

Дата публикации: 15.12.2025
DOI: 10.24412/2782-6570-2025_04_04_2
УДК 796.4; 575

Publication date: 15.12.2025
DOI: 10.24412/2782-6570-2025_04_04_2
UDC 796.4; 575

ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ УПРАЖНЕНИЙ НА ЭПИГЕНЕТИЧЕСКИЕ МОДИФИКАЦИИ: ЗОНТИЧНЫЙ ОБЗОР СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ОБЗОРОВ И МЕТААНАЛИЗОВ

В.В. Сверчков, Е.В. Быков

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный университет физической культуры», г. Челябинск, Россия

Аннотация. Введение. Регулярное выполнение физических упражнений снижает риск многих хронических заболеваний. Исследования демонстрируют, что данное благоприятное воздействие физических упражнений может происходить благодаря эпигенетическим изменениям. Цель: оценить влияние физических упражнений и физической активности на эпигенетические модификации на основе зонтичного обзора. **Методы.** Исследование было проведено в соответствии с предпочтительными элементами отчетности для систематических обзоров PRISMA и зонтичных обзоров PRIOR. Был проведен комплексный поиск в текстовых базах PubMed, Cochrane Library, Epistemonikos, eLibrary. Методологическое качество включенных обзоров оценивалось с помощью инструмента AMSTAR 2. Метаанализ не проводился. **Результаты.** Первоначальный поиск выявил 1622 записи. В окончательный обзор было включено пять исследований. Общее методологическое качество включенных обзоров было оценено как «критически низкое». **Заключение.** Было установлено, что физические упражнения могут приводить к эпигенетическим изменениям. Физические упражнения влияют на метилирование ДНК, модификацию гистонов, экспрессию микроРНК. Тип, объем, интенсивность физических упражнений являются ключевыми факторами, приводящими к эпигенетическим модификациям.

Ключевые слова: физические упражнения, эпигенетические модификации, метилирование ДНК, физическая активность.

EFFECT OF PHYSICAL EXERCISE ON EPIGENETIC MODIFICATION: AN UMBRELLA REVIEW OF SYSTEMATIC REVIEWS AND META-ANALYSIS

V.V. Sverchkov, E.V. Bykov

Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, Russia

Abstract. Introduction. Regular physical exercise reduces the risk of many chronic diseases. Research suggests that these beneficial effects of exercise may occur through epigenetic changes. Aim: to assess the effects of exercise and physical activity on epigenetic modifications using an umbrella review. **Methods.** The study followed the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews (PRISMA) and the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews (PRIOR) guidelines. A comprehensive search was conducted in PubMed, Cochrane Library, Epistemonikos, and eLibrary. The methodological quality of the included reviews was assessed using the AMSTAR 2 tool. Meta-analysis was not performed. **Results.** The initial search identified 1622 records. Five studies were included in the final review. The overall methodological quality of the included reviews was rated as “critically low”. **Conclusion.** It has been established that physical exercise can lead to epigenetic changes. Physical exercise influences DNA methylation, histone modification, and microRNA expression. The type, volume, and intensity of physical exercise are key factors leading to epigenetic modifications.

Keywords: physical exercise, epigenetic modifications, DNA methylation, physical activity.

Введение. Известно, что регулярное выполнение физических упражнений (ФУ) способствует снижению риска развития многих хронических заболеваний, включая ожирение, рак, депрессию, диабет 2 типа и сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ). Увеличение уровня физической активности (ФА) связано с 20-40% снижением риска общей смертности и с 30-40% снижением риска смертности от ССЗ [1]. Была выявлена обратно пропорциональная зависимость «доза-реакция» между объемом ФА высокой

интенсивности и смертностью от всех причин, ССЗ и рака [2]. Так, ФА высокой интенсивности в течение 180 минут в неделю была связана со значительным снижением риска на 22% для смертности от всех причин, на 23% для смертности от ССЗ и на 14% для смертности от рака по сравнению с ФА низкой и умеренной интенсивности [2]. Хотя польза от выполнения ФУ изучена, основные медиаторы и молекулярные механизмы благоприятного влияния данных вмешательств на многие параметры здоровья остаются неизвестны. Одна из гипотез предполагает, что повышение ФА или регулярное выполнение ФУ может влиять на скорость биологического старения через эпигенетические модификации [3].

