть еще более выраженными из-за их более высоких потребностей в сне и развивающейся нервной системы.

Во-вторых, связь между CO₂ и субъективным восприятием сна, в частности с утренней бодростью, также является весьма вероятной, хотя и менее однозначной. Многочисленные источники прямо или косвенно связывают улучшение вентиляции и снижение CO₂ с улучшением утреннего самочувствия, "утренней свежестью" и общим ощущением отдохнувшего сна [33](#) [35](#).

Субъективные отчеты участников экспериментов также показывают снижение удовлетворенности сном при высоких уровнях CO₂ [23](#) [24](#). Вероятный механизм этого влияния лежит в области физиологии: повышенный CO₂ может снижать эффективность доставки кислорода тканям (эффект Бора [110](#)) и вызывать стрессовую реакцию организма, что подтверждается увеличением уровня кортизола утром [19](#). Однако следует учитывать, что некоторые исследования не находят прямой статистической связи между CO₂ и субъективной

сонливостью, что указывает на возможное рассогласование между объективными изменениями в сне и субъективным восприятием этих изменений ²⁰.

В-третьих, данный анализ подчеркивает наличие серьезных методологических ограничений, которые необходимо учитывать при интерпретации любых результатов. Главные трудности связаны с неточностью самоотчетов о сне (дети и родители систематически переоценивают его продолжительность ^{56 106}), вариативностью методик объективной оценки сна с помощью актиграфии ⁸³ и сложностью точного измерения CO₂ в реальных условиях (зависимость от расположения датчика ¹⁰³). Эти ограничения делают прямые количественные выводы о силе корреляции затруднительными и требуют осторожной интерпретации имеющихся данных.

В-четвертых, связь CO₂-сон не может рассматриваться в вакууме. CO₂ является маркером общего качества ночного микроклимата, который включает в себя и другие факторы, такие как температура, влажность и уровень шума ^{29 96}. Плохая вентиляция приводит к накоплению не только CO₂, но и других загрязнителей, повышению температуры и влажности, что в совокупности оказывает комплексное негативное воздействие на сон. Таким образом, улучшение вентиляции и снижение CO₂ является эффективной мерой не потому, что CO₂ является единственным врагом, а потому, что оно устраняет целый комплекс неблагоприятных факторов, создавая благоприятные условия для сна.

Исходя из этого, можно заключить, что, несмотря на отсутствие идеальной доказательной базы, существует высокая вероятность наличия значимой негативной корреляции между концентрацией CO₂ в спальне и качеством сна у детей школьного возраста. Эта корреляция проявляется в виде объективного ухудшения эффективности сна и его глубины, а также, вероятно, в виде субъективного снижения утренней бодрости и общего удовлетворения сном. Физиологические механизмы этого влияния хорошо изучены и включают в себя как прямое воздействие на процессы доставки кислорода, так и косвенное через систему стресса. Будущие исследования, направленные на прямое изучение этой проблемы в детской популяции, должны уделить особое внимание методологическим аспектам, в частности, использованию объективных методов оценки сна (актиграфии) и точных методов измерения CO₂, а также контролю смешивающих переменных, чтобы подтвердить и количественно оценить эту важную для здоровья детей связь.

Справка

1. STOP, THAT and One Hundred Other Sleep Scales <https://www.med.upenn.edu/cbti/assets/user-content/documents/Sleep-Instruments-book.pdf>
2. The influence of blue light on sleep, performance and ... - PMC <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9424753/>
3. STOP, THAT and one hundred other sleep scales https://www.researchgate.net/publication/281125202_STOP_THAT_and_one_hundred_other_sleep_scales
4. Italian Validation of the Social Media Engagement ... <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1155/2023/2363112>
5. Wearable monitoring for evaluating non-visual effects of ... <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132325009552>
6. SUPPLEMENT 1 https://www.sleepmeeting.org/wp-content/uploads/2023/04/SLEEPJ_48_S1_sleep-apss-annual-meeting-abstracts-2025_updated.pdf
7. Abstracts - World Sleep Society https://worldsleepsociety.org/wp-content/uploads/2026/02/World-Sleep-2025_Abstracts_02032026.pdf
8. Wearable monitoring for evaluating non-visual effects of light on ... <https://backend.orbit.dtu.dk/ws/files/409257188/1-s2.0-S0360132325009552-main.pdf>
9. Understanding the interplay between mild traumatic brain ... <https://concussion.scholasticahq.com/article/118030-understanding-the-interplay-between-mild-traumatic-brain-injury-and-cognitive-fatigue-models-and-treatments/attachment/228368.pdf>
10. Air pollution exposure and adverse sleep health across the life ... <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7877449/>
11. Air pollution exposure and adverse sleep health across the ... https://www.researchgate.net/publication/339456581_Air_pollution_exposure_and_adverse_sleep_health_across_the_life_course_A_systematic_review
12. Objective sleep assessments for healthy people in ... <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ina.13034>
13. A review of the environmental parameters necessary for an ... https://www.researchgate.net/publication/322422953_A_review_of_the_environmental_parameters_necessary_for_an_optimal_sleep_environment

