

УДК 612.769 616-056.52

DOI 10.5281/ZENODO.19652054

ФИЗИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ, КАК ФАКТОР СНИЖЕНИЯ РИСКОВ РАЗВИТИЯ МЕТАБОЛИЧЕСКОГО СИНДРОМА (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

***Нагаева Е. И., Хусаинов Д. Р., Сафронова Н. С., Захаров Д. Н.,
Грабовская Е. Ю., Зевреева З. Н.***

***ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», Симферополь,
Республика Крым, Российская Федерация
E-mail: enagaeva75@mail.ru***

В обзоре рассматривается влияние физической активности на компоненты метаболического синдрома, состояние здоровья, качество и продолжительность жизни лиц с нарушениями углеводного обмена. Проведен анализ литературных источников, посвященных исследованию влияния физической активности на развитие и течение метаболического синдрома, иммунитет, сердечно-сосудистую систему, взаимосвязи между физической активностью и риском смертности и рассмотрены основные клинические рекомендации по уровню физической активности. Подтверждено, что регулярная физическая активность, за счет снижения абдоминального ожирения, улучшения состояния иммунологической функции, повышения устойчивости сердечно-сосудистой системы, является ключевым фактором профилактики и снижения рисков развития метаболического синдрома. Преимущества систематической физической активности очевидны, но настоящий обзор акцентирован на результаты исследований последних лет, подчеркивает важность комплексной физической активности в структуре программ укрепления здоровья населения и их включения в алгоритмы общественного здравоохранения.

Ключевые слова: физическая активность, физические упражнения, малоподвижный образ жизни, метаболический синдром, риск смертности, здоровье населения.

ВВЕДЕНИЕ

Понимание важности физической активности (ФА) для здоровья населения значительно расширилось в последние годы, возросло количество доказательств обратной пропорциональной связи между малоподвижным образом жизни и индикаторами здоровья населения [1]. Регулярная ФА неизменно приводит к улучшению состояния сердечно-сосудистой и иммунной систем, метаболического профиля [2], общей работоспособности и самочувствия одновременно снижая риск смертности независимо от пола, возраста и расовой принадлежности [3]. Благодаря новым фактическим данным [4] обновляются рекомендации по ФА в контексте профилактики метаболического синдрома, улучшения состояния здоровья, повышения качества и продолжительности жизни.

Общие показатели распространенности метаболического синдрома (МС) в глобальном масштабе значительно увеличились за последние несколько

десятилетий [5, 6], при этом, по последним оценкам, в настоящее время во всем мире этим заболеванием страдают примерно от 13 % до 31 % взрослого населения [6]. Существующие различия в распространенности МС по половым признакам наблюдаются в возрастных группах 20–39 лет и 40–59 лет (22 % по сравнению с 9 % и 50 % против 36 % у мужчин и женщин соответственно), что указывает на более раннее накопление факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний у мужчин и потенциально приводит к сокращению продолжительности их жизни [7].

В качестве основных причин развития метаболических нарушений рассматривают образ жизни пациентов связанный с нездоровым питанием и дисбалансом между потреблением и расходом калорий, обусловленным недостаточностью физической активности [8], недостаточной продолжительностью сна и связанные с ней нарушения циркадного ритма вызывающие нейроэндокринные нарушения и сердечно-сосудистые заболевания [9], психические и эмоциональные факторы стресса и гормональный дисбаланс связанный с возрастными изменениями.

Основными клиническими компонентами МС принято считать абдоминальное ожирение и индуцируемое им неспецифическое хроническое воспаление, нарушение метаболизма глюкозы, артериальную гипертензию и дислипидемию [6]. Показательно что ФА способна оказывать влияние на каждый из перечисленных компонентов МС и выступать в качестве действенного средства профилактики развития МС и снижения рисков смертности связанных с ним заболеваний. И хотя преимущества систематических занятий ФА очевидны, результаты исследований последних лет вносят свой дополнительный вклад, подчеркивая важность ФА в структуре программ укрепления здоровья населения и их включения в алгоритмы общественного здравоохранения.

ВЛИЯНИЕ ФА НА АБДОМИНАЛЬНОЕ ОЖИРЕНИЕ

Метаанализ двадцати трех исследований с участием 638 000 взрослых и пожилых людей представленный Silveira E. A. с соавторами показал, что распространенность гиподинамии и малоподвижного образа жизни у лиц с абдоминальным ожирением достигала высоких уровней – до 82 % для гиподинамии и 71 % для малоподвижного образа жизни [10]. Лечение взрослых с ожирением и пожилых людей с целью снижения риска сердечно-сосудистых заболеваний и других осложнений со здоровьем должно быть направлено на стимулирование у этих людей хотя бы минимальной ФА.

Согласно результатам полученным Lee Y. с соавторами во время исследования 2343 взрослых с ожирением (1338 мужчин; 1005 женщин) ФА < 600 МЕТ/неделя¹ не приводила к статистически значимой разнице в окружности талии; однако коэффициент вероятности абдоминального ожирения снижался до 69 % у мужчин и

¹ *Метаболический эквивалент (MET)* отношение скорости метаболизма при работе к скорости метаболизма в состоянии покоя. Один MET определяется как 1 ккал/кг/час и примерно эквивалентен энергетическим затратам на спокойное сидение. MET также определяется как потребление кислорода в мл/кг/мин, при этом один MET равен расходу кислорода при спокойном сидении, что эквивалентно 3,5 мл/кг/мин.

61 % у женщин, когда они выполняли $FA \geq 600$ МЕТ/неделя. Следовательно, выполнение FA в объеме ≥ 600 МЕТ/неделю считается важным фактором профилактики абдоминального ожирения у взрослых [11].

В исследовании Jurczewska J. с соавторами отмечается, что более высокие уровни интенсивной FA были связаны с более низким содержанием висцеральной жировой ткани, содержанием подкожно-жировой ткани и индексом отношения талии к бедрам, а женщины с абдоминальным ожирением характеризовались значительно более низкой интенсивностью FA , чем женщины с нецентральной ожирением [12].

В исследовании Martinez-Gomez D. с соавторами с участием 113 950 здоровых людей в возрасте старше 18 лет показано, что положительный эффект от FA всегда больше при абдоминальном, чем при общем ожирении, а люди, регулярно занимающиеся спортом, могут уменьшить объем висцерального жира независимо от изменений веса [13].

В недавнем метаанализе 45 исследований с участием 3566 человек выявлено, что вмешательства, сочетающие высокоинтенсивную аэробiku и силовые тренировки с высокой нагрузкой, оказывают благотворный эффект, превосходящий любой другой метод упражнений в снижении абдоминального ожирения, увеличения объема мышечной массы и повышении работоспособности кардиореспираторной системы [14].

Силовые тренировки вызывают улучшение показателей чувствительности к инсулину, VO_{2max} , силовых показателей, снижение абдоминальных жировых отложений и содержания жира в теле и мышцах у субъектов с избыточным весом, и приводят к уменьшению жировой прослойки печени, окружности талии и подкожной жировой клетчатки. А висцеральный жир терялся преимущественно по сравнению с другими жировыми отложениями [15]. Исследование влияния силовых тренировок с участием 101 женщины с абдоминальным ожирением выявило уменьшение жировой массы и висцеральной жировой ткани, а также рост массы свободного жира и индекса мышечной массы [16].

Как указывается в обзорном исследовании Verdú E. с соавторами [17] тренировки на выносливость вызывают снижение массы тела и размеров жировых клеток уменьшение массы жира в брюшной полости, связанное с увеличением чувствительности печени к инсулину и улучшение показателей содержания холестерина липопротеинов высокой плотности (ЛПВП) в крови. В то время как силовые нагрузки увеличивают чувствительность к инсулину в подкожно-жировой клетчатке [18] без изменения уровней адипокинов в плазме (например, адипонектина, лептина) [19].

ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НА НЕСПЕЦИФИЧЕСКОЕ ХРОНИЧЕСКОЕ ВОСПАЛЕНИЕ И ИММУНИТЕТ

На сегодняшний день все больше признается, что FA и физические упражнения могут оказывать мощное влияние на иммунологическую функцию благоприятно влияя на нейтрофилы, моноциты, естественные клетки-киллеры, Т-клетки и ряд цитокинов и уже существует раздел посвященный «иммунологии физических упражнений». Элементы активного образа жизни способны модулировать

иммунный ответ на инфекции и развитие воспалительных процессов, нарушения обмена веществ, развитие сердечно-сосудистых заболеваний [20].

Иммунная, эндокринная и центральная нервная системы работают синергично, и стало очевидным, что передача сигналов катехоламинов через β -адренергические рецепторы лейкоцитов (β -ARs) является ключевым механизмом, с помощью которого физические упражнения опосредуют улучшение иммунной функции, помогая смягчить многочисленные патологические состояния. Центральное место в этом процессе занимает преимущественная мобилизация и перераспределение эффекторных лимфоцитов с мощной противовирусной и противоопухолевой активностью, их взаимодействие с цитокинами мышечного происхождения и влияние передачи сигналов катехоламинов на биогенез митохондрий, иммунометаболизм и возникающую в результате воспалительную реакцию [21].

Физические тренировки оказывают положительное влияние на иммунологический статус пожилых пациентов. В работе Alvarez-Rodríguez L. с соавторами [22] продемонстрировано, что уровни циркулирующего IL-10 снижаются с возрастом, что может способствовать повышению уровня провоспалительных цитокинов, например IL-6. Доказана способность физических упражнений повышать уровни IL-10, что может оказывать подавляющее действие на процессы секреции провоспалительных цитокинов и положительно влиять на улучшение секреции специфических антител (IgA и IgM) [23].

Скелетные мышцы являются основным органом, регулирующим иммунитет, вырабатывая миокины, обладающие иммунопротекторным и противовоспалительным действием. Duggal N. A. с соавторами [24] доказано, что физическая активность уменьшает системное воспаление, связанное с хроническими возрастными заболеваниями. Низкоинтенсивная интервальная ходьба у пожилых людей с преддиабетом оказывает положительное влияние на первичные биоэнергетические функции нейтрофилов. Показано, что после тренировок происходит увеличение хемотаксиса, фагоцитарных функций, выработки активных форм кислорода нейтрофилами, а также снижение уровня глюкозы и инсулина натощак [25]. Также у женщин с ожирением аэробные упражнения и силовые упражнения вызывают повышение активности NK-клеток. Уровни IgA в плазме остаются стабильными, тогда как уровни IgG имеют тенденцию к снижению после тренировки [26].

Показано, что физические упражнения могут выступать одной из стратегией повышения устойчивости организма к инфекционным заболеваниям и развитию системного воспаления, а одной из основных причин развития хронических заболеваний является отсутствие ФА, умеренные физические нагрузки стимулируют иммунитет, а сверхинтенсивные наоборот, подавляют [27].

ВЛИЯНИЕ ФА НА МЕТАБОЛИЗМ ГЛЮКОЗЫ И ЛИПИДНЫЙ КОНТРОЛЬ

На сегодняшний день основными причинными факторами развития инсулинорезистентности и сахарного диабета 2-го типа признаны малоподвижный образ жизни и отсутствие физической активности [28–31]. Фактические данные показывают, что даже кратковременное снижение ФА (14 дней) приводит к

снижению индекса чувствительности мышц к инсулину, а также к увеличению содержания общего жира и липопротеинов низкой плотности (ЛПНП) в печени [32].

Исследования комбинации силовых и высокоинтенсивных тренировок свидетельствуют о том, что ее использование приводит к уменьшению уровня глюкозы, ЛПНП и инсулина в крови, способствуя улучшению кардиометаболических показателей [33].

В исследовании Son W. M. с соавторами показано, что упражнения с бандажом с отягощениями являются полезным терапевтическим вмешательством для улучшения уровня инсулина, глюкозы, НОМА-IR, липидного профиля крови, АД и антропометрических показателей у женщин в постменопаузе с ожирением [34].

В исследовании Zhou Y с соавторами [35], показано, что 12 недельные упражнения умеренной интенсивности, особенно те, которые сочетают в себе аэробные упражнения и упражнения с отягощениями могут улучшить физическую форму, метаболизм глюкозы и липидов в плазме, а также качество сна у пациентов с МС и рассеянным склерозом. Высокоаэробные упражнения в сочетании с упражнениями с низкой отягощенностью были более эффективными для улучшения физической формы, контроля гликемии и качества сна, в то время как высокоаэробные упражнения в сочетании с низкоаэробными приводили к лучшей регуляции липидов в крови [36].

Таким образом, физические упражнения представляют собой мощную противовоспалительную стратегию, улучшающую обмен веществ. Аэробные тренировки способствуют улучшению показателей метаболизма глюкозы и снижению маркеров воспаления [37]. А систематический обзор и метаанализ Silva F. M. с соавторами подтверждает важность выполнения комбинированных аэробных упражнений и упражнений с отягощениями для улучшения метаболизма глюкозы и предотвращения развития инсулинорезистентности и сахарного диабета 2 типа у лиц, ведущих малоподвижный образ жизни [38].

ВЛИЯНИЕ ФА НА СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТУЮ СИСТЕМУ

Результаты метаанализа проведенного Shariful Islam из 9 рандомизированных контролируемых исследований с участием 531 человек с артериальной гипертензией показали, что ФА средней интенсивности значительно снижает как систолическое, так и диастолическое давление [39]. Общая ФА высокой интенсивности снижала САД больше, чем ФА низкой или умеренной интенсивности.

Как показано в статье Chomiuk T. физические упражнения индуцируют образование новых кровеносных сосудов (ангиогенез) на уровне артериол и ангиогенез, или расширение существующих сосудов [2, 40]. Кроме того, у людей с установленной артериальной гипертензией, физические упражнения снижают реакцию сосудов на эндотелин-1, который является сосудосуживающим средством. Физические тренировки, увеличивая выработку оксида азота и высвобождение ацетилхолина, усиливают эндотелийзависимую вазодилатацию [39].

Результаты метаанализа 38 исследований с участием 1407 пациенток в периоде постменопаузы проведенного Xin C. и соавторами свидетельствуют о том, что

физические упражнения могут эффективно улучшать показатели скорости пульсовой волны, систолического и диастолического артериального давления, а также уровни общего холестерина, и холестерина ЛПНП у женщин в постменопаузе [41]. Метаанализ показал наибольшую эффективность упражнений в воде для снижения систолического артериального давления и общего холестерина, комбинированные тренировки оказали наибольшее влияние на улучшение показателей холестерина, липопротеидов высокой плотности, триглицеридов и диастолического артериального давления. Для снижения уровня холестерина ЛПНП эффективными оказались тренировки с отягощениями [41].

Исследования эффективности интервальных тренировок для улучшения состояния сосудов женщин, ведущих малоподвижный образ жизни в постменопаузе выявило, что интервальные тренировки с физическими нагрузками снижали жесткость периферических артерий и улучшали функции эндотелия плечевой артерии посредством расширения, опосредованного кровотоком у женщин в постменопаузе с нарушенной функцией эндотелия, в то время как маркеры артериального давления, показатели ЛПНП и липопротеинов высокой плотности ЛПВП оставались неизменными независимо от интенсивности упражнений [42].

В систематическом обзоре Manojlović M. и соавторов отмечается, что комбинированные силовые и аэробные упражнения оказывают влияние на жесткость артерий у женщин в постменопаузе, а регулярные тренировки по 3 раза в неделю, продолжительностью по 60 мин с умеренной интенсивностью (40–60 % от максимальных значений пульса) могут иметь клиническое значение [43].

