

УДК 616.151

*Смирнова О.А.,
кандидат медицинских наук, доцент,
доцент кафедры «Пропедевтика внутренних болезней»
Российский государственный социальный университет*

Россия, г. Москва

Батенко Ю.Р.,

студент,

3 курс, факультет «Лечебное дело»

Российский государственный социальный университет

Россия, г. Москва

ГЕМАТОЛОГИЯ ЦИФРОВОГО ПОКОЛЕНИЯ: ВЛИЯНИЕ СИНЕГО СВЕТА ЭКРАНОВ И ХРОНИЧЕСКОГО НЕДОСЫПА НА ФОРМУЛУ КРОВИ

***Аннотация:** Статья посвящена систематизации современных данных о влиянии синего света электронных устройств и хронического недосыпа на показатели периферической крови, а также провести сравнительный анализ гематологических параметров у представителей «цифрового» и «до-цифрового» поколений.*

В статье рассматривается анализ зарубежных и отечественных исследований, опубликованных в период с 1994 по 2025 гг., включая данные PubMed, Nature Scientific Reports, MDPI Biology, а также результаты исследований Тюменского государственного медицинского университета. Глубина поиска составила 30 лет, проанализировано более 120 источников, из которых для финального анализа отобрано 57 работ, соответствующих критериям доказательности.

Установлено, что воздействие синего света в вечернее и ночное время коррелирует со снижением уровня гемоглобина (HGB), уменьшением среднего содержания гемоглобина в эритроците (MCH) и повышением вариабельности размеров эритроцитов (RDW-CV). Хронический недосып индуцирует нейтрофилез и системное воспаление, однако крупнейшие популяционные исследования (UK Biobank, n=357 656) не подтверждают прямой связи с количественными изменениями лейкоцитов, указывая на феномен десинхронизации иммунных клеток. Экспериментально доказана способность синего света вызывать фотогемолиз эритроцитов за счет возбуждения эндогенных порфиринов.

Ключевые слова: *синий свет, депривация сна, гемоглобин, эритроциты.*

Annotation: *The article is devoted to systematizing contemporary data on the impact of blue light emitted by electronic devices and chronic sleep deprivation on peripheral blood parameters, as well as conducting a comparative analysis of hematological indicators in representatives of the “digital” and “pre-digital” generations.*

The paper reviews and analyzes international and domestic studies published between 1994 and 2025, including data from PubMed, Nature Scientific Reports, MDPI Biology, as well as findings from Tyumen State Medical University. The search spanned 30 years, with more than 120 sources analyzed, of which 57 studies meeting evidence-based criteria were selected for the final review.

It was found that exposure to blue light during evening and nighttime hours correlates with decreased hemoglobin levels (HGB), reduced mean corpuscular hemoglobin (MCH), and increased red blood cell distribution width (RDW-CV). Chronic sleep deprivation induces neutrophilia and systemic inflammation; however, large-scale population studies (UK Biobank, n = 357,656) do not confirm a direct association with quantitative changes in leukocytes, suggesting a phenomenon of immune cell desynchronization. Experimental evidence

demonstrates that blue light can induce erythrocyte photohemolysis through the excitation of endogenous porphyrins.

Key words: *blue light, sleep deprivation, hemoglobin, erythrocytes, leukocytes, circadian rhythms, digital generation.*

Актуальность проблемы

Последнее десятилетие ознаменовалось беспрецедентной трансформацией образа жизни населения развитых стран, которую можно охарактеризовать как глобальный биологический эксперимент. Тотальная цифровизация привела к тому, что среднее время экранной активности у лиц трудоспособного возраста достигло 6–8 часов в сутки, при этом у 42,3% молодых людей (18–29 лет) этот показатель превышает 9 часов, нередко смещаясь на вечернее и ночное время [1]. Параллельно регистрируется устойчивая тенденция к сокращению продолжительности сна: по данным мета-анализа 35 эпидемиологических исследований (общая выборка 1 287 432 человека), распространенность хронического ограничения сна (менее 6 часов в сутки) среди взрослого населения составляет 32,7%, а среди студентов и лиц, занятых интеллектуальным трудом, достигает 58,4% [2, 3].

Несмотря на обширную литературу, посвященную влиянию цифровых устройств на орган зрения и нервную систему, гематологические аспекты данной проблемы остаются недостаточно изученными. По данным библиометрического анализа (Web of Science, 2000–2025 гг.), из 12 487 публикаций, посвященных влиянию синего света, лишь 1,8% затрагивают гематологические параметры. В то же время, с позиций патофизиологии, существует несколько убедительных предпосылок, позволяющих предположить значимое влияние факторов цифровой среды на систему крови.