Эпигенетика представляет собой важный уровень регуляции экспрессии генов без изменений в последовательности ДНК. Метилирование ДНК (ДНКм) – один из наиболее изученных эпигенетических маркеров. Увеличение ДНКм (гиперметилирование) в группах цитозин-фосфат-гуанин (сайт CpG) в промоторной области связано со снижением транскрипции, что может ингибировать экспрессию генов. И, наоборот, уменьшение ДНКм сайтов CpG (гипометилирование) может обеспечить повышенную экспрессию генов или привести к генетической нестабильности. Предположительно, выполнение ФУ может вызывать гипер/гипометилирование ДНК, что, в свою очередь, будет способствовать благоприятным клеточным изменениям, имеющим защитный эффект против различных патологий [4].

Цель исследования: оценить влияние физических упражнений и физической активности на эпигенетические модификации на основе зонтичного обзора.

Методы и организация исследования. Исследование проведено в соответствии с предпочтительными элементами отчетности для систематических обзоров и метаанализов PRISMA [5], а также предпочтительными элементами отчетности для зонтичных обзоров PRIOR [6].

Стратегия поиска. Проведен комплексный поиск научной литературы по текстовым базам данных PubMed, Cochrane Library, Epistemonikos, eLibrary. Для поиска литературы были использованы следующие ключевые слова: «DNA methylation AND exercise AND meta-analysis» для PubMed, Cochrane Library,

Epistemonikos и «метилирование ДНК упражнения» для eLibrary.

Критерии включения и невключения. После первичного поиска статей в текстовых базах было произведено устранение дубликатов в системе Rayyan. Был произведен скрининг заголовков и аннотаций для выявления статей, соответствующих цели исследования. Включение исследований в обзор было основано на рамках PICOS (Population – взрослые лица старше 19 лет; Intervention – любые виды ФУ или ФА; Comparison – контрольные группы без ФУ или с низким уровнем ФА; Outcomes – эпигенетические модификации, ДНКм, модификация гистонов, экспрессия микроРНК; Study – систематические обзоры и метаанализы).

Критерии невключения. Отдельные исследования, отчеты о случаях, главы книг, тезисы конференций, нарративные обзоры.

Оценка качества исследований. Инструмент AMSTAR 2 [7] применялся для оценки методологического качества включенных обзоров. AMSTAR 2 состоит из 16 пунктов, семь из которых имеют критически важное значение (2, 4, 7, 9, 11, 13, 15). На основании результатов AMSTAR 2 качество обзоров оценивалось как «высокое», «умеренное» или «низкое».

Статистическая обработка результатов. В связи с тем, что был найден только один метаанализ, количественный синтез результатов в данном исследовании не проводился.

Результаты исследования и их обсуждение. Первоначальный поиск в текстовых базах дал 1622 записи (PubMed – 755, Cochrane Library – 107, Epistemonikos – 66, eLibrary – 694). После проверки заголовков, аннотаций и полнотекстовых статей в окончательный обзор было включено 5 статей [8-12]. Из них три систематических обзора рандомизированных контролируемых исследований (РКИ) [10-12], два систематических обзора, включающих как РКИ, так и популяционные исследования [8, 9], один метаанализ [8], один биоинформационный анализ [9]. Подробная схема процесса поиска и отбора литературы представлена на рисунке.

Количество исследований, входящих в обзоры, варьировалось от 6 [8, 9] до 34 [11]. Количество участников – от 350 [12] до 3042

[9]. Во всех включенных обзорах изучалось влияние различных ФУ на эпигенетические модификации [8-12]. 4 обзора изучали влияние ФУ на ДНКм у здоровых нетренированных и тренированных лиц [8, 10-12]. Три исследования изучали влияние ФУ на ДНКм в различных клинических группах [9-11]. Оценивались срочные [11, 12] и долговременные [8-12] эпигенетические модификации в ответ на ФУ. Основными вмешательствами в виде ФУ были аэробные тренировки умеренной интенсивности, высокоинтенсивные интервальные тренировки, силовые тренировки, комбинированные тренировки, тайцзи. Общая характеристика включенных исследований приведена в таблице 1.