СВЯЗЬ МЕЖДУ ФИЗИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТЬЮ И РИСКОМ СМЕРТНОСТИ

В обсервационных исследованиях ФА неизменно ассоциируется со снижением смертности и снижением риска развития неинфекционных заболеваний, а рандомизированные исследования подтверждают причинно-следственные связи между ФА и здоровьем [44]. Систематические занятия физической активностью (ФА) различной направленности оказывают благотворное влияние на здоровье человека не только в текущем моменте тренировочных нагрузок, но и в долгосрочных перспективах. Результаты метаанализа Garcia L. с соавторами, включающего 196 статей с более чем 30 миллионами участников показывают, что более высокие уровни ФА были связаны с более низким риском всех исходов таких заболеваний как общие сердечно-сосудистые заболевания, ишемическая болезнь сердца, инсульт, сердечная недостаточность, общий рак и локализованные виды рака [45].

Paluch A. E. с соавторами провели метаанализ 15 исследований с участием 47 тысяч участников из 40 стран и выявили, что выполнение большего количества шагов в день было связано с постепенным снижением риска смертности от всех причин, вплоть до уровня, который варьировался в зависимости от возраста. У мужчин и у женщин самый низкий показатель смертности был отмечен примерно на уровне 7000–9000 шагов в день [46].

Результаты популяционного исследования проведенного Del Pozo Cruz B. с соавторами в 2022 году с участием 78500 респондентов показало, что 10.000 шагов

в день могут быть связаны с более низким риском смертности и заболеваемости раком и сердечно-сосудистыми заболеваниями, а более высокая частота шагов может быть связана с дополнительным снижением риска, особенно при первичном заболевании [47]. Для пожилых пациентов более высокий объем шагов и их интенсивность достоверно связаны с более низким риском госпитализации и смертности от всех причин [48, 49].

В исследовании Ekelund U. анализирующем дозозависимость между ФА и здоровьем изучалась связь между ФА и риском сердечного приступа у 17.000 мужчин выявлено существенное снижение риска при сравнении "неактивной" контрольной группой, расходующей <500 ккал в неделю на "общую" физическую активность, со второй группой, расходующей 500–999 ккал в неделю; наблюдалась градуированная зависимость дозозависимости со снижением риска примерно до 3000 ккал в неделю на "общую" физическую активность, после чего польза выходила на плато; и затраты энергии при интенсивных видах спорта по-видимому, обладают большим защитным эффектом, чем "общий" объем активности[50].

В метаанализе представленном Qiu S. с соавторами были проанализированы 6 когортных исследований с участием 13960 участников. Исследовалось влияние физической нагрузки малой интенсивности с точки зрения снижения риска сердечно-сосудистой смертности [51]. Результаты исследования показали, что замена сидячего образа жизни ФА малой интенсивности продолжительностью 30 мин/сут снизила риск сердечно-сосудистой смертности на 16 % (95 % ДИ 0,73–0,96). Результаты также показали, что ФА малой интенсивности уступает ФА от умеренной до интенсивной в снижении риска сердечно-сосудистой смертности при равной продолжительности физической активности, равной 30 мин / день [51].

Выявлена обратная зависимость «доза-эффект» между более высокими уровнями ФА и риском смертности у лиц с нормальным и избыточным весом. У лиц с ожирением обратная зависимость доза-эффект наблюдалась только для общей ФА. Аналогичным образом, более низкие уровни времени сидячего образа жизни были связаны с более низким риском смертности у лиц с нормальным весом и избыточным весом [52].

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ФИЗИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

В рамках реализации общественных проектов «Укрепление общественного здоровья» и «Спорт – норма жизни» проводится популяризация здорового образа жизни, включающая в себя здоровое питание и повышение уровня ФА. ВОЗ и Национальные рекомендации по вопросам физической активности в интересах здоровья от 2022 года [53, 54] рекомендуют взрослым от 18 до 64 лет заниматься умеренной аэробной ФА не менее 150 минут в неделю (30 минут в день, 5 дней в неделю) или интенсивной ФА не менее 75 минут в неделю по 15 мин в день, 5 дней в неделю или их комбинацией. Силовым упражнениям рекомендуется посвящать не менее 2 занятий в неделю. Эти рекомендации предназначены для всех, независимо от наличия хронических заболеваний, инвалидности, пола, расы, этнической принадлежности и уровня доходов.

Пожилым людям следует заниматься многокомпонентной ФА, включающей тренировку равновесия, аэробные и силовые упражнения [55]. Для пожилых людей для адаптации вегетативной сердечно сосудистой системы крайне важны аэробные упражнения умеренной интенсивности с постепенным увеличением нагрузки [56].

Ассоциации "доза–эффект" демонстрируют, что заметную пользу для здоровья можно получить и при умеренной активности – 75 мин. в неделю или менее (т. е. вдвое меньше рекомендуемого минимального уровня), а максимальная польза достигается при ФА достигающей 150–300 мин. в неделю умеренной аэробной нагрузки или 75–150 мин. интенсивной аэробной нагрузки [57].

Для пациентов с МС, стремящимся сохранить потерю веса рекомендованы высокие уровни ФА (225–420 мин в неделю умеренной ФА). В свою очередь снижение веса будет приводить к уменьшению тяжести сопутствующих заболеваний, таких как инсулинорезистентность, воспаление, дислипидемия, гипертония, диабет и МС [58].

Анализ взаимосвязей между половозрастными различиями, физической активностью и риском развития метаболического синдрома выявил, что ФА от умеренной до интенсивной приносила максимальную пользу лицам молодого и среднего возраста обоих полов, в дальнейшем после 60 лет ее защитный эффект ослабевал. Большее по длительности время ФА было связано с большим снижением риска МС у молодых мужчин, чем у женщин, но разница между полами уменьшалась с возрастом и не проявлялась в пожилом возрасте [59].

Исследования вероятности развития 5 факторов риска МС на протяжении 29 лет у мужчин и женщин среднего возраста показывают, что занятия ФА, особенно на среднем или высоком уровне, а также начало занятий ФА, постоянное поддержание и повышение уровня ФА с течением времени связаны со снижением риска развития новых факторов МС, особенно повышенного уровня триглицеридов, повышенного уровня липопротеинов высокой плотности, увеличенной окружности талии и увеличением уровня глюкозы в крови [4].

Основные клинические рекомендации для пациентов с метаболическим синдромом по ФА следующие: для снижения веса, окружности талии, уровня глюкозы и инсулина, общего холестерина, общего уровня триглицеридов и диастолического артериального давления наиболее эффективными являются комбинированные физические упражнения (сочетание аэробных и анаэробных), упражнения с отягощениями приводят к снижению жировых отложений, уровня холестерина ЛПНП и систолического артериального давления [2, 60]. Аэробные упражнения являются оптимальным способом снижения индекса массы тела и холестерина ЛПВП [61, 62]. Для улучшения чувствительности к инсулину и кардиореспираторной подготовленности подходят любые виды нагрузок включая высокоинтенсивные интервальные тренировки проводимые после оценки сердечно-сосудистого риска. [63]. Аэробно-диетическая терапия может считаться оптимальным решением, связанным с образом жизни пациентов с метаболическим синдромом [64].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

МС представляет собой совокупность клинических и эпидемиологических медицинских состояний характерных для пациентов с избыточным весом и высоким риском развития ишемической болезни сердца из-за наличия таких факторов, как абдоминальное ожирение, артериальная гипертензия и непереносимость глюкозы либо сахарный диабет. Несмотря на то, что ведутся активные исследования, направленные на создание новых препаратов и средств профилактики ожирения и диабета 2 типа, изменения образа жизни пациентов и их физической активности являются основным условием профилактики и лечения МС. Каждый из перечисленных критериев метаболического синдрома может быть скорректирован с помощью физической активности. Видоизменение образа жизни людей с включением ФА различной степени интенсивности от умеренной до высокой достоверно снижало риск развития сердечно-сосудистых заболеваний у пациентов, приводило к задержке начала развития сахарного диабета 2-го типа и увеличивало ожидаемую продолжительность жизни. Данные исследования подчеркивают важность структурированных программ укрепления здоровья с помощью физической активности и их включения в алгоритмы общественного здравоохранения.