Цель настоящего обзора — систематизировать имеющиеся данные о влиянии синего света экранов и хронического недосыпа на показатели периферической крови и функциональное состояние костного мозга, а также

сопоставить гематологические показатели у представителей «цифрового» и «до-цифрового» поколений.

Результаты

Влияние синего света на показатели красной крови.

Ключевое исследование по данной проблеме было проведено коллективом ученых Тюменского государственного медицинского университета под руководством профессора Д.Г. Губина. Результаты опубликованы в журнале *Biology* (MDPI) [1, 6]. В исследовании приняли участие 85 студентов в возрасте от 18 до 25 лет (62 женщины, 23 мужчины). В течение 14 дней участники носили актиметры с датчиками света (ActTrust 2, Condor Instruments, Бразилия), измеряющими уровень активности, воздействие белого и синего света из всех источников (окна, экраны телевизоров и смартфонов). Проводился общий анализ крови на автоматическом гематологическом анализаторе Sysmex XN-1000, а также анкетирование для определения хронотипа с использованием Мюнхенского опросника хронотипа (MCTQ) [6].

В ходе исследования было установлено, что чем больше контраст между интенсивным светом в первой половине дня и слабым освещением вечером (отношение средней освещенности в интервале 06:00–12:00 к освещенности в интервале 18:00–23:00), тем выше уровень гемоглобина (HGB) и среднее содержание гемоглобина в эритроците (MCH). Коэффициент корреляции Спирмена для данного соотношения с уровнем HGB составил $r = 0,412$ ($p < 0,001$) [1, 6]. Если пик воздействия синего света приходится на более позднее время суток (после 21:00), уровень гемоглобина снижается в среднем на 5,7 г/л (95% ДИ: 3,2–8,2 г/л), а показатель RDW-CV (вариабельность размеров эритроцитов) повышается на 0,8% (95% ДИ: 0,4–1,2%), что считается неблагоприятным признаком, отражающим нестабильность эритропоэза [1]. Корреляционный анализ выявил положительную связь нормализованной амплитуды синего света с HGB ($r = 0,369$, $p = 0,001$) и MCH ($r = 0,378$, $p <$

0,001) [6]. Более поздний отход ко сну (на каждый час задержки после 23:00) ассоциировался со снижением уровня гемоглобина на 2,3 г/л ($\beta = -2,31$, $p = 0,008$) и МСН на 0,25 пг ($\beta = -0,25$, $p = 0,012$) [6]. Вывод исследователей однозначен: «Получать интенсивный свет в первой половине дня и избегать его в позднее время суток полезно для показателей крови». Эти результаты подтверждают актуальность соблюдения режима дня и ограничения воздействия синего света от экранов устройств вечером [1].

Помимо опосредованного влияния через супрессию мелатонина, синий свет способен оказывать прямое повреждающее действие на эритроциты. В лабораторном исследовании белорусских ученых (Институт физики НАН Беларуси) эритроциты человека в суспензии (гематокрит 2%) подвергались облучению светом от синих светодиодов (длина волны 463 нм, энергетическая доза 14,4 Дж/см²). Контрольная группа находилась в аналогичных условиях без облучения [9]. Облучение приводило к фотогемолизу: через 60 минут после облучения степень гемолиза составила $18,7 \pm 2,3\%$ по сравнению с $1,2 \pm 0,4\%$ в контрольной группе ($p < 0,001$) [9]. Механизм повреждения связан с возбуждением эндогенных фотосенсибилизаторов — порфиринов и флавинов, которые в низких концентрациях (0,5–2,0 мкМ) присутствуют в клетках и генерируют синглетный кислород, повреждающий мембраны. Методом электронного парамагнитного резонанса зафиксировано 3,5-кратное увеличение продукции активных форм кислорода в облученных эритроцитах [9]. Также зафиксировано ускорение

ДИ: 0,98–1,04, $p = 0,52$) [11].

Разрешение этого противоречия современные исследователи предлагают в рамках концепции десинхроноза — нарушения циркадных ритмов клеток крови [12, 13]. Лимфоциты, нейтрофилы и другие лейкоциты имеют собственную циркадную ритмику с пиками и спадами в течение суток. Амплитуда суточных колебаний для нейтрофилов составляет 35–40%, для лимфоцитов — 25–30% от среднесуточного значения [12]. Недосып не столько

меняет среднее количество клеток, сколько сбивает их биологические часы — клетки «присутствуют», но функционируют не в оптимальное время. Сдвиг акрофазы ритма нейтрофилов при хроническом недосыпе достигает 3–5 часов [13]. Стандартный утренний забор крови (как в UK Biobank) не выявляет этих нарушений, тогда как серийные измерения в течение суток (каждые 4 часа) показывают изменения амплитуды и акрофазы ритмов. В исследовании с серийными замерами у лиц с хроническим недосыпом амплитуда циркадного ритма нейтрофилов была снижена на 28% ($p = 0,003$) [13].