Качество обзоров. Общее методологическое качество включенных обзоров приведено в таблице 2.

Все, кроме одного [9], обзора адекватно описывали структуру PICOS. В двух обзорах [10, 11] отсутствовал предварительно зарегистрированный протокол. Во всех обзорах проводился комплексный поиск литературы, а скрининг и извлечение данных выполнялись двумя рецензентами только в трех обзорах [8, 9, 12]. В одном обзоре не был предоставлен список исключенных исследований [10]. Только в одном обзоре проводился метаанализ [8]. Ни в одном из обзоров авторы не учитывали риск смещения при интерпретации результатов.

В обзоре J. Chambers et al. [8] изучалось влияние ФУ или ФА на ДНКм у здоровых лиц в возрасте от 23 до 63 лет. Была собрана информация о 257 сайтах CpG, на которые ФА оказала значимое влияние. Примечательно, что 205 из этих 257 сайтов CpG были локализованы в 162 генах; при этом 134 сайта CpG были локализованы в 92 генах, связанных с ожирением. В метаанализе было установлено в общей сложности 32 гена, связанных с адипогенезом и дифференцировкой адипоцитов. Из них FOXP1, LYPLAL1, TMEM160, FTO и MAP2K5 были гиперметилированы, один ген (TUB) был гипометилирован, а два гена (STK40 и TCF7L2) были гипометилированы по одним участкам сайта CpG и гиперметилированы по другим. К тому же 19 генов, связанные с инсулиновой сигнализацией, были гиперметилированы, три были гипометилированы и еще три были как гиперметилированы, так и гипометилированы в определенных участках сайтов CpG. Наблюдались эпигенетические модификации в генах, связанных с сердечно-сосудистой функцией, что может указывать на защитный эффект ФУ и ФА против ССЗ. Таким образом, ФУ способствуют эпигенетическим модификациям, улучшая липидный и углеводный обмен, снижая риск развития ожирения, сахарного диабета 2 типа и других кардиометаболических заболеваний.