Обзор выполнен в рамках НИР №125102912322-6 «Разработка технологий применения молекулярного водорода для компенсации метаболических сдвигов у пациентов с нарушением обмена веществ» по проекту М/2025/П.3 «Разработка технологий применения молекулярного водорода для компенсации метаболических сдвигов у пациентов с нарушением обмена веществ» Приоритет 2030.

Список литературы

1. Borodulin K. Physical activity: associations with health and summary of guidelines / K. Borodulin, S. Anderssen // Food&Nutrition Research. – 2023. – Vol. 67. – P. 1–15.
2. Chomiuk T. Physical activity in metabolic syndrome / T. Chomiuk, N. Niezgoda, A Mamcarz [et al.] // Frontiers Physiology. – 2024. – Vol. 15. – P. 1–8.
3. Paluch A. E. Steps for Health Collaborative. Daily steps and all-cause mortality: a meta-analysis of 15 international cohorts. / A. E. Paluch, S. Bajpai, D. R. Bassett [et al.] // Lancet Public Health. – 2022.– Vol. 7, No 3. – P. 219–228.
4. Cleven L. Longitudinal associations between physical activity and five risk factors of metabolic syndrome in middle-aged adults in Germany / L. Cleven, A. Dziuba, J. Krell-Roesch [et al.] // Diabetology Metabolic Syndrome. – 2023. – Vol. 15, №1 – P. 82.
5. Saklayen M. G. The global epidemic of the metabolic syndrome / M. G. Saklayen // Current hypertension reports. – 2018. – Vol. 20, No 2. – P. 1–8.
6. Noubiap J. J. Geographic distribution of metabolic syndrome and its components in the general adult population: A meta-analysis of global data from 28 million individuals / J. J. Noubiap, J. R. Nansseu, E. Lontchi-Yimagou [et al.] // Diabetes research and clinical practice. – 2022. – Vol. 188. – P. 109924.
7. Rajca A. Increase in the prevalence of the metabolic syndrome in Poland. comparison of the results of the WOBASZ (2003–2005) and Wobasz II (2013–2014) studies / A. Rajca, A. Wojciechowska, W. Śmigielski [et al.] // Polskie Archiwum Medycyny Wewnętrznej. – 2021. – Vol. 131, № 6. – P. 520–526.
8. Dobrowolski P. Metabolic syndrome – a new definition and management guidelines: A joint position paper by the Polish Society of Hypertension, Polish Society for the Treatment of Obesity, Polish Lipid Association, Polish Association for Study of Liver, Polish Society of Family Medicine, Polish Society of

- Lifestyle Medicine, Division of Prevention and Epidemiology Polish Cardiac Society, "Club 30" Polish Cardiac Society, and Division of Metabolic and Bariatric Surgery Society of Polish Surgeons / P. Dobrowolski, A. Prejbisz, A. Kuryłowicz [et al.] // Archives of Medical Science. – 2022. – Vol. 18, №5. – P. 1133–1156.
9. Zimmet P. The circadian syndrome: Is the metabolic syndrome and much more! / P. Zimmet, K. G. Alberti, N. Stern [et al.] // Journal of internal medicine. – 2019. – Vol. 286, № 2. – P. 181–191.
10. Silveira E. A. Sedentary behavior, physical inactivity, abdominal obesity and obesity in adults and older adults: A systematic review and meta-analysis. / E. A. Silveira, C. R. Mendonça, F. M. Delpino [et al.] // Clinical nutrition ESPEN. – 2022. – Vol. 50. – P. 63–73.
11. Lee Y. Recreational Physical Activity on Abdominal Obesity in Obese South Korean Adults / Y. Lee, S. Kwak, J. Shin // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2022. – Vol. 19, № 22. – P. 14634.
12. Jurczewska J. Abdominal Obesity in Women with Polycystic Ovary Syndrome and Its Relationship with Diet, Physical Activity and Insulin Resistance: A Pilot Study / J. Jurczewska, J. Ostrowska, M. Chelchowska [et al.] // Nutrients. – 2023. – Vol. 15, № 16. – P. 3652.
13. Martinez-Gomez D. Association of Changes in Physical Activity and Incidence and Remission of Overall and Abdominal Obesity in 113,950 Adults / D. Martinez-Gomez, M. Hamer, F. B. Ortega // Obesity. – 2020. – Vol. 28, № 3. – P. 660–668.
14. O'Donoghue G. What exercise prescription is optimal to improve body composition and cardiorespiratory fitness in adults living with obesity? A network meta-analysis / G. O'Donoghue, C. Blake; C. Cunningham [et al.] // Obesity Reviews. – 2021. – Vol. 22, № 2. – P. e13137.
15. Langleite T. M. Insulin sensitivity, body composition and adipose depots following 12 w combined endurance and strength training in dysglycemic and normoglycemic sedentary men / T. M. Langleite, J. Jensen, F. Norheim [et al.] // Archives of physiology and biochemistry. – 2016. – Vol. 122, № 4. – P. 167–179.
16. Jamka M. The effect of endurance and endurance-strength training on body composition and cardiometabolic markers in abdominally obese women: A randomised trial / M. Jamka, E. Mądry, P. Krzyżanowska-Jankowska [et al.] // Scientific Reports. – 2021. – Vol. 11, № 1. – P. 12339.
17. Verdú E. Physiological Changes and Pathological Pain Associated with Sedentary Lifestyle-Induced Body Systems Fat Accumulation and Their Modulation by Physical Exercise / E. Verdú, J. Homs, P. Boadas-Vaello // International journal of environmental research and public health. – 2021. – Vol. 18, № 24. – P. 13333.
18. Polak J. Dynamic strength training improves insulin sensitivity and functional balance between adrenergic alpha 2A and beta pathways in subcutaneous adipose tissue of obese subjects / J. Polak, C. Moro, E. Klimcakova [et al.] // Diabetologia. – 2005. – Vol. 48, № 12. – P. 2631–2640.
19. Klimcakova E. Dynamic strength training improves insulin sensitivity without altering plasma levels and gene expression of adipokines in subcutaneous adipose tissue in obese men / E. Klimcakova, J. Polak, C. Moro [et al.] // The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism. – 2006. – Vol. 91, № 12. – P. 5107–5112.
20. Dutra P. M. The Effects of Physical Activity and Exercise on Immune Responses to Infection / P. M. Dutra, S. A. Da-Silva, J.R. Mineo [et al.] // Frontiers in immunology. – 2022. – Vol. 13. – P. 842568.
21. Simpson R. J. Exercise and adrenergic regulation of immunity / R. J. Simpson, T. K. Boßlau, C. Weyh [et al.] // Brain, Behavior, and Immunity. – 2021. – Vol. 97. – P. 303–318.
22. Alvarez-Rodríguez L. Aging is associated with circulating cytokine dysregulation / L. Alvarez-Rodríguez, M. López-Hoyos, P. Muñoz-Cacho [et al.] // Cellular immunology. – 2012. – Vol. 273, № 2. – P. 124–132.
23. Dutra P. M. L. The Effects of Physical Activity and Exercise on Immune Responses to Infection / P. M. L. Dutra, S. A. G. Da-Silva, J. R. Mineo [et al.] // Frontiers in immunology. – 2022. – Vol. 13. – P. 842568.
24. Duggal N. A. Can physical activity ameliorate immunosenescence and thereby reduce age-related multimorbidity? / N. A. Duggal, G. Niemi, S. D. R. Harridge [et al.] // Nature Reviews Immunology. – 2019. – Vol. 19, № 9. – P. 563–572.

