5. Савченко М.І. Гімнастика та методика її викладання : навч.-метод. посіб. Херсон, 2005. 200 с.

6.Теорія і методика фізичного виховання : підруч. для студ. вищ. навч. закл. фіз. виховання і спорту : у 2 т. / Т.Ю. Круцевич та ін., 2-ге вид., переробл. та доп. Національний університет фізичного виховання і спорту України, вид-во «Олімп. л-ра», Київ, 2019. Т. 1. Загальні основи теорії і методики фізичного виховання. 392 с.

7. Хіміч В.Л., Квасниця І.М., Квасниця О.М. Теорія і практика гімнастики: метод. рекоменд. до практ. занять для здобув. першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 017 «Фізична культура і спорт» Хмельницький : ХНУ, 2025. 68 с.

8. Худолій О.М. Основи методики викладання гімнастики : навч. посіб. у 2-х томах. 4-е вид., випр. і доп. Харків : «ОВС», 2008. Т. 1. 408 с.

References

1.Balashov D.I., Bermudes D.V. (2022) Ghrafichna terminologhija rukhiv ta vykhidnykh polozhenj : metod.rozrob. dlja samost.pidgh. do prakt. zan. [Graphical terminology of movements and starting positions]. Sumy: SumDPU imeni A. S. Makarenka. (in Ukrainian)

2.Kovaljchuk N.M., Ghnitecjka T.V., Tomashhuk O.Gh. (2023) Znachennja ghimnastychnoji terminologhiji ta neobkhidnistj jiji unifikaciji. [The importance of gymnastic terminology and the need for its unification] Naukovyi chasopys Natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni M.P. Drahomanova. Seriia №15. Naukovo-pedahohichni problemy fizychnoi kultury (fizychna kultura i sport) :zb. Naukovykh prats / Za red. O.V. Tymoshenka. Kyiv: Vydavnytstvo NPU imeni M.P. Drahomanova. Vol. 3K (162) 23. p.p. 192-197. (in Ukrainian)

3.Liashchuk R.P., Ohnystyi A.V. (2000) Himnastyka : navch. posib. [Gymnastics](u dvokh chastynakh). Ch. 1. Ternopil : TDPU. (in Ukrainian)

4.Papusha V.Gh. (2004) Metodyka fizychnogho vykhovannja shkoljariv : formy, zmist, orghanizacija : navch. posib. [Methods of physical education of schoolchildren: forms, content, organization]. Ternopilj: Pidruchnyky i posibnyky. (in Ukrainian)

5.Savchenko M.I. (2005) Ghimnastyka ta metodyka jiji vykladannja : navch.-metod. posib. [Gymnastics and its teaching methods]. Kherson. (in Ukrainian)

6.Krucevych T.Ju. ta in. (2019) Teorija i metodyka fizychnogho vykhovannja : pidruch. dlja stud. vyshh. navch. zakl. fiz. vykhovannja i sportu : u 2 T. 2-ghe vyd., pererobl. ta dop. [Theory and methods of physical education]. Nacionaljnyj universytet fizychnogho vykhovannja i sportu Ukrajiny, vyd-vo «Olimp. l-ra», Kyjiv. T. 1. Zaghaljni osnovy teoriji i metodyky fizychnogho vykhovannja. (in Ukrainian)

7.Khimich V.L., Kvasnycja I. M., Kvasnycja O. M. (2025) Teorija i praktyka ghimnastyky: metod. rekomend. do prakt. zanjatj dlja zdobuv.pershogho (bakalavrsjkogho) rivnja vyshhoji osvity specialjnosti 017 «Fizychna kuljtura i sport» [Theory and practice of gymnastics] Khmeljnycjkyj: KhNU. (in Ukrainian)

8.Khudolij O.M. (2008) Osnovy metodyky vykladannja ghimnastyky : navch. posib. u 2-kh tomakh. 4-e vyd., vypr. i dop. [Basics of the method of teaching gymnastics]. Kharkiv : «OVS». (in Ukrainian)