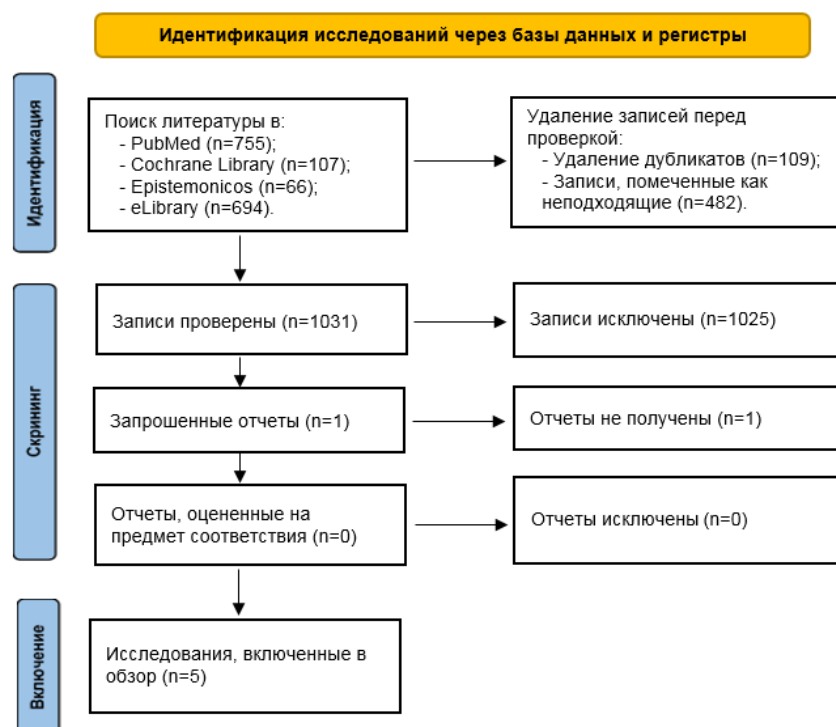


Рис. Блок-схема процедуры отбора исследований

Таблица 1

Общая характеристика включенных исследований

Автор, год	Количество исследований (дизайн исследований)	Возраст, количество участников	Вид физической активности (продолжительность вмешательств)	Тип клеток/тканей, используемый для анализа
J. Chambers et al., 2025 [8]	6 (1 популяционное; 5 с вмешательствами в виде физических упражнений)	Возраст – от 23 до 63 лет; n=770 участников (72% мужчин). На здоровых взрослых лицах.	Аэробные упражнения, ВИИТ, силовые упражнения (от 4 недель до 6 месяцев). Самооценка уровней ФА (общая ФА, ФА легкой, умеренной и высокой интенсивности).	Скелетные мышцы, кровь, жировая ткань
C. Moulton et al., 2024 [9]	6 (3 популяционных; 3 с вмешательствами в виде физических упражнений)	Возраст – от 20 до 98 лет; n=3042 участника (0% мужчин). Пациенты с диагнозом рак молочной железы.	Аэробные упражнения, ВИИТ, комбинированные упражнения (от 16 недель до 6 месяцев). Самооценка уровней ФА (общий объем ФА).	Скелетные мышцы, кровь, образец опухоли молочной железы
P. Etayo-Urtasun et al., 2024 [10]	12 исследований с вмешательствами в виде физических упражнений	Возраст – от 18 до 80 лет; n=827 участников (не указано). 7 исследований на здоровых взрослых; 1 – на лицах с легкими когнитивными нарушениями; 1 – на пациентах с ожирением; 1 – на пациентах с ХСН; 1 – на пациентах с колоректальным раком; 1 – на лицах с повышенным сердечно-сосудистым риском.	Аэробные упражнения, силовые упражнения, ВИИТ (от 6 недель до 12 месяцев).	Кровь, слюна, сперма, подкожная жировая ткань в области живота и ягодиц, ткань толстой кишки
E. Barrón-Cabrera et al., 2019 [11]	34 исследования с вмешательствами в виде физических упражнений	Возраст – от 19 до 90 лет; n=2580 участников (46% мужчин). 15 исследований на тренированных лицах; 10 – на нетренированных здоровых взрослых лицах; 4 – на пациентах с ожирением и СД2; 2 – на пациентах с ХСН; 1 – на пациентах с СГХС; 1 – на пациентах с ХОБЛ; 1 – на пожилых лицах	Аэробные упражнения низкой, умеренной и высокой интенсивности, ВИИТ, силовые упражнения, тайцзи (от 1 сеанса до 6 месяцев).	Кровь, скелетные мышцы
M. Jacques et al., 2019 [12]	22 исследования с вмешательствами в виде физических упражнений	Возраст – от 20 до 80 лет; n=350 участников (83% мужчин). На здоровых взрослых лицах.	Аэробные упражнения низкой, умеренной и высокой интенсивности, ВИИТ, силовые упражнения, комбинированные упражнения (от 1 сеанса до 6 месяцев).	Скелетные мышцы

Примечание: ВИИТ – высокоинтенсивные интервальные тренировки; ФА – физическая активность; ХСН – хроническая сердечная недостаточность; СД2 – сахарный диабет 2 типа; СГХС – семейная гиперхолестеринемия; ХОБЛ – хроническая обструктивная болезнь легких.

Общее методологическое качество включенных обзоров,
оцененное с помощью инструмента AMSTAR 2

Пункты AMSTAR 2	J. Chambers et al., 2025 [8]	C. Moulton et al., 2024 [9]	P. Etayo-Urtasun et al., 2024 [10]	E. Barrón- Cabrera et al., 2019 [11]	M. Jacques et al., 2019 [12]
1	Да	Нет	Да	Да	Да
2	Да	Да	Нет	Нет	Да
3	Да	Да	Да	Да	Да
4	Да	Да	Да	Да	Да
5	Да	Да	Нет	Нет	Да
6	Да	Да	Нет	Нет	Да
7	Да	Да	Нет	Да	Да
8	Да	Да	Да	Да	Да
9	Да	Нет	Да	Да	Нет
10	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
11	Да	Нет*	Нет*	Нет*	Нет*
12	Да	Нет*	Нет*	Нет*	Нет*
13	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
14	Да	Да	Да	Да	Нет
15	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
16	Да	Да	Да	Да	Частично да
Оценка	Критически низкое	Критически низкое	Критически низкое	Критически низкое	Критически низкое

Примечание: * – метаанализ не проводился.