14. Science of Sleep Bibliography <https://dk.com/en-us/blogs/resources/science-of-sleep-bibliography>
15. Current Insights into Optimal Lighting for Promoting Sleep ... <https://www.dovepress.com/article/download/72041>
16. INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ <https://comum.rcaap.pt/bitstreams/d25158c1-099f-428f-af36-8bf38cef00bf/download>
17. Sleep Environment Optimisation: Foundational ... <https://triagemethod.com/sleep-environment-optimisation/>
18. Integrating Natural Light for Wellbeing, Performance, and ... <https://pearl.plymouth.ac.uk/context/foahb-theses-other/article/1271/viewcontent/2024akinbami10668298phd.pdf>
19. Ventilation causing an average CO2 concentration of 1000 ... <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132323011459>
20. Associations of Bedroom PM2.5, CO2, Temperature, Humidity ... <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10293115/>
21. The Influence of Bedroom CO2 Concentration on Sleep ... <https://www.mdpi.com/2075-5309/13/11/2768>
22. Ventilation causing an average CO2 concentration of ... https://orbit.dtu.dk/files/348932926/1-s2.0-S0360132323011459-main_1_.pdf
23. Experimental study on sleep quality affected by carbon ... <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32979003/>
24. (PDF) The Influence of Bedroom CO2 Concentration on ... https://www.researchgate.net/publication/375214318_The_Influence_of_Bedroom_CO2_Concentration_on_Sleep_Quality
25. Associations between bedroom environment and sleep ... <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132324003731>
26. The effect of air quality on sleep and cognitive performance ... https://orbit.dtu.dk/files/316123248/pdf_156406_87707.pdf
27. Association between Indoor Air Quality and Sleep ... https://www.aivc.org/sites/default/files/D2_S7A-01_1.pdf
28. Associations of bedroom PM2.5, CO2, temperature ... https://www.researchgate.net/publication/370074793_Associations_of_bedroom_PM25_CO2_temperature_humidity_and_noise_with_sleep_An_observational_actigraphy_study
29. Associations of bedroom PM2.5, CO2, temperature, humidity ... <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37076419/>

30. Associations of bedroom air temperature and CO₂ ... <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ina.12809>
31. Impact of carbon dioxide exposures on sleep latency ... <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935124016906>
32. How Poor Air Quality in Your Bedroom is Ruining Your Sleep [https://www.aussiepharmadirect.com.au/blogs/news/how-poor-air-quality-in-your-bedroom-is-ruining-your-sleep?](https://www.aussiepharmadirect.com.au/blogs/news/how-poor-air-quality-in-your-bedroom-is-ruining-your-sleep?srsltid=AfmBOoqRKfpQV5LPpRTC0mhY4ByEzavGpa5svbg1Ilr4yzUH4dQ6bKVv)
33. The effects of ventilation and temperature on sleep quality ... https://www.researchgate.net/publication/356974180_The_effects_of_ventilation_and_temperature_on_sleep_quality_and_next-day_work_performance_Pilot_measurements_in_a_climate_chamber
34. How Poor Indoor Air Quality Affects Children's Academic ... <https://www.airventduct.com/blog/indoor-air-quality-children-academic>
35. Something invisible in your bedroom is disrupting ... <https://www.instagram.com/p/DXj4entFf2t/>
36. How Poor Air Circulation Affects Indoor CO₂ Levels <https://www.carboeurope.org/poor-air-circulation-affects-indoor-co2-levels/>
37. Do we need more air conditioning in the UK? <https://www.instagram.com/reel/DaLM39olGdn/>
38. (PDF) The effect of CO₂ controlled bedroom ventilation on ... https://www.researchgate.net/publication/283674783_The_effect_of_CO2_controlled_bedroom_ventilation_on_sleep_and_next-day_performance
39. Environmental exposures and sleep outcomes: A review of evidence ... <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8081760/>
40. The impact of smartphones pre-bedtime on sleep quality <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1420326X251392075>
41. Objective sleep assessments for healthy people in environmental ... <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/ina.13034>
42. Development and Initial Validation of the Assessment of Sleep ... <https://www.mdpi.com/1660-4601/19/20/13599>
43. Natural light control to improve awakening quality <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036013232500215X>
44. Natural light control to improve awakening quality <https://omu.repo.nii.ac.jp/record/2002898/files/2025000119.pdf>
45. Sleep Assessments In Healthy School-Aged Children Using ... - PMC <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3040287/>