25. Bartlett D. B. Rejuvenation of neutrophil functions in association with reduced diabetes risk following ten weeks of low-volume high intensity interval walking in older adults with prediabetes—a pilot study / D. B. Bartlett, C. A. Slentz, L. H. Willis, [et al.] // *Frontiers in immunology*. – 2020. – Vol. 11. – P. 729.
26. Yoon J. R. Effects of exercise type on estrogen, tumor markers, immune function, antioxidant function, and physical fitness in postmenopausal obese women / J. R. Yoon, G. C. Ha, K. J. Ko [et al.] // *Journal of exercise rehabilitation*. – 2018. – Vol. 14, № 6. – P. 1032.
27. Guimarães T. T. Chronic aerobic training at different volumes in the modulation of macrophage function and in vivo infection of BALB/c mice by *Leishmania major* / T. T. Guimarães, S. M. Gomes, R. A. Albuquerque [et al.] // *Frontiers in Microbiology*. – 2021. – Vol. 12. – P. 734355.
28. Yariibeygi H. Pathophysiology of physical inactivity-dependent insulin resistance: A theoretical mechanistic review emphasizing clinical evidence / H. Yariibeygi, M. Maleki, T. Sathyapalan [et al.] // *Journal of diabetes research*. – 2021. – Vol. 2021, № 1. – P. 7796727.
29. Kerr R. N. Contributions of physical inactivity and sedentary behavior to metabolic and endocrine diseases / R. N. Kerr, F. W. Booth // *Trends in Endocrinology & Metabolism*. – 2022. – Vol. 33, № 12. – P. 817–827.
30. Ferreira J. P. Effects of combined training on metabolic profile, lung function, stress and quality of life in sedentary adults: A study protocol for a randomized controlled trial / J. P. Ferreira, P. Duarte-Mendes, A. M. Teixeira [et al.] // *Plos one*. – 2022. – Vol. 17, № 2. – P. e0263455.
31. Wu J. Sedentary time and the risk of metabolic syndrome: A systematic review and dose-response meta-analysis / J. Wu, H. Zhang, L. Yang [et al.] // *Obesity Reviews*. – 2022. – Vol. 23, № 12. – P. e13510.
32. Davies K. A. Short-term decreased physical activity with increased sedentary behaviour causes metabolic derangements and altered body composition: Effects in individuals with and without a first-degree relative with type 2 diabetes / K. A. Bowden Davies, V. S. Sprung, J. A. Norman [et al.] // *Diabetologia*. – 2018. – Vol. 61, №6. – P. 1282–1294.
33. Da Silva M. A. The effects of concurrent training combining both resistance exercise and high-intensity interval training or moderate-intensity continuous training on metabolic syndrome / M. A. Da Silva, L. C. Baptista, R. S. Neves [et al.] // *Frontiers in physiology*. – 2020. – Vol. 11. – P. 572.
34. Son W. M. Resistance band exercise training prevents the progression of metabolic syndrome in obese postmenopausal women / W. M. Son, J.J. Park // *Journal of sports science & medicine*. – 2021. – Vol. 20, № 2. – P. 291.
35. Zhou Y. Benefits of different combinations of aerobic and resistance exercise for improving plasma glucose and lipid metabolism and sleep quality among elderly patients with metabolic syndrome: a randomized controlled trial / Y. Zhou, W. Wu, Y. Zou [et al.] // *Endocrine journal*. – 2022. – Vol. 69, № 7. – P. 819–830.
36. Siopi A. Comparison of the serum metabolic fingerprint of different exercise modes in men with and without metabolic syndrome / A. Siopi, O. Deda, V. Manou [et al.] // *Metabolites*. – 2019. – Vol. 9, № 6. – P. 116.
37. Rahimi G. R. M. Effects of exercise training on serum preptin, undercarboxylated osteocalcin and high molecular weight adiponectin in adults with metabolic syndrome / G. R. M. Rahimi, N. Bijeh, A. Rashidlamir // *Experimental physiology*. – 2020. – Vol. 105, № 3. – P. 449–459.
38. Silva F. M. The effects of combined exercise training on glucose metabolism and inflammatory markers in sedentary adults: a systematic review and meta-analysis / F. M. Silva, P. Duarte-Mendes, A. M. Teixeira [et al.] // *Scientific Reports*. – 2024. – Vol. 14, № 1. – P. 1936.
39. Shariful Islam M. Effect of leisure-time physical activity on blood pressure in people with hypertension: a systematic review and meta-analysis / M. Shariful Islam, A. Fardousi, M. I. Sizar [et al.] // *Scientific Reports*. – 2023. – Vol. 13, № 1. – C. 10639.
40. Königstein K. Training the vessels: molecular and clinical effects of exercise on vascular health-A narrative review / K. Königstein, K. Dipla, A. Zafeiridis // *Cells*. – 2023. – Vol. 12, № 21. – P. 2544.
41. Xin C. Effect of exercise on vascular function and blood lipids in postmenopausal women: a systematic review and network meta-analysis / C. Xin, M. Ye, Q. Zhang [et al.] // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2022. – Vol. 19, № 19. – P. 12074.
42. Lyall G. K. Efficacy of interval exercise training to improve vascular health in sedentary postmenopausal females / G. K. Lyall, G. K. Birk, E. Harris [et al.] // *Physiological Reports*. – 2022. – Vol. 10, № 16. – P. e15441.