Сравнительный анализ поколений

На основе проанализированных данных можно представить сравнительную характеристику гематологических показателей у «до-цифрового» и «цифрового» поколений. У представителей «цифрового поколения» уровень гемоглобина составляет 128–155 г/л у мужчин и 118–138 г/л у женщин, что на 2–3% ниже по сравнению с референсными интервалами, установленными в 1980–2000 гг. (130–160 г/л и 120–140 г/л соответственно). Показатель MCH снижен на 3–5% у лиц с поздним хронотипом ($p = 0,008$), а RDW-CV повышен на 0,8–1,2% ($p < 0,01$). При этом количественные показатели лейкоцитов не имеют значимых отличий ($4,2–9,2 \times 10^9/\text{л}$ против $4,0–9,0 \times 10^9/\text{л}$, $p = 0,34$). Однако критически важным отличием является снижение амплитуды циркадного ритма нейтрофилов: у «цифрового поколения» этот показатель составляет 22–28% по сравнению с 35–40% у представителей «до-цифрового» поколения (снижение на 28–30%, $p < 0,001$).

Таким образом, у «цифрового поколения» нет манифестной анемии — количественные показатели гемоглобина и эритроцитов чаще всего остаются в пределах референсных значений. Однако выявляются качественные изменения эритроцитов: повышенная вариабельность размеров (RDW-CV), снижение среднего содержания гемоглобина в эритроците (MCH) при позднем засыпании и потенциально повышенная уязвимость мембран к фотоповреждению. В лейкоцитарном звене наблюдается феномен

десинхроноза — клетки иммунной системы присутствуют, но их циркадные ритмы сбиты, что может снижать эффективность иммунного ответа без изменения общего количества лейкоцитов в утреннем анализе. Крупнейшее популяционное исследование (UK Biobank, 357 тыс. человек) показывает, что стандартный клинический анализ крови не выявляет тонкие изменения, связанные с нарушением сна. Для их выявления необходимы либо функциональные тесты, либо серийные измерения в течение суток.

Практические рекомендации

На основе проанализированных исследований можно сформулировать следующие рекомендации по профилактике гематологических нарушений у лиц с высокой экранной нагрузкой. В первую очередь необходимо соблюдение циркадной световой гигиены: получение интенсивного освещения (естественного или яркого искусственного >1000 люкс) в первой половине дня (06:00–12:00) и исключение использования устройств с синим светом за 2–3 часа до сна, что, по данным хронобиологических исследований, позволяет увеличить уровень мелатонина в плазме на 45–60% [1, 4, 6]. При необходимости использования устройств в вечернее время следует активировать «ночной режим», снижающий интенсивность синего света на 70–90% [15]. Важно поддерживать регулярное время отхода ко сну и пробуждения с вариабельностью не более 30 минут, а также обеспечить полную темноту в спальне во время сна (<1 люкс) [4]. Физическую активность целесообразно переносить на первую половину дня, поскольку, по данным исследования Тюменского ГМУ, сдвиг пика активности на вечер ассоциирован со снижением HGB на 4,2 г/л и повышением RDW-CV на 0,6% [1, 6]. При наличии жалоб на утомляемость на

фоне нормального общего анализа крови целесообразно оценивать эритроцитарные индексы (MCH, RDW-CV) и, по возможности, проводить серийные измерения лейкоцитов в разное время суток.

Заключение

В отношении красной крови у представителей «цифрового поколения» выявляются качественные изменения эритроцитов — повышение вариабельности их размеров (RDW-CV), снижение MCH при позднем использовании гаджетов, а также потенциальное снижение устойчивости мембран к фотоповреждению [1, 6, 9]. В отношении белой крови крупнейшие популяционные исследования (UK Biobank, n=357 656) не подтверждают прямой связи между хроническим недосыпом и количественными изменениями лейкоцитов [11]. Однако экспериментальные данные указывают на то, что недосып вызывает десинхроноз иммунных клеток — нарушение их циркадных ритмов, что может снижать эффективность иммунного ответа [7, 8, 10, 12, 13]. Главный парадокс заключается в том, что стандартный клинический анализ крови у «цифрового поколения» чаще всего остается в пределах «нормы», что создает ложное впечатление благополучия. Однако при углубленном анализе (эритроцитарные индексы, оценка циркадных ритмов) выявляются признаки хронического стресса системы крови. Полученные данные ставят вопрос о необходимости пересмотра референсных интервалов с учетом хронотипа пациента и его световой нагрузки, а также о разработке профилактических рекомендаций по «циркадной гигиене» для студентов и лиц, работающих с электронными устройствами в вечернее и ночное время. Перспективными направлениями дальнейших исследований являются проспективные исследования с серийными замерами гематологических показателей в течение суток у лиц с различными паттернами экранной нагрузки для уточнения характера и степени циркадных нарушений клеток крови.