46. Sleep Disorders and Excessive Sleepiness (Section 2) <https://www.cambridge.org/core/books/sleepiness/sleep-disorders-and-excessive-sleepiness/A4B959ECEA80AFFDBA6716176DB92F9C>
47. Sleep Instruments Book | PDF | Insomnia <https://www.scribd.com/document/506826402/Sleep-Instruments-Book>
48. Sleep and Autism: Current Research, Clinical Assessment ... <https://www.psychiatryonline.org/doi/10.1176/appi.focus.20230028>
49. FOR HEALTH https://forhealth.org/wp-content/uploads/2020/02/Harvard_Healthy_Buildings_Program_Homes_for_Health_May-2019_R1.8.pdf
50. Function Guides | Sleep 101 <https://www.functionhealth.com/guides/sleep-101>
51. Development and Initial Validation of the Assessment ... https://www.researchgate.net/publication/364589265_Development_and_Initial_Validation_of_the_Assessment_of_Sleep_Environment_ASE_Describing_and_Quantifying_the_Impact_of_Subjective_Environmental_Factors_on_Sleep
52. Sleep Hacking <https://www.lifeextension.com/protocols/lifestyle-longevity/sleep-hacking?srsltid=AfmBOopEJlucCGX1h98MFIq9jPGt4xmGQvmfwXWL6Jy9eLq9Xg54Lo8o>
53. The Children's Report of Sleep Patterns (CRSP): A Self ... - PMC <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3578690/>
54. Sleepiness Scale: A self-report measure for school-aged ... <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S138994571200010X>
55. The Children's Report of Sleep Patterns – Sleepiness Scale https://www.researchgate.net/publication/221825283_The_Children's_Report_of_Sleep_Patterns_-_Sleepiness_Scale_A_Self-Report_Measure_for_School-Aged_Children
56. Child vs Parent Sleep Reports Validity | PDF <https://www.scribd.com/document/889981598/2019-Mother-Knows-Best>
57. Light exposure behaviors predict mood, memory and sleep ... <https://www.nature.com/articles/s41598-023-39636-y>
58. Associations Between Habitual Light Exposure-Related ... <https://www.biorxiv.org/content/10.64898/2026.01.02.697416.full>
59. Is snoozing losing? Why intermittent morning alarms are ... <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jsr.14054>
60. Sleepiness is a signal to go to bed: data and model simulations <https://academic.oup.com/sleep/article/44/10/zsab123/6276242>
61. The CLASS Study (Circadian Light in Adolescence, Sleep ... <https://bmjopen.bmj.com/content/12/5/e055716>

62. A review of the environmental parameters necessary for an ... <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132318300325>
63. Building and Environment - Fatigue Managers Network https://fatiguemanagersnetwork.org/wp-content/uploads/Caddick-et-al.2018_Review-of-the-Environmental-Parameters-Necessary-for-an-Optimal-Sleep-Environment.pdf
64. How weather conditions affect well-being: an explanation ... <https://www.frontiersin.org/journals/public-health/articles/10.3389/fpubh.2025.1553315/full>
65. The impacts of ambient relative humidity and temperature on ... <https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/7pbRJ3ol/>
66. Clinical Handbook of Behavioral Sleep Treatment in ... <https://dokumen.pub/clinical-handbook-of-behavioral-sleep-treatment-in-children-on-the-autism-spectrum-3030991334-9783030991333.html>
67. Life Time: Your Body Clock and Its Essential Roles in Good ... <https://dokumen.pub/life-time-your-body-clock-and-its-essential-roles-in-good-health-and-sleep-9780300268584.html>
68. Taming Your Amygdala: Brain-Based Strategies to Quiet ... <https://dokumen.pub/taming-your-amygdala-brain-based-strategies-to-quiet-the-anxious-mind-9781683735083-9781683735090-1683735080.html>
69. The Human Factor in a Mission to Mars <https://dokumen.pub/the-human-factor-in-a-mission-to-mars-an-interdisciplinary-approach-1st-ed-978-3-030-02058-3978-3-030-02059-0.html>
70. Plum and Posner's Diagnosis of Stupor and Coma [4] <https://dokumen.pub/plum-and-posners-diagnosis-of-stupor-and-coma-4nbsped-0195321316-9780195321319-9781429491747.html>
71. Why We Sleep: Unlocking the Power of Sleep and Dreams <https://dokumen.pub/download/why-we-sleep-unlocking-the-power-of-sleep-and-dreams-9781501144318-9781501144332.html>
72. Natural light control to improve awakening quality <https://omu.repo.nii.ac.jp/record/2002887/files/2025000108.pdf>
73. Exploration of Campus Environmental Health Issues and ... <https://www.mdpi.com/2075-5309/13/10/2544>
74. Current Insights into Optimal Lighting for Promoting Sleep ... <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.2147/NSS.S251712>
75. The role of sleep in prospective associations between parent ... <https://acamh.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/camh.12665>
76. Substituting Book Reading for Screen Time Benefits ... - PMC <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10961022/>