Все, кроме одного [9], обзора адекватно описывали структуру PICOS. В двух обзорах [10, 11] отсутствовал предварительно зарегистрированный протокол. Во всех обзорах проводился комплексный поиск литературы, а скрининг и извлечение данных выполнялись двумя рецензентами только в трех обзорах [8, 9, 12]. В одном обзоре не был предоставлен список исключенных исследований [10]. Только в одном обзоре проводился метаанализ [8]. Ни в одном из обзоров авторы не учитывали риск смещения при интерпретации результатов.

В обзоре J. Chambers et al. [8] изучалось влияние ФУ или ФА на ДНКм у здоровых лиц в возрасте от 23 до 63 лет. Была собрана информация о 257 сайтах CpG, на которые ФА оказала значимое влияние. Примечательно, что 205 из этих 257 сайтов CpG были локализованы в 162 генах; при этом 134 сайта CpG были локализованы в 92 генах, связанных с ожирением. В метаанализе было установлено в общей сложности 32 гена, связанных с адипогенезом и дифференцировкой адипоцитов. Из них FOXP1, LYPLAL1, TMEM160, FTO и MAP2K5 были гиперметилированы, один ген (TUB) был гипометилирован, а два

гена (STK40 и TCF7L2) были гипометилированы по одним участкам сайта CpG и гиперметилированы по другим. К тому же 19 генов, связанные с инсулиновой сигнализацией, были гиперметилированы, три были гипометилированы и еще три были как гиперметилированы, так и гипометилированы в определенных участках сайтов CpG. Наблюдались эпигенетические модификации в генах, связанных с сердечно-сосудистой функцией, что может указывать на защитный эффект ФУ и ФА против ССЗ. Таким образом, ФУ способствуют эпигенетическим модификациям, улучшая липидный и углеводный обмена, снижая риск развития ожирения, сахарного диабета 2 типа и других кардиометаболических заболеваний.

В обзоре C. Moulton et al. [9] изучалось влияние ФА, а также вмешательств в виде различных ФУ на ДНКм у пациентов с раком молочной железы. Было установлено, что более высокая ФА у женщин с данной патологией поддерживает повышенные уровни глобального метилирования. Повышенные уровни глобального ДНКм могут снизить количество aberrантной экспрессии генов, что может улучшить результаты лечения.

У более физически активных женщин наблюдалось значительное снижение метилирования промотора генов, связанных с раком молочной железы (APC, CCND2, HIN1 и TWIST1), что демонстрирует благоприятное влияние ФА на паттерны ДНКм. Было установлено, что ФУ снижают ген-специфическое метилирование, что может приводить к повышению экспрессии генов и более высокой выживаемости у данных пациентов. Также было установлено, что ФА способствует снижению метилирования промотора SOD2, а также предотвращает увеличение метилирования промотора SOD1, которое наблюдалось в контрольных группах, что может помочь бороться с побочными эффектами в виде окислительного стресса, вызванного фармакологическим лечением рака молочной железы. Таким образом, ФУ и ФА оказывают существенное воздействие на сигнатуры ДНКм у пациентов с раком молочной железы в различных тканях (крови, скелетных мышцах и опухоли молочной железы), как на геноспецифическом, так и на глобальном уровне, что может замедлить рост опухоли, повысить чувствительность к терапии, предотвратить развитие лекарственной устойчивости, снизить побочные эффекты и повысить качество жизни данных пациентов.