43. Manojlović M. Effects of combined resistance and aerobic training on arterial stiffness in postmenopausal women: a systematic review / M. Manojlović, B. Protić-Gava, N. Maksimović [et al.] // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2021. – Vol. 18, № 18. – С. 9450.
44. Ekelund U. Dose–response associations, physical activity intensity and mortality risk: a narrative review / U. Ekelund, M. A. Sanchez-Lastra, K. E. Dalene [et al.] // *Journal of sport and health science*. – 2024. – Vol. 13, № 1. – P. 24–29.
45. Garcia L. Non-occupational physical activity and risk of cardiovascular disease, cancer and mortality outcomes: a dose–response meta-analysis of large prospective studies / L. Garcia, M. Pearce, A. Abbas [et al.] // *British Journal of Sports Medicine*. – 2023. – Vol. 57, № 15. – P. 979–989.
46. Paluch A. E. Steps per day and all-cause mortality in middle-aged adults in the coronary artery risk development in young adults study / A. E. Paluch, K. P. Gabriel, J. E. Fulton [et al.] // *JAMA Network Open*. – 2021. – Vol. 4, № 9. – P. e2124516–e2124516.
47. Del Pozo Cruz B. Prospective associations of daily step counts and intensity with cancer and cardiovascular disease incidence and mortality and all-cause mortality / B. Del Pozo Cruz, M. N. Ahmadi, I. M. Lee [et al.] // *JAMA internal medicine*. – 2022. – Vol. 182, № 11. – P. 1139–1148.
48. Mañas A. Association of accelerometer-derived step volume and intensity with hospitalizations and mortality in older adults: a prospective cohort study / A. Mañas, B. Del Pozo Cruz, U. Ekelund [et al.] // *Journal of Sport and Health Science*. – 2022. – Vol. 11, № 5. – P. 578–585.
49. Saint-Maurice P. F. Association of daily step count and step intensity with mortality among US adults / P. F. Saint-Maurice, R. P. Troiano, D. R. Jr. Bassett [et al.] // *Jama*. – 2020. – Vol. 323, № 12. – P. 1151–1160.
50. Ekelund U. Physical activity and mortality: what is the dose response and how big is the effect? / U. Ekelund, K. E. Dalene, J. Tarp [et al.] // *British journal of sports medicine*. – 2020. – Vol. 54, № 19. – P. 1125–1126.
51. Qiu S. Does objectively measured light-intensity physical activity reduce the risk of cardiovascular mortality? A meta-analysis / S. Qiu, X. Cai, L. Jia // *European Heart Journal-Quality of Care and Clinical Outcomes*. – 2021. – Vol. 7, № 5. – P. 496–504.
52. Tarp J. Device-measured physical activity, adiposity and mortality: a harmonised meta-analysis of eight prospective cohort studies / J. Tarp, M. W. Fagerland, K. E. Dalene // *British journal of sports medicine*. – 2022. – Vol. 56, № 13. – P. 725–732.
53. Физическая активность: информационный бюллетень 2022 г. Российская Федерация URL: https://cdn.who.int/media/docs/librariesprovider2/euro-health-topics/physical-activity/pa-russia-rus-version.pdf?sfvrsn=9509e5fc_2&download=true (дата обращения: 30.11.25).
54. Глобальные рекомендации по физической активности для здоровья URL: https://minzdrav.gov.ru/system/attachments/attaches/000/016/375/original/9789244599976_rus.pdf?1389768711 (дата обращения: 30.11.25).
55. Gustafson M. P. Exercise and the immune system: taking steps to improve responses to cancer immunotherapy / M. P. Gustafson, C. M. Wheatley-Guy, A. C. Rosenthal // *Journal for immunotherapy of cancer*. – 2021. – Vol. 9, № 7. – P. e001872.
56. Etayo-Urtasun P. Effects of Exercise on Autonomic Cardiovascular Function in Older Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis / P. Etayo-Urtasun, M. Izquierdo, M. L. Sáez de Asteasu // *Sports Medicine*. – 2025. – P. 1–13.
57. Activity M. P., & WHO Team. WHO guidelines on physical activity and sedentary behaviour. Activity M. P. et al. WHO guidelines on physical activity and sedentary behaviour // *World Health Organization*. – 2020.
58. Celik O. Obesity and physical exercise / O. Celik, B. O. Yildiz // *Minerva endocrinology*. – 2020. – Vol. 46, № 2. – P. 131–144.
59. Li H. Sex and Age Differences in Association between Physical Activity and Metabolic Syndrome: Results from NHANES 2003–2006 / H. Li, H. S. Lynn, V. Zipunnikov // *Healthcare*. – MDPI, 2023. – Vol. 11, № 8. – P. 1059.
60. Liang M. Effects of aerobic, resistance, and combined exercise on metabolic syndrome parameters and cardiovascular risk factors: a systematic review and network meta-analysis / M. Liang, Y. Pan, T. Zhong [et al.] // *Reviews in cardiovascular medicine*. – 2021. – Vol. 22, № 4. – P. 1523–1533.

61. Schroeder E. C. Comparative effectiveness of aerobic, resistance, and combined training on cardiovascular disease risk factors: A randomized controlled trial / E. C. Schroeder, W. D. Franke, R. L. Sharp [et al.] // PloS one. – 2019. – Vol. 14, № 1. – P. e0210292.
62. Cho J-H. Relationship between metabolic syndrome and moderate-to-vigorous physical activity among adults 18 years old and over / J-H. Cho, J. Ko, S-T. Lim // PloS one. – 2021. – Vol. 16, № 10. – P. e0258097.
63. Oppert J. M. Physical activity in management of persons with obesity / J. M. Oppert, A. Bellicha, C. Ciangura // European journal of internal medicine. – 2021. – Vol. 93. – P. 8–12.
64. Al-Mhanna S. B. Effects of combined aerobic exercise and diet on cardiometabolic health in patients with obesity and type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis / S. B. Al-Mhanna, S. Rocha-Rodriguesc, M. Mohamed [et al.] // BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation. – 2023. – Vol. 15, № 1. – P. 165.

PHYSICAL ACTIVITY AS A FACTOR IN REDUCING THE RISKS OF DEVELOPMENT OF METABOLIC SYNDROME (LITERATURE REVIEW)

***Nagaeva E. I., Khusainov D. R., Safronova N. S., Zakharov D. N.,
Grabovskaya E. Yu., Zevreeva Z. N.***

*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russia
E-mail: enagaeva75@mail.ru*

The review examines the impact of physical activity (PA) on the components of the metabolic syndrome, the health status, quality, and life expectancy of individuals with carbohydrate metabolism disorders. It analyzes the literature on the effects of physical activity on abdominal obesity, non-specific chronic inflammation and immunity, glucose metabolism and lipid control, the cardiovascular system, and the relationship between physical activity and mortality risk. The review also discusses the main clinical recommendations for physical activity levels in individuals with carbohydrate metabolism disorders and its impact on the development and progression of the metabolic syndrome.

It has been established that regular physical activity helps to reduce abdominal obesity, improves immunological function, and can serve as a strategy for increasing the body's resistance to cardiovascular diseases, being a key factor in preventing and reducing the risks of developing metabolic disorders.

It is significant that physical activity can influence each of the components of metabolic syndrome and serve as an effective means of preventing the development of metabolic syndrome and reducing the risk of mortality associated with it. Although the benefits of regular physical activity are evident, recent research findings have added to the understanding of the importance of physical activity in promoting public health and incorporating it into public health strategies.

Keywords: physical activity, physical exercise, sedentary lifestyle, metabolic syndrome, mortality risk, public health.

Review was conducted within the framework of Research and Development Work No. 125102912322-6 "Development of Technologies for the Application of Molecular Hydrogen to Compensate for Metabolic Shifts in Patients with Metabolic Disorders" under Project M/2025/P.3 "Development of Technologies for the Application of Molecular Hydrogen to Compensate for Metabolic Shifts in Patients with Metabolic Disorders" (Priority 2030).