77. A randomized controlled trial on the effects of blue-blocking ... <https://journals.plos.org/plosone/article/file?type=printable&id=10.1371/journal.pone.0262799>
78. The Journal of Pediatric Research <https://jpedres.org/pdf/7a593d95-86ec-4d2b-8dd3-26b0d0b79ea4/issues/2019-006-004.pdf>
79. A serial mediation model of social media addiction and ... <https://www.researchsquare.com/article/rs-2536180/latest.pdf>
80. ABSTRACT BOOK | World Sleep Society https://worldsleepsociety.org/wp-content/uploads/2016/07/Worldsleep_2015_-_Online_Abstract_Book.pdf
81. Sleep Apnea & Snoring Dubai: Treatment & Cost (2026) <https://doctorsclinicdubai.ae/blog/sleep-apnea-snoring-dubai>
82. Sleep Assessments In Healthy School-Aged Children ... <https://core.ac.uk/download/pdf/77934727.pdf>
83. Actigraphy in sleep research with infants and young children <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8244022/>
84. Objective and Subjective Assessments of Sleep in Children <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32587532/>
85. Effect of Electronic Device Addiction on Sleep Quality and Academic ... <https://mededu.jmir.org/2021/4/e25662/>
86. Thermoregulation in Sleep Disorders—Comprehensive Review <https://www.mdpi.com/2077-0383/15/8/2929>
87. The impact of smartphones pre-bedtime on sleep quality <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1420326X251392075>
88. Association of short-term ozone and temperature with ... https://www.researchgate.net/publication/279966485_Association_of_short-term_ozone_and_temperature_with_sleep_disordered_breathing
89. I24 Handbook Reference Committee K <https://www.ama-assn.org/system/files/I24-handbook-refcomm-k.pdf>
90. 1. Most people sleep in bedrooms without night ventilation ... <https://www.facebook.com/61584817920214/posts/1-most-people-sleep-in-bedrooms-without-night-ventilation-and-co%E2%82%82-levels-rise-34/122111864103160597/>
91. Photometric and colorimetric testing of colour-tunable LED ... https://www.academia.edu/85108859/Photometric_and_colorimetric_testing_of_colour_tunable_LED_lighting_products
92. An Evidence-Based Guide Jennifer A. Accardo Editor <https://annahallen.se/wp-content/uploads/2025/01/Sleep-in-ADHD-Children-2019.pdf>
93. PROCEEDINGS http://www.sdr.si/pdf/le2017_proceedings.pdf