DOI: https://doi.org/10.31392/UDU-nc.series15.2025.03к(188).68

Стельмахівська В.П.,
ORCID iD:https://orcid.org/ 0000-0002-0142-9402
к.мед.н., доцент кафедри здоровязбережувальної освіти та фізичної рекреації,
Український державний університет імені Михайла Драгоманова
Берзінь О.В.,
ORCID iD:https://orcid.org/0000-0003-2367-7834
старший лаборант Національний медичний університет імені О.О. Богомольця,

ПОРУШЕННЯ СНУ ТА РУХОВОЇ АКТИВНОСТІ ЯК ЧИННИКИ ВПЛИВУ НА ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ СТАН ОРГАНІЗМУ ТА РИЗИК КАРДІОМЕТАБОЛІЧНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ

*Сон та рухова активність як чинники способу життя мають важливе значення для забезпечення процесів життєдіяльності організму. Разом з тим, для них характерна часова залежність, яка має свої особливості у різні вікові періоди. Важливим є також те, що за даними Американської кардіологічної асоціації сон, як і раніше рухова активність, насьогодні включено до 8 основних чинників ризику серцево-судинного ризику. Розлади сну пов'язують з підвищенням ризику серцево-судинних захворювань та несприятливих наслідків при них. Сон та рухова активність взаємопов'язані між собою, зокрема, і через циркадні ритми. Важливою складовою розуміння взаємозв'язку між сном та фізичною активністю є визначення потенційних шляхів та механізмів, які пов'язують їх з кардіометаболічним ризиком. **Висновок**. Отже, врахування порушень сну та рухової активності, чинників, які зумовлюють ці зміни, є важливою складовою діяльності, спрямованої на збереження здоров'я. Важливе значення має також подальше вивчення їх механізмів дії та прогностичного значення у попередженні негативних змін стану здоров'я та зменшенні ризику розвитку і прогресування кардіометаболічної патології.*

Ключові слова*: *сон, фізична активність, спосіб життя, циркадні ритми, кардіометаболічний ризик.

Stelmakhivska V., Berzin O. Sleep and movement disorders as factors of influence on the functional state of the organism and the risk of cardiometabolic diseases. *Sleep and physical activity as lifestyle factors are important for ensuring the body's vital processes. At the same time, they are characterized by a time dependence, which has its own characteristics in different*

age periods. It is also important that according to the American Heart Association, sleep, like physical activity, is now included in the 8 main risk factors for cardiovascular risk. Sleep disorders are associated with an increased risk of cardiovascular disease and its adverse consequences. Sleep and motor activity are interconnected, in particular through circadian rhythms. An important component of understanding the relationship between sleep and physical activity is identifying potential pathways and mechanisms that link them to cardiometabolic risk. ***Conclusion:*** *An important component of activities aimed at preserving health is taking into account sleep and motor activity disorders, the factors that cause these changes. Further study of their mechanisms of action and prognostic significance in preventing negative changes in health status and reducing the risk of developing and progressing cardiometabolic pathology is also important.*

Keyword: *sleep, physical activity, lifestyle, circadian rhythms, cardiometabolic risk.*

Сон та рухова активність належать до фізіологічних потреб організму людини, важливих для його росту, розвитку, підтримання необхідного стану здоров'я та життєдіяльності. Дотримання відповідних вимог до них з урахуванням віку, статі є складовими здорового способу життя, забезпечення нормального психічного та фізичного функціонування організму.

Необхідна тривалість сну зменшується з віком і складає для підлітків у віці 12-18 років 9-10 годин, а для дорослих як оптимальна розглядається тривалість сну 7 годин (хоча чіткі дані на сьогодні відсутні) [1].

Останнім часом збільшується кількість людей різного віку, у яких зменшення тривалості сну пов'язане з більш пізнім відходом до сну та раннім підйомом, зумовленим, зокрема, навчальною та трудовою діяльністю, психосоціальними стресами, порушеннями сну [2-3].

Разом з тим, зміни якості та тривалості сну, недостатня рухова активність можуть бути факторами ризику порушень функціонального стану організму, стану здоров'я та розвитку та прогресування хронічної неінфекційної патології.

Зокрема, сон як один з 8 важливих чинників ризику серцево-судинних захворювань, поряд з фізичною активністю, визнано Американською кардіологічною асоціацією [4].

Методи дослідження. Аналіз особливостей порушень сну та фізичної активності як чинників впливу на функціональний стан організму та ризик кардіометаболічних захворювань.