В обзоре P. Etayo-Urtasun et al. [10] были объединены результаты РКИ, изучающие влияние ФУ на ДНКм как у здоровых лиц, так и в некоторых клинических группах (лиц с легкими когнитивными нарушениями; лиц с ожирением; у пациентов с хронической сердечной недостаточностью; у пациентов с колоректальным раком; у лиц с повышенным сердечно-сосудистым риском). Общеэпигенетический анализ показал, что ФУ способствуют снижению глобального метилирования. При этом было выявлено, что эпигенетические модификации имеют высокую корреляцию с уровнем физической подготовленности. Было установлено, что метилирование некоторых генов (RANKL, RASSF1) было связано с уровнем кардиореспираторной подготовленности. Таким образом, предполагается, что именно улучшение физической работоспособности, а не просто выполнение ФУ, может быть более значимым модифицируемым фактором, влияющим на ДНКм. В обзоре между исследованиями были обнаружены

противоречия, которые связаны с различиями в изучении ДНКм разных тканей. Так, в одних исследованиях не было обнаружено ДНКм в одних тканях, в то время как в других тканях обнаружено снижение ДНКм в ответ на ФУ, но при этом в исследованиях анализировались разные гены, что может указывать на влияние ФУ только на определенные ткани и гены. Также авторами обзора было обнаружено, что тип упражнений может быть ключевым фактором, влияющим на эпигенетические модификации. Значительные изменения в ДНКм наблюдались в группах комбинированных тренировок (аэробные и силовые упражнения), в то время как при выполнении однонаправленных упражнений не наблюдалось значительных изменений в ДНКм даже с продолжительностью 12 месяцев с частотой 6 занятий в неделю и интенсивностью от умеренной до высокой. Таким образом, обзор обнаружил сложную взаимосвязь между ФУ и ДНКм. Тип упражнений, объем, интенсивность и долговременные адаптационные изменения, возникающие в ответ на ФУ, являются важными критериями в ДНКм.

В обзоре E. Barrón-Cabrera et al. [11] изучались эпигенетические модификации, связанные со специфическими метаболическими изменениями, в ответ на один сеанс или регулярное выполнение ФУ у здоровых тренированных или нетренированных лиц, а также у некоторых клинических групп населения (ожирение, сахарный диабет 2 типа, хроническая сердечная недостаточность, хроническая обструктивная болезнь легких, семейная гиперхолестеринемия). Было установлено, что даже один сеанс ФУ увеличивал уровни miR-1, miR-133a и miR-133b. При этом наблюдалось снижение уровней miR-9, miR-23a, miR-23b и miR-31 через 3 часа после тренировки. Эти микроРНК были связаны с регенерацией скелетных мышц и биогенезом митохондрий, процессами, которые имеют решающее значение для активации метаболических адаптаций, опосредованных упражнениями. Однако, семь дней постельного режима достаточно, чтобы подавить эти адаптации, получаемые от ФУ, поскольку отдых (разгрузка скелетных мышц) снижал уровни miR-1 и miR-133a. Более того, эти же субъекты теряют мышечную массу и толерантность к глюкозе в течение того же периода времени. Также было показано, что

один сеанс ФУ (80% от максимального потребления кислорода) вызывает глобальное гипометилирование ДНК в промоторной области некоторых генов, участвующих в развитии сахарного диабета 2 типа (PPARGC1A, TFAM, MEF2A, PDK4 и PPARD), которое зависело от интенсивности упражнений. К тому же силовые упражнения, выполняемые с интенсивностью 80% от повторного максимума, в течение восьми недель приводили к гиперметилированию 28397 и гипометилированию 28987 сайтов CpG в лейкоцитах цельной крови у здоровых людей. При этом у пациентов с ожирением и сахарным диабетом 2 типа регулярное выполнение ФУ приводило к гипометилированию участков ДНК, связанных с гликолитическим потоком (PFKFB3, HDAC4, GSK3A), что является важным аспектом в реабилитации данных пациентов. Таким образом, как один сеанс, так и регулярное выполнение ФУ может влиять на повышение чувствительности к инсулину посредством эпигенетических модификаций генов и микроРНК, связанных с регенерацией мышц, биогенезом митохондрий, повышением активности гликолиза и окислением жирных кислот. При этом длительные и интенсивные ФУ, такие как марафон, связаны с повреждением скелетных мышц, перегрузкой миокарда и повышением уровня воспалительных цитокинов и не рекомендуются лицам с кардиометаболическими заболеваниями. Таким образом, эпигенетические модификации, по-видимому, зависят от объема, интенсивности и типа упражнений, что требует подтверждения этих результатов в последующих исследованиях.