94. Clinician - S Guide To Sleep Disorders (Watson - Vaughn ... <https://www.scribd.com/document/409326327/Clinician-s-Guide-to-Sleep-Disorders-Watson-Vaughn-2006-pdf>
95. Sleep and Autism: Current Research, Clinical Assessment ... <https://psychiatryonline.org/doi/10.1176/appi.focus.20230028>
96. Sleep Hacking https://www.lifeextension.com/protocols/lifestyle-longevity/sleep-hacking?srsltid=AfmBOor50H5tyQcq6ch4cIy_CglCKcIcC_9MqW6wU8auoVwOIWldWmx9
97. Sleep in Space Environment | Springer Nature Link https://link.springer.com/rwe/10.1007/978-3-319-50909-9_33-1
98. Sleep Hacking <https://www.lifeextension.com/protocols/lifestyle-longevity/sleep-hacking?srsltid=AfmBOorJjRibxqUZKzfZ5r7uwUr0ZUZp75G8r7oUKKQYFFF24RTwImRr>
99. Essays in Wellbeing, Health and Human Capital ... <https://iris.unibocconi.it/retrieve/8f46650a-61c0-44d1-8e1d-c55a2321579f/thesis%20varghese%20nov%2023.pdf>
100. The Self-Management of Fatigue in Train Drivers | Sure Network <https://sure-network.ie/wp-content/uploads/2022/10/The-Self-Management-of-Fatigue-in-Train-Drivers.pdf>
101. Towards enabling accurate measurements of CO2 exposure ... https://backend.orbit.dtu.dk/ws/files/271467626/Accepted_Manuscript.pdf
102. Sleep Hacking https://www.lifeextension.com/protocols/lifestyle-longevity/sleep-hacking?srsltid=AfmBOopj6DII3NFtHNFPeSURoiL9kP2ayXaclTp_HiZdrJx1LBVWPTgt
103. Proper CO2 Sensor Location - Where To Mount Your NDIR Sensor <https://atlas-scientific.com/blog/co2-sensor-location/?srsltid=AfmBOopB97Q0RbUXAArCwSWikanE0RcbYkUqsEtRmuoPkEx49ks-kfNY>
104. Installing a CO2 sensor in your home: why and how to do it effectively https://eoleaf.com/pages/installing-a-co2-sensor-in-your-home-why-and-how-to-do-it-effectively?srsltid=AfmBOoqaQ34vVYNQO8Tlklow_XF3pJhZ93XpUHxHN1QRgFcR_UWd3Gh8
105. Where to Put CO₂ Sensors? - Ollie - Webflow HTML Website Template <https://www.airtest.com/post/where-to-put-co2-sensors>
106. Study affirms self-reported sleep duration as a useful ... <https://www.eurekalert.org/news-releases/627931>
107. Doctors <https://neurologysleep.com.sg/learn-more/doctors/>
108. Daylighting and lighting https://arqforsk.se/wp-content/uploads/2025/02/Daylighting_and_lighting_book_second_edition_comp.pdf
109. (PDF) Objective sleep assessments for healthy people in ... <https://www.researchgate.net/publication/>

360318447_Objective_sleep_assessments_for_healthy_people_in_environmental_research_A_literature_review

110. Health Intelligence Insights, Hussain Sharifi <https://hussainsharifi.com/insights>
111. The Role of Sleep Patterns from Childhood to Adolescence ... <https://www.mdpi.com/1660-4601/19/21/14432>
112. Activity Breaks for Brain Health in adolescents: study protocol ... <https://link.springer.com/article/10.1186/s13063-021-05972-5>
113. Auditory deep sleep stimulation in older adults at home <https://www.nature.com/articles/s43856-022-00096-6>
114. The Relative Accuracy of Different Methods for Measuring ... <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12373717/>
115. Abstract Export - World Sleep Society https://worldsleepsociety.org/wp-content/uploads/2023/12/WS2023_by_topic_title.pdf
116. Late-Breaking Abstract - Orals (CME) LBA 1578 Brain ... <https://www.sleepmeeting.org/wp-content/uploads/2025/05/sleep-2025-late-breaking-abstracts.pdf>
117. Cognitive Behavioural Therapy and Light Dark ... <https://www.frontiersin.org/journals/global-womens-health/articles/10.3389/fgwh.2020.591677/pdf>
118. School-Based Physical Activity, Cognitive Performance ... <https://www.mdpi.com/2227-9067/12/10/1324>
119. Human Performance and Fatigue Research for Controllers <https://skybrary.aero/sites/default/files/bookshelf/3164.pdf>
120. Sleep Hacking <https://www.lifeextension.com/protocols/lifestyle-longevity/sleep-hacking?srsId=AfmBOoqVaSJK8Qsr6cIgYZjb9UFzHCQJp5XzvN9IYFnlGw1U1FTjyIpk>
121. Blog | A3 Health <http://a3h.co/articles>
122. Clinical Practice Guidelines for the Management of ... https://portal.guiasalud.es/wp-content/uploads/2018/12/GPC_465_Insomnia_Lain_Entr_compl_en_proteg.pdf
123. Lattova Endocrine and metabolic aspects of various sleep ... <https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/58157/140029462.pdf?sequence=1&isAllowed=y>