Сон та рухова активність мають важливе значення для росту, розвитку організму, впливають на його функціональний стан та стан здоров'я.

Одним із аспектів, який пов'язує сон і рухову активність, є вплив на працездатність людей різного віку, зокрема, і на процеси її відновлення [5]. Важлива роль належить тривалості сну у когнітивному розвитку дітей [6].

Під час сну змінюється секреція гормону росту, що впливає на процеси росту і розвитку дітей, які є надзвичайно важливими як у цій віковій групі, так і для майбутнього [7].

При цьому необхідно враховувати об'єктивні та суб'єктивні чинники, що впливають на сон та рухову активність у різних вікових групах і зміни, які вони зумовлюють.

Підлітковий вік характеризується збільшенням частоти порушень сну та зменшення фізичної активності [8-9].

У дорослих працездатного віку на стиль життя, зокрема, і на сон та фізичну активність значний вплив мають соціально-економічні чинники [10-11].

Люди похилого віку мають проблеми у дотриманні вимог щодо сну та рухової активності, які часто пов'язані з порушеннями у стані здоров'я, зокрема, з наявністю хронічних захворювань [12].

Необхідно також враховувати, що серед інших умов важливе значення для дотримання вимог щодо сну та рухової активності мають соціально-економічні чинники, наявність доступу до місць для занять руховою активністю та умов для забезпечення якісного сну, зважаючи на зростаюче шумове/ світлове забруднення навколишнього середовища [2-3].

Сон та рухова активність – дві складові способу життя, які взаємопов'язані між собою. Тривалість та якість сну впливають на рівень фізичної активності. Обмеження у сні (короткотривалий, недостатньої якості сон) позначаються на рівні фізичної активності, можуть впливати на процеси відновлення після фізичного навантаження, впливають також на зменшення щоденної фізичної активності. Крім того, недостатня тривалість сну може супроводжуватися зменшенням мотивації до фізичної активності [10,13].

В свою чергу, фізична активність у повсякденній діяльності, аеробна фізична активність, фізичні вправи позитивно позначаються на якості та тривалості сну. Фізична активність впливає на циркадні ритми, що також пов'язують з впливом на сон. Ще одним аспектом є анксіолітична дія фізичної активності, що також зумовлює позитивні зміни у якості та тривалості сну [14].

У своїх рекомендаціях Центр з контролю та профілактики захворювань у США (CDC) рекомендує з метою покращення сну збільшення фізичної активності [15].

На якість та тривалість сну впливають чинники навколишнього середовища, психосоціальні чинники.

Порушення якості сну може бути пов'язане як із соматичними захворюваннями, так і власне розладами сну як психопатологічними станами.

До соматичних захворювань, при яких збільшується ймовірність порушень сну, відносять, зокрема, гастроезофагеальну рефлюксну хворобу, онкологічні захворювання, захворювання опорно-рухового апарату з виникненням больового синдрому, бронхіальну астму, хронічну хворобу нирок [16].

Разом з тим, з порушеннями тривалості сну пов'язують збільшення ризику як загальної смертності, так і ризику серцево-судинних захворювань, цукрового діабету 2-го типу, дисліпідемії та ожиріння у дорослих і підлітків [17].

Серед ендогенних чинників, які впливають на якість сну, зокрема, виокремлюють роль мелатоніну – гормону, який виробляється епіфізом. Він впливає на функціонування різних систем організму як регулятор циркадних ритмів. З провідною роллю у регуляції циркадних ритмів пов'язують вплив цього гормону на якість та індукцію сну [18]. З порушеннями його синтезу пов'язують розлади сну при хронічній патології, пов'язані із зміною часових поясів, змінною роботою.

Зміни циклу сон-неспання впливають на основний обмін, харчову поведінку, фізичну активність, що може приводити до метаболічних порушень. Одним з механізмів, які пов'язують порушення сну та метаболізму є взаємозв'язок циклу сон-неспання з циркадними ритмами секреції гормонів, що регулюють апетит [19].