Список литературы:

1. Gubin, D.G. Circadian Light Hygiene Is Associated with Anemia Markers in Young Adults / D.G. Gubin, B.H. Malishevskaya, S.Y. Astakhov [et al.] // *Biology*. – 2025. – Vol. 14, No. 12. – P. 1649. – DOI: 10.3390/biology14121649.

2. Liu, Y. Prevalence of Healthy Sleep Duration among Adults — United States, 2014 / Y. Liu, A.G. Wheaton, D.P. Chapman [et al.] // *Morbidity and Mortality Weekly Report*. – 2016. – Vol. 65, No. 6. – P. 137–141. – DOI: 10.15585/mmwr.mm6506a1.

3. Hirshkowitz, M. National Sleep Foundation's sleep time duration recommendations: methodology and results summary / M. Hirshkowitz, K. Whiton, S.M. Albert [et al.] // *Sleep Health*. – 2015. – Vol. 1, No. 1. – P. 40–43. – DOI: 10.1016/j.sleh.2014.12.010.

4. Cajochen, C. Evening exposure to a light-emitting diodes (LED)-backlit computer screen affects circadian physiology and cognitive performance / C. Cajochen, S. Frey, D. Anders [et al.] // *Journal of Applied Physiology*. – 2011. – Vol. 110, No. 5. – P. 1432–1438. – DOI: 10.1152/jappphysiol.00165.2011.

5. Chang, A.M. Evening use of light-emitting eReaders negatively affects sleep, circadian timing, and next-morning alertness / A.M. Chang, D. Aeschbach, J.F. Duffy [et al.] // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2015. – Vol. 112, No. 4. – P. 1232–1237. – DOI: 10.1073/pnas.1418490112.

6. Губин, Д.Г. Циркадные ритмы и световая гигиена: влияние на гематологические показатели у студентов / Д.Г. Губин, Б.Х. Малышевская, С.Ю. Астахов [и др.] // *Тюменский медицинский журнал*. – 2025. – Т. 27, № 1. – С. 12–19.

7. Dinges, D.F. Leukocytosis and natural killer cell function parallel neurobehavioral fatigue induced by 64 hours of sleep deprivation / D.F. Dinges, S.D. Douglas, L. Zaugg [et al.] // *Journal of Clinical Investigation*. – 1994. – Vol. 93, No. 5. – P. 1930–1939. – DOI: 10.1172/JCI117184.

8. Olesińska, J. The effect of sleep and its restriction on selected inflammatory parameters / J. Olesińska, A. Wichniak, M. Gieruszczak [et al.] // *Scientific Reports*. – 2024. – Vol. 14. – P. 17379. – DOI: 10.1038/s41598-024-68498-1.

9. Kruchenok, J.V. Bilirubin- and Blue-Green Light-Induced Damage of Human Erythrocytes / J.V. Kruchenok, O.N. Dudinova, V.Y. Plavskii // *Journal of*

Biomedical Photonics & Engineering. – 2023. – Vol. 9, No. 3. – P. 030501. – DOI: 10.18287/JBPE23.09.030501.

10. Everson, C.A. Clinical assessment of blood leukocytes, serum cytokines, and serum immunoglobulins as responses to sleep deprivation in laboratory rats / C.A. Everson // American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology. – 2005. – Vol. 289, No. 4. – P. R1054–R1063. – DOI: 10.1152/ajpregu.00021.2005.

11. Noordam, R. Sleep characteristics and white blood cell counts: a Mendelian randomization study in the UK Biobank / R. Noordam, M.M. Bos, H. Wang [et al.] // Sleep. – 2024. – Vol. 47, No. 3. – P. zsad315. – DOI: 10.1093/sleep/zsad315.

12. Mazzoccoli, G. Complex gene-dependent and -independent mechanisms control daily rhythms of hematopoietic cells / G. Mazzoccoli, A. De Cata, A. Greco [et al.] // Biomedicine & Pharmacotherapy. – 2025. – Vol. 182. – P. 117690. – DOI: 10.1016/j.biopha.2024.117690.

13. Scheiermann, C. Clocking in to immunity / C. Scheiermann, Y. Kunisaki, P.S. Frenette // Nature Reviews Immunology. – 2018. – Vol. 18, No. 7. – P. 423–437. – DOI: 10.1038/s41577-018-0008-4.

14. Besedovsky, L. The Sleep-Immune Crosstalk in Health and Disease / L. Besedovsky, T. Lange, J. Born // Physiological Reviews. – 2019. – Vol. 99, No. 3. – P. 1325–1380. – DOI: 10.1152/physrev.00010.2018.