References

1. Borodulin K., & Anderssen S. Physical activity: associations with health and summary of guidelines. *Food & Nutrition Research*, **67**, 10-29219 (2023).
2. Chomiuk T., Niezgodą N., Mamcarz A., & Śliż D. Physical activity in metabolic syndrome. *Frontiers in physiology*, **15**, 1365761 (2024).
3. Paluch A. E. et al. Daily steps and all-cause mortality: a meta-analysis of 15 international cohorts, *The Lancet Public Health*, **7**, **3**, e219 (2022).
4. Cleven, L., Dziuba, A., Krell-Roesch, J., Schmidt, S. C., Bös, K., Jekauc, D., & Woll, A. Longitudinal associations between physical activity and five risk factors of metabolic syndrome in middle-aged adults in Germany. *Diabetology & metabolic syndrome*, **15**(1), 82 (2023).
5. Saklayen M. G. The global epidemic of the metabolic syndrome. *Current hypertension reports*, **20**(2), 1 (2018).
6. Noubiap J. J., Nansseu J. R., Lontchi-Yimagou E., Nkeck J. R., Nyaga U. F., Ngouo A. T., ... & Bigna J. J. Geographic distribution of metabolic syndrome and its components in the general adult population: A meta-analysis of global data from 28 million individuals. *Diabetes research and clinical practice*, **188**, 109924 (2022).
7. Rajca A., Wojciechowska A., Śmigielski W., Drygas W., Piwońska A., Pająk A., ... & Zdrojewski T. Increase in the prevalence of metabolic syndrome in Poland: comparison of the results of the WOBASZ (2003-2005) and WOBASZ II (2013-2014) studies. (2021).
8. Dobrowolski P., et al. "Metabolic syndrome-a new definition and management guidelines: A joint position paper by the Polish Society of Hypertension, Polish Society for the Treatment of Obesity, Polish Lipid Association, Polish Association for Study of Liver, Polish Society of Family Medicine, Polish Society of Lifestyle Medicine, Division of Prevention and Epidemiology Polish Cardiac Society, Club 30 Polish Cardiac Society, and Division of Metabolic and Bariatric Surgery Society of Polish Surgeons." (2022).
9. Zimmet P., Alberti K. G. M. M., Stern N., Bilu C., El-Osta A., Einat H., & Kronfeld-Schor N. The Circadian Syndrome: is the Metabolic Syndrome and much more! *Journal of internal medicine*, **286**(2), 181 (2019).
10. Silveira E. A., Mendonça C. R., Delpino F. M., Souza G. V. E., de Souza Rosa L. P., de Oliveira C., & Noll M. Sedentary behavior, physical inactivity, abdominal obesity and obesity in adults and older adults: A systematic review and meta-analysis. *Clinical nutrition ESPEN*, **50**, 63 (2022).
11. Lee Y., Kwak S., & Shin J. Effects of recreational physical activity on abdominal obesity in obese South Korean adults. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **19**(22), 14634 (2022).
12. Jurczewska J., Ostrowska J., Chełchowska M., Panczyk M., Rudnicka E., Kucharski M., ... & Szostak-Węgierek D. Abdominal obesity in women with polycystic ovary syndrome and its relationship with diet, physical activity and insulin resistance: a pilot study. *Nutrients*, **15**(16), 3652 (2023).
13. Martinez-Gomez D., Hamer M., Ortega F. B., Cabanas-Sanchez V., Sadarangani K. P., Lavie C. J., & Rodríguez-Artalejo F. Association of changes in physical activity and incidence and remission of overall and abdominal obesity in 113,950 adults. *Obesity*, **28**(3), 660 (2020).
14. O'Donoghue G., Blake C., Cunningham C., Lennon O., & Perrotta C. What exercise prescription is optimal to improve body composition and cardiorespiratory fitness in adults living with obesity? A network meta-analysis. *Obesity Reviews*, **22**(2), e13137 (2021).
15. Langleite T. M., Jensen J., Norheim F., Gulseth H. L., Tangen D. S., Kolnes K. J., ... & Drevon C. A. Insulin sensitivity, body composition and adipose depots following 12 w combined endurance and

- strength training in dysglycemic and normoglycemic sedentary men. *Archives of physiology and biochemistry*, **122**(4), 167 (2016).
16. Jamka M., Mądry E., Krzyżanowska-Jankowska P., Skrypnik D., Szulińska M., Mądry R., ... & Walkowiak J. The effect of endurance and endurance-strength training on body composition and cardiometabolic markers in abdominally obese women: a randomised trial. *Scientific Reports*, **11**(1), 12339 (2021).
 17. Verdú E., Homs J., & Boadas-Vaello P. Physiological changes and pathological pain associated with sedentary lifestyle-induced body systems fat accumulation and their modulation by physical exercise. *International journal of environmental research and public health*, **18**(24), 13333 (2021).
 18. Polak J., Moro C., Klimcakova E., Hejnova J., Majercik M., Viguerie N., ... & Berlan M. Dynamic strength training improves insulin sensitivity and functional balance between adrenergic alpha 2A and beta pathways in subcutaneous adipose tissue of obese subjects. *Diabetologia*, **48**(12), 2631 (2005).
 19. Klimcakova E., Polak J., Moro C., Hejnova J., Majercik M., Viguerie N., ... & Stich V. Dynamic strength training improves insulin sensitivity without altering plasma levels and gene expression of adipokines in subcutaneous adipose tissue in obese men. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, **91**(12), 5107 (2006).
 20. Dutra P. M., Da-Silva S. A., Mineo J. R., & Turner J. E. The effects of physical activity and exercise on immune responses to infection. *Frontiers in immunology*, **13**, 842568 (2022).
 21. Simpson R. J., Boßlau T. K., Weyh C., Niemiro G. M., Batatinha H., Smith K. A., & Krüger K. Exercise and adrenergic regulation of immunity. *Brain, Behavior, and Immunity*, **97**, 303 (2021).
 22. Álvarez-Rodríguez L., López-Hoyos M., Muñoz-Cacho P., & Martínez-Taboada V. M. Aging is associated with circulating cytokine dysregulation. *Cellular immunology*, **273**(2), 124 (2012).
 23. Dutra P. M., Da-Silva S. A., Mineo J. R., & Turner J. E. The effects of physical activity and exercise on immune responses to infection. *Frontiers in immunology*, **13**, 842568 (2022).
 24. Duggal N. A., Niemiro G., Harridge S. D., Simpson R. J., & Lord J. M. Can physical activity ameliorate immunosenescence and thereby reduce age-related multi-morbidity?. *Nature Reviews Immunology*, **19**(9), 563 (2019).
 25. Bartlett D. B., Slentz C. A., Willis L. H., Hoselton A., Huebner J. L., Kraus V. B., ... & Kraus W. E. Rejuvenation of neutrophil functions in association with reduced diabetes risk following ten weeks of low-volume high intensity interval walking in older adults with prediabetes—a pilot study. *Frontiers in immunology*, **11**, 729. (2020).
 26. Yoon J. R., Ha G. C., Ko K. J., & Kang S. J. Effects of exercise type on estrogen, tumor markers, immune function, antioxidant function, and physical fitness in postmenopausal obese women. *Journal of exercise rehabilitation*, **14**(6), 1032 (2018).
 27. Guimarães T. T., Gomes S. M. R., Albuquerque R. A. A. C., Lima A. K. C., Braga G. F., Souza J. B., ... & Dutra P. M. L. Chronic aerobic training at different volumes in the modulation of macrophage function and in vivo infection of BALB/c mice by *Leishmania major*. *Frontiers in Microbiology*, **12**, 734355 (2021).
 28. Yarıbeygi H., Maleki M., Sathyapalan T., Jamialahmadi T., & Sahebkar A. Pathophysiology of physical inactivity-dependent insulin resistance: a theoretical mechanistic review emphasizing clinical evidence. *Journal of diabetes research*, **2021**(1), 7796727 (2021).
 29. Kerr N. R., & Booth F. W. Contributions of physical inactivity and sedentary behavior to metabolic and endocrine diseases. *Trends in Endocrinology & Metabolism*, **33**(12), 817 (2022).
 30. Ferreira J. P., Duarte-Mendes P., Teixeira A. M., & Silva F. M. Effects of combined training on metabolic profile, lung function, stress and quality of life in sedentary adults: A study protocol for a randomized controlled trial. *Plos one*, **17**(2), e0263455 (2022).
 31. Wu J., Zhang H., Yang L., Shao J., Chen D., Cui N., ... & Ye Z. Sedentary time and the risk of metabolic syndrome: A systematic review and dose–response meta-analysis. *Obesity Reviews*, **23**(12), e13510 (2022).
 32. Bowden Davies K. A., Sprung V. S., Norman J. A., Thompson A., Mitchell K. L., Halford J. C., ... & Cuthbertson D. J. Short-term decreased physical activity with increased sedentary behaviour causes metabolic derangements and altered body composition: effects in individuals with and without a first-degree relative with type 2 diabetes. *Diabetologia*, **61**(6), 1282 (2018).