Недостатній сон пов'язаний з негативними кардіометаболічними наслідками. Існує зв'язок між порушеннями тривалості та якості сну і метаболічним синдромом (високий артеріальний тиск, підвищений рівень тригліцеридів і глюкози крові, збільшена окружність талії, низькі рівні ліпопротеїдів високої щільності) [20]. Метаболічний синдром у свою чергу пов'язаний із збільшенням ризику серцево-судинних захворювань, інсульту, інфаркту міокарда та смертності від усіх причин.

До основних шляхів, які пов'язують коротку тривалість сну та кардіометаболічні наслідки відносять ендотеліальну дисфункцію, окислювальний стрес та запальні процеси [21].

Розлади сну призводять до ендотеліальної дисфункції, зокрема, порушення ендотелійзалежної вазодилатації. В патогенезі цих змін, серед інших чинників, провідна роль належить симпатичній активації та зниженню біодоступності оксиду азоту.

Ще одним з можливих шляхів, які пов'язують порушення сну з кардіометаболічними захворюваннями є вплив на окислювальний стрес та ініціація каскаду прозапальних реакцій. Зокрема, одним з пояснень є те, що сон пов'язаний з видаленням активних форм кисню, що сприяє захисту від окислювального пошкодження [22]. І відповідно депривація сну приводить до їх накопичення та посилення клітинних реакцій.

Існує зв'язок між обмеженням сну та шляхами активації запальних процесів. При цьому спостерігається експресія прозапальних генів, зміна рівня циркуляції медіаторів запалення, пов'язаних із серцево-судинними захворюваннями [22-23].

Механізми впливу сну короткої та надмірної тривалості відрізняються, про що свідчить, зокрема, U-подібна форма кривої ймовірності розвитку несприятливих наслідків [24].

Природні клітини-кілери (NK), інтерлейкін (IL), фактор некрозу пухлини (TNF), С-реактивний білок (CRP), молекула міжклітинної адгезії (ICAM), молекула адгезії судинних клітин (VCAM), кортиколіберин (CRH), адренокортикотропний гормон (АКТН).

Порушення сну можуть впливати на артеріальний тиск та його добовий профіль. Серед механізмів, які зумовлюють вказані зміни, приділяють перш за все увагу змінам циркадіанної ритмічності артеріального тиску та підвищенню активації симпатичної нервової системи [19].

Можливий взаємозв'язок порушень сну з розвитком ішемічної хвороби серця пояснюється опосередкованою дією через такі фактори ризику серцево-судинних захворювань як порушення обміну ліпідів та вуглеводів, збільшення маси тіла, підвищення артеріального тиску [21].

Фізична активність може зменшити негативний вплив сну короткої та надмірної тривалості як чинника ризику смертності від усіх причин та серцево-судинних захворювань [25]. При цьому важливо дотримуватися рекомендованих рівнів фізичної активності (150 хв/тиждень для дорослих).

Фізичні вправи можуть впливати на регуляцію циркадних ритмів [26]. Циркадні ритми підтримуються за допомогою секреції гормона мелатоніну. Рецептори мелатоніну знаходяться у центральних і периферичних органах. На секрецію мелатоніну та регуляцію циркадних ритмів впливають світлові та несвітлові сигнали навколишнього середовища (цикли сон-неспання, час приймання їжі, рівні гормонів та фізичної активності) [18].