В систематическом обзоре M. Jacques et al. [12] изучались эпигенетические изменения в скелетных мышцах в ответ на краткосрочное (один сеанс) или долгосрочное (несколько месяцев) выполнение ФУ у здоровых групп населения. В данном обзоре изучалось не только ДНКм, но и другие эпигенетические изменения, включая модификацию гистонов и микроРНК. Только одно исследование, включенное в обзор, изучало модификацию гистонов. Хотя не было обнаружено изменений в глобальной активности гистоновых деацетилаз, две киназы (AMPK и CaMKII), которые могут индуцировать ядерный экспорт этих ферментов, показали признаки активации. При этом было обнаружено изменение

микроРНК в ответ как на один сеанс, так и при регулярных ФУ, экспрессия которых зависит от типа, интенсивности упражнений и дозы. Таким образом, в данном обзоре были обнаружены доказательства того, что ФУ способствуют эпигенетическим изменениям и играют важную роль в регуляции экспрессии генов, участвующих в метаболизме скелетных мышц.

Ограничения исследования:

1. Рассматриваемые обзоры включали исследования с разным дизайном (рандомизированные контролируемые, популяционные, рандомизированные неконтролируемые), а также разные категории участников, что может приводить к неоднородности результатов.

2. Все наблюдательные исследования были основаны на самоотчетах, что может приводить к смещению результатов.

3. Методы вмешательств различались по типу, интенсивности, объему, что может создавать трудности в интерпретации результатов.

4. Анализы ДНКм демонстрировали значительное методологическое разнообразие, что затрудняет прямое сравнение между исследованиями.

5. Время сбора биологического материала после ФУ различалось в разных исследованиях. Так, например, данные биопсий после нагрузок показали более высокий уровень изменений ДНКм через три часа, чем через шесть часов по сравнению с исходным уровнем до нагрузки.