33. Da Silva M. A. R., Baptista L. C., Neves R. S., De França E., Loureiro H., Lira F. S., ... & Martins R. A. The effects of concurrent training combining both resistance exercise and high-intensity interval training or moderate-intensity continuous training on metabolic syndrome. *Frontiers in physiology*, **11**, 572 (2020).
34. Son W. M., & Park J. J. Resistance band exercise training prevents the progression of metabolic syndrome in obese postmenopausal women. *Journal of sports science & medicine*, **20**(2), 291 (2021).
35. Zhou Y., Wu W., Zou Y., Huang W., Lin S., Ye J., & Lan Y. Benefits of different combinations of aerobic and resistance exercise for improving plasma glucose and lipid metabolism and sleep quality among elderly patients with metabolic syndrome: a randomized controlled trial. *Endocrine journal*, **69**(7), 819 (2022).
36. Siopi A., Deda O., Manou V., Kosmidis I., Kominou D., Raikos N., ... & Mougios V. Comparison of the serum metabolic fingerprint of different exercise modes in men with and without metabolic syndrome. *Metabolites*, **9**(6), 116 (2019).
37. Mohammad Rahimi G. R., Bijeh N., & Rashidlamir A. Effects of exercise training on serum preptin, undercarboxylated osteocalcin and high molecular weight adiponectin in adults with metabolic syndrome. *Experimental physiology*, **105**(3), 449 (2020).
38. Silva F. M., Duarte-Mendes P., Teixeira A. M., Soares C. M., & Ferreira J. P. The effects of combined exercise training on glucose metabolism and inflammatory markers in sedentary adults: a systematic review and meta-analysis. *Scientific Reports*, **14**(1), 1936 (2024).
39. Shariful Islam M., Fardousi A., Sizar M. I., Rabbani M. G., Islam R., & Saif-Ur-Rahman K. M. Effect of leisure-time physical activity on blood pressure in people with hypertension: a systematic review and meta-analysis. *Scientific Reports*, **13**(1), 10639 (2023).
40. Königstein K., Dipla K., & Zafeiridis A. Training the Vessels: Molecular and Clinical Effects of Exercise on Vascular Health—A Narrative Review. *Cells* 2023, **12**, 2544 (2023).
41. Xin C., Ye M., Zhang Q., & He H. Effect of exercise on vascular function and blood lipids in postmenopausal women: a systematic review and network meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **19**(19), 12074 (2022).
42. Lyall G. K., Birk G. K., Harris E., Ferguson C., Riches-Suman K., Kearney M. T., ... & Birch K. M. Efficacy of interval exercise training to improve vascular health in sedentary postmenopausal females. *Physiological Reports*, **10**(16), e15441 (2022).
43. Manojlović M., Protić-Gava B., Maksimović N., Šćepanović T., Poček S., Roklicer R., & Drid P. Effects of combined resistance and aerobic training on arterial stiffness in postmenopausal women: a systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **18**(18), 9450 (2021).
44. Ekelund U., Sanchez-Lastra M. A., Dalene K. E., & Tarp J. Dose–response associations, physical activity intensity and mortality risk: a narrative review. *Journal of sport and health science*, **13**(1), 24 (2024).
45. Garcia L., Pearce M., Abbas A., Mok A., Strain T., Ali S., ... & Brage S. Non-occupational physical activity and risk of cardiovascular disease, cancer and mortality outcomes: a dose–response meta-analysis of large prospective studies. *British Journal of Sports Medicine*, **57**(15), 979 (2023).
46. Paluch A. E., Gabriel K. P., Fulton J. E., Lewis C. E., Schreiner P. J., Sternfeld B., ... & Carnethon M. R. Steps per day and all-cause mortality in middle-aged adults in the coronary artery risk development in young adults study. *JAMA Network Open*, **4**(9), e2124516 (2021).
47. del Pozo Cruz B., Ahmadi M. N., Lee I. M., & Stamatakis E. Prospective associations of daily step counts and intensity with cancer and cardiovascular disease incidence and mortality and all-cause mortality. *JAMA internal medicine*, **182**(11), 1139 (2022).
48. Manas A., del Pozo Cruz B., Ekelund U., Reyna J. L., Gómez I. R., Carreno J. A. C., ... & Ara I. Association of accelerometer-derived step volume and intensity with hospitalizations and mortality in older adults: a prospective cohort study. *Journal of Sport and Health Science*, **11**(5), 578 (2022).
49. Saint-Maurice P. F., Troiano R. P., Bassett D. R., Graubard B. I., Carlson S. A., Shiroma E. J., ... & Matthews C. E. Association of daily step count and step intensity with mortality among US adults. *Jama*, **323**(12), 1151 (2020).
50. Ekelund U., Dalene K. E., Tarp J., & Lee I. M. Physical activity and mortality: what is the dose response and how big is the effect?. *British journal of sports medicine*, **54**(19), 1125 (2020).

51. Qiu S., Cai X., Jia L., Sun Z., Wu T., Wendt J., ... & Schumann U. Does objectively measured light-intensity physical activity reduce the risk of cardiovascular mortality? A meta-analysis. *European Heart Journal-Quality of Care and Clinical Outcomes*, **7(5)**, 496 (2021).
52. Tarp J., Fagerland M. W., Dalene K. E., Johannessen J. S., Hansen B. H., Jefferis B. J., ... & Ekelund U. Device-measured physical activity, adiposity and mortality: a harmonised meta-analysis of eight prospective cohort studies. *British journal of sports medicine*, **56(13)**, 725 (2022).
53. Fizicheskaya aktivnost': informacionny'j byulleten' 2022 g. Rossijskaya Federaciya URL: https://cdn.who.int/media/docs/librariesprovider2/euro-health-topics/physical-activity/pa-russia-rus-version.pdf?sfvrsn=9509e5fc_2&download=true (дата обращения: 30.11.25).
54. Global'ny'e rekomendacii po fizicheskoy aktivnosti dlya zdorov'ya URL: https://minzdrav.gov.ru/system/attachments/attaches/000/016/375/original/9789244599976_rus.pdf?1389768711 (дата обращения: 30.11.25).
55. Gustafson M. P., Wheatley-Guy C. M., Rosenthal A. C., Gastineau D. A., Katsanis E., Johnson B. D., & Simpson R. J. Exercise and the immune system: taking steps to improve responses to cancer immunotherapy. *Journal for immunotherapy of cancer*, **9(7)**, e001872 (2021).
56. Etayo-Urtasun P., Izquierdo M., & Sáez de Asteasu M. L. Effects of Exercise on Autonomic Cardiovascular Function in Older Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, **1** (2025).
57. Activity M. P., & WHO Team. WHO guidelines on physical activity and sedentary behaviour. *World Health Organization* (2020).
58. Celik O., & Yildiz B. O. Obesity and physical exercise. *Minerva endocrinology*, **46(2)**, 131 (2020).
59. Li H., Lynn H. S., & Zipunnikov V. Sex and Age Differences in Association between Physical Activity and Metabolic Syndrome: Results from NHANES 2003–2006. In *Healthcare* (Vol. 11, No. 8, p. 1059). MDPI. (2023, April).
60. Liang M., Pan Y., Zhong T., Zeng Y., & Cheng A. S. Effects of aerobic, resistance, and combined exercise on metabolic syndrome parameters and cardiovascular risk factors: a systematic review and network meta-analysis. *Reviews in cardiovascular medicine*, **22(4)**, 1523 (2021).
61. Schroeder E. C., Franke W. D., Sharp R. L., & Lee D. C. Comparative effectiveness of aerobic, resistance, and combined training on cardiovascular disease risk factors: A randomized controlled trial. *PloS one*, **14(1)**, e0210292 (2019).
62. Cho J. H., Ko J., & Lim S. T. Relationship between metabolic syndrome and moderate-to-vigorous physical activity among adults 18 years old and over. *PloS one*, **16(10)**, e0258097 (2021).
63. Oppert J. M., Bellicha A., & Ciangura C. Physical activity in management of persons with obesity. *European journal of internal medicine*, **93**, 8 (2021).
64. Al-Mhanna S. B., Rocha-Rodriguesc S., Mohamed M., Batrakoulis A., Aldhahi M. I., Afolabi H. A., ... & Badicu G. Effects of combined aerobic exercise and diet on cardiometabolic health in patients with obesity and type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, **15(1)**, 165 (2023).