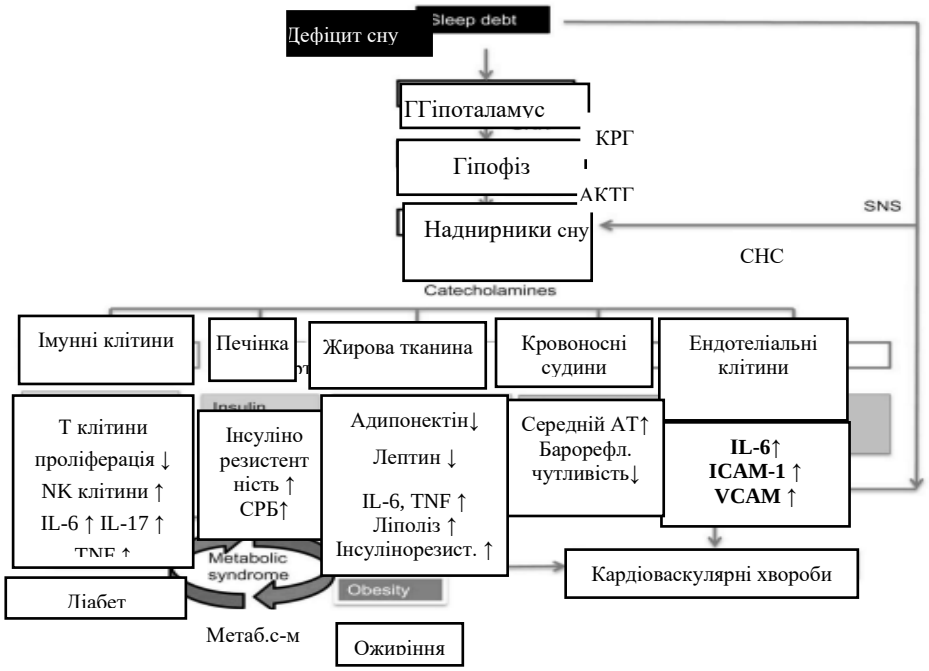


Рис. 1. Роль дефіциту сну в патофізіології кардіометаболічних захворювань [за Rangaraj VR et al., 2016][19].



Рис.2. Потенційний вплив фізичних вправ на циркадні ритми та ефекти цих взаємодій на серцево-судинні фактори ризику [за Hower IM et al.,2018] [26].

Циркадні ритми пов'язані також з роботою скелетних м'язів, які належать до системи, що впливає на розвиток людини, її хвороби. Їх синхронізація з іншими системами організму та навколишнім середовищем відбувається як через несвітлові сигнали, так і опосередковано через світлові [27]. Одним з таких сигналів є фізичні вправи. Фізичні вправи в певній мірі через циркадні ритми можуть впливати на чинники ризику серцево-судинних захворювань.

Механізми, за допомогою яких фізична активність впливає на ризик смертності при короткій та надмірній тривалості сну будуть відрізнятися [25]. Фізична активність може потенційно знижувати негативний вплив, пов'язаний з короткою тривалістю сну, шляхом впливу на кардіореспіраторну витривалість, запальні реакції та ендотеліальну дисфункцію, метаболізм глюкози [28-30]. При надмірній тривалості сну його негативна дія в певній мірі зумовлена зменшенням часу для фізичної активності. Цим зумовлена необхідність та важливість формування мотивації дотримання вимог до обох складових способу життя: рівня фізичної активності та тривалості і якості сну.

Висновок: Отже врахування порушень сну та рухової активності, чинників, які зумовлюють ці зміни, є важливою складовою діяльності, спрямованої на збереження здоров'я. Важливе значення має також подальше вивчення їх механізмів дії та прогностичного значення у попередженні негативних змін у стані здоров'я та зменшенні ризику розвитку і прогресування кардіометаболічної патології.

References

1.Paruthi, S., Brooks, L. J., D'Ambrosio, C., Hall, W. A., Kotagal, S., Lloyd, R. M., Malow, B. A., Maski, K., Nichols, C., Quan, S. F., Rosen, C. L., Troester, M. M., & Wise, M. S. (2016). Recommended Amount of Sleep for Pediatric Populations: A Consensus Statement of the American Academy of Sleep Medicine. *Journal of clinical sleep medicine : JCSM : official publication of the American Academy of Sleep Medicine*, *12*(6), 785–786. https://doi.org/10.5664/jcsm.5866

2.Papadopoulos, D., & Etindele Sosso, F. A. (2023). Socioeconomic status and sleep health: a narrative synthesis of 3 decades of empirical research. *Journal of clinical sleep medicine : JCSM : official publication of the American Academy of Sleep Medicine*, *19*(3), 605–620. https://doi.org/10.5664/jcsm.10336

3.Rawal, L. B., Smith, B. J., Quach, H., & Renzaho, A. M. N. (2020). Physical Activity among Adults with Low Socioeconomic Status Living in Industrialized Countries: A Meta-Ethnographic Approach to Understanding Socioecological Complexities. *Journal of environmental and public health*, *2020*, 4283027. https://doi.org/10.1155/2020/4283027