Заключение. Данный зонтичный обзор позволяет заключить, что ФУ могут существенно влиять на паттерны ДНКм. Изменения экспрессии генов, определяющие физиологическую адаптацию к физическим нагрузкам, могут быть обусловлены эпигенетическими модификациями, которые либо активируют, либо подавляют активность генов. Следовательно, ФА или ФУ, модулируя программы экспрессии генов, могут служить профилактическим и терапевтическим средством при различных заболеваниях, что имеет важное значение для общественного здравоохранения. Тем не менее, конкретные выводы о влиянии различных типов ФУ, интенсивности и объема на эпигенетику человека пока неясны, учитывая сложный и относительно неизученный характер этой области исследований.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Physical activity trajectories and accumulation over adulthood and their associations with all-cause and cause-specific mortality: a systematic review and meta-analysis / R. Yu, S. Duncombe, Y. Nemoto [et al.] // *Br J Sports Med.* – 2025. – Vol. 59. – No. 17. – P. 1228-1241. DOI: 10.1136/bjsports-2024-109122.
2. Associations of the volume and proportion of vigorous-intensity physical activity with all-cause, cardiovascular, and cancer mortality: a systematic review and meta-analysis / D. Wang, L. Wu, L. Yan [et al.] // *Peer J.* – 2025. – Vol. 13. – P. 195-209. DOI: 10.7717/peerj.19538.
3. Williams, A. Exercise, Epigenetics, and Body Composition: Molecular Connections / A. Williams, D. Wadsworth, T. Geetha // *Cells.* – 2025. – Vol. 14. – No. 19. – P. 1553-1569. DOI: 10.3390/cells14191553.
4. Exercise-Induced Epigenetic Modifications: Implications for Healthy Aging / Q. Yang, Y. Hu, B. Zhang [et al.] // *Int J Sports Med.* – 2025. DOI: 10.1055/a-2702-4789.
5. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews / M. Page, J. McKenzie, P. Bossuyt [et al.] // *BMJ.* – 2021. – No. 372. – P. 32-48. DOI: 10.1136/bmj.n71.
6. Reporting guideline for overviews of reviews of healthcare interventions: development of the PRIOR statement / M. Gates, A. Gates, D. Pieper [et al.] // *BMJ.* – 2022. – No. 378. – P. 321-335. DOI: 10.1136/bmj-2022-070849.
7. AMSTAR 2: a critical appraisal tool for systematic reviews that include randomised or non-randomised studies of healthcare interventions, or both / B. Shea, B. Reeves, G. Wells [et al.] // *BMJ.* – 2017. – No. 358. – P. 400-414. DOI: 10.1136/bmj.j4008.
8. Molecular Effects of Physical Activity and Body Composition: A Systematic Review and Meta-Analysis / J. Chambers, C. Roscoe, C. Chidley [et al.] // *Int J Environ Res Public Health.* – 2025. – Vol. 22. – No. 4. – P. 637-651. DOI: 10.3390/ijerph22040637.
9. Impact of Physical Activity on DNA Methylation Signatures in Breast Cancer Patients: A Systematic Review with Bioinformatic Analysis / C. Moulton, V. Lisi, M. Silvestri [et al.] // *Cancers (Basel).* – 2024. – Vol. 16. – No. 17. – P. 3067-3082. DOI: 10.3390/cancers16173067.
10. Etayo-Urtasun, P. Effects of Exercise on DNA Methylation: A Systematic Review of Randomized Controlled Trials / P. Etayo-Urtasun, M. Sáez de Asteasu, M. Izquierdo // *Sports Med.* – 2024. – Vol. 54. – No. 8. – P. 2059-2069. DOI: 10.1007/s40279-024-02033-0.
11. Epigenetic Modifications as Outcomes of Exercise Interventions Related to Specific Metabolic Alterations: A Systematic Review / E. Barrón-Cabrera, O. Ramos-Lopez, K. González-Becerra [et al.] // *Lifestyle Genom.* – 2019. – Vol. 12. – No. 1-6. – P. 25-44. DOI: 10.1159/000503289.
12. Epigenetic changes in healthy human skeletal muscle following exercise- a systematic review / M. Jacques, D. Hiam, J. Craig [et al.] // *Epigenetics.* – 2019. – Vol. 14. – No. 7. – P. 633-648. DOI: 10.1080/15592294.2019.1614416.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Вадим Владимирович Сверчков – младший научный сотрудник НИИ Олимпийского спорта, преподаватель кафедры спортивной медицины и физической реабилитации, Уральский государственный университет физической культуры, Челябинск, e-mail: Vadim.Sverchkov@yandex.ru.

Евгений Витальевич Быков – доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры спортивной медицины и физической реабилитации, директор НИИ Олимпийского спорта, Уральский государственный университет физической культуры, Челябинск, e-mail: bev58@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Vadim V. Sverchkov – Junior Researcher of the Research Institute of Olympic Sports, Lecturer of the Department of Sports Medicine and Physical Rehabilitation, Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, e-mail: Vadim.sverchkov@yandex.ru.

Evgenij V. Bykov – Doctor of Medical Sciences, Professor, Professor of the Department of Sports Medicine and Physical Rehabilitation, Director of the Research Institute of Olympic Sports, Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, e-mail: bev58@yandex.ru.

Для цитирования: Сверчков, В.В. Влияние физических упражнений на эпигенетические модификации: зонтичный обзор систематических обзоров и метаанализов / В.В. Сверчков, Е.В. Быков // *Российский журнал спортивной науки: медицина, физиология, тренировка.* – 2025. – Т. 4. – № 4(16). DOI: 10.24412/2782-6570-2025_04_04_2

For citation: Sverchkov V.V., Bykov E.V. Effect of physical exercise on epigenetic modification: an umbrella review of systematic reviews and meta-analysis. *Russian Journal of Sports Science: Medicine, Physiology, Training*, 2025, vol. 4, no. 4(16). DOI: 10.24412/2782-6570-2025_04_04_2