4.Lloyd-Jones, D. M., Allen, N. B., Anderson, C. A. M., Black, T., Brewer, L. C., Foraker, R. E., Grandner, M. A., Lavretsky, H., Perak, A. M., Sharma, G., Rosamond, W., & American Heart Association (2022). Life's Essential 8: Updating and Enhancing the American Heart Association's Construct of Cardiovascular Health: A Presidential Advisory From the American Heart Association. *Circulation*, *146*(5), e18–e43. https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000001078

5.Cunha, L. A., Costa, J. A., Marques, E. A., Brito, J., Lastella, M., & Figueiredo, P. (2023). The Impact of Sleep Interventions on Athletic Performance: A Systematic Review. *Sports medicine - open*, *9*(1), 58. https://doi.org/10.1186/s40798-023-00599-z

6.Mason, G. M., Lokhandwala, S., Riggins, T., & Spencer, R. M. C. (2021). Sleep and human cognitive development. *Sleep medicine reviews*, *57*, 101472. https://doi.org/10.1016/j.smrv.2021.101472

7.Zaffanello, M., Pietrobelli, A., Cavarzere, P., Guzzo, A., & Antoniazzi, F. (2024). Complex relationship between growth hormone and sleep in children: insights, discrepancies, and implications. *Frontiers in endocrinology*, *14*, 1332114. https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1332114

8.Wheaton, A. G., Chapman, D. P., & Croft, J. B. (2016). School Start Times, Sleep, Behavioral, Health, and Academic Outcomes: A Review of the Literature. *The Journal of school health*, *86*(5), 363–381. https://doi.org/10.1111/josh.12388

9.Cleven, L., Krell-Roesch, J., Nigg, C. R., & Woll, A. (2020). The association between physical activity with incident obesity, coronary heart disease, diabetes and hypertension in adults: a systematic review of longitudinal studies published after 2012. *BMC public health*, *20*(1), 726. https://doi.org/10.1186/s12889-020-08715-4

10. McCoy, T., Sochan, A. J., & Spaeth, A. M. (2024). The Relationship between Sleep and Physical Activity by Age, Race, and Gender. *Reviews in cardiovascular medicine*, *25*(10), 378. https://doi.org/10.31083/j.rcm2510378

11. Mochón-Benguigui, S., Carneiro-Barrera, A., Castillo, M. J., & Amaro-Gahete, F. J. (2021). Role of physical activity and fitness on sleep in sedentary middle-aged adults: the FIT-AGEING study. *Scientific reports*, *11*(1), 539. https://doi.org/10.1038/s41598-020-79355-2

12. Jackson, C. L., Redline, S., & Emmons, K. M. (2015). Sleep as a potential fundamental contributor to disparities in cardiovascular health. *Annual review of public health*, *36*, 417–440. https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-031914-122838

13. Palagini, L., Bastien, C. H., Marazziti, D., Ellis, J. G., & Riemann, D. (2019). The key role of insomnia and sleep loss in the dysregulation of multiple systems involved in mood disorders: A proposed model. *Journal of sleep research*, *28*(6), e12841. https://doi.org/10.1111/jsr.12841

14. Di Liegro, C. M., Schiera, G., Proia, P., & Di Liegro, I. (2019). Physical Activity and Brain Health. *Genes*, *10*(9), 720. https://doi.org/10.3390/genes10090720

15. CDC. About Sleep 2024. Available at: https://www.cdc.gov/sleep/about/index.html (Accessed: 3 June 2024).

16. Li, Q., Chan, N. Y., Zhang, L., Wong, S. Y., & Yang, X. (2025). Mapping the 9-year sleep trajectory and its implications for chronic disease risks among middle-aged and older adults. *Journal of psychosomatic research*, *188*, 111967. https://doi.org/10.1016/j.jpsychores.2024.111967

17. Dejenie, T. A., G/Medhin, M. T., Admasu, F. T., Adella, G. A., Enyew, E. F., Kifle, Z. D., Seid, M. A., Mengstie, M. A., & Abebe, E. C. (2022). Impact of objectively-measured sleep duration on cardiometabolic health: A systematic review of recent evidence. *Frontiers in endocrinology*, *13*, 1064969. https://doi.org/10.3389/fendo.2022.1064969

18. Xie, Z., Chen, F., Li, W. A., Geng, X., Li, C., Meng, X., Feng, Y., Liu, W., & Yu, F. (2017). A review of sleep disorders and melatonin. *Neurological research*, *39*(6), 559–565. https://doi.org/10.1080/01616412.2017.1315864

19. Rangaraj, V. R., & Knutson, K. L. (2016). Association between sleep deficiency and cardiometabolic disease: implications for health disparities. *Sleep medicine*, *18*, 19–35. https://doi.org/10.1016/j.sleep.2015.02.535

20. Chasens, E. R., Imes, C. C., Kariuki, J. K., Luyster, F. S., Morris, J. L., DiNardo, M. M., Godzik, C. M., Jeon, B., & Yang, K. (2021). Sleep and Metabolic Syndrome. *The Nursing clinics of North America*, *56*(2), 203–217. https://doi.org/10.1016/j.cnur.2020.10.012

21. Killick R, Stranks L, Hoyos CM. (2022). Sleep Deficiency and Cardiometabolic Disease. Clin Chest Med 43) 319–336. https://doi.org/10.1016/j.ccm.2022.02.011.

22. Atrooz, F., & Salim, S. (2020). Sleep deprivation, oxidative stress and inflammation. *Advances in protein chemistry and structural biology*, *119*, 309–336. https://doi.org/10.1016/bs.apcsb.2019.03.001

23. Irwin, M. R., Olmstead, R., & Carroll, J. E. (2016). Sleep Disturbance, Sleep Duration, and Inflammation: A Systematic Review and Meta-Analysis of Cohort Studies and Experimental Sleep Deprivation. *Biological psychiatry*, *80*(1), 40–52. https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2015.05.014

24. Hossin MZ.(2016). From habitual sleep hours to morbidity and mortality: existing evidence, potential mechanisms, and future agenda. Sleep Health. 2(2),146-153. https:// doi: 10.1016/j.sleh.2016.01.006.

25. Liang, Y. Y., Feng, H., Chen, Y., Jin, X., Xue, H., Zhou, M., Ma, H., Ai, S., Wing, Y. K., Geng, Q., & Zhang, J. (2023). Joint association of physical activity and sleep duration with risk of all-cause and cause-specific mortality: a population-based cohort study using accelerometry. *European journal of preventive cardiology*, *30*(9), 832–843. https://doi.org/10.1093/eurjpc/zwad060

26. Hower, I. M., Harper, S. A., & Buford, T. W. (2018). Circadian Rhythms, Exercise, and Cardiovascular Health. *Journal of circadian rhythms*, *16*, 7. https://doi.org/10.5334/jcr.164

27. Harfmann, B. D., Schroder, E. A., & Esser, K. A. (2015). Circadian rhythms, the molecular clock, and skeletal muscle. *Journal of biological rhythms*, *30*(2), 84–94. https://doi.org/10.1177/0748730414561638

28. Nayor, M., Chernofsky, A., Spartano, N. L., Tanguay, M., Blodgett, J. B., Murthy, V. L., Malhotra, R., Houstis, N. E., Velagaleti, R. S., Murabito, J. M., Larson, M. G., Vasan, R. S., Shah, R. V., & Lewis, G. D. (2021). Physical activity and fitness in the community: the Framingham Heart Study. *European heart journal*, *42*(44), 4565–4575. https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab580

29. Frodermann, V., Rohde, D., Courties, G., Severe, N., Schloss, M. J., Amatullah, H., McAlpine, C. S., Cremer, S., Hoyer, F. F., Ji, F., van Koeverden, I. D., Herisson, F., Honold, L., Masson, G. S., Zhang, S., Grune, J., Iwamoto, Y., Schmidt, S. P., Wojtkiewicz, G. R., Lee, I. H., … Nahrendorf, M. (2019). Exercise reduces inflammatory cell production and cardiovascular inflammation via instruction of hematopoietic progenitor cells. *Nature medicine*, *25*(11), 1761–1771. https://doi.org/10.1038/s41591-019-0633-x

30. Loh, R., Stamatakis, E., Folkerts, D., Allgrove, J. E., & Moir, H. J. (2020). Effects of Interrupting Prolonged Sitting with Physical Activity Breaks on Blood Glucose, Insulin and Triacylglycerol Measures: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, *50*(2), 295–330. https://doi.org/10.1007/s40279-019-01183-w