



УДК 616.7–009.17: 615.825–084–053.9

<https://doi.org/10.31146/1682-8658-ecg-228-8-226-241>

Физические тренировки в комплексной программе профилактики и лечения саркопении у гериатрических пациентов

Курмаев Д. П., Булгакова С. В., Тренева Е. В., Косарева О. В., Мерзлова П. Я., Шаронова Л. А., Долгих Ю. А.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, (ул. Чапаевская, д. 89, г. Самара, 443099, Самарская область, Россия)

Для цитирования: Курмаев Д. П., Булгакова С. В., Тренева Е. В., Косарева О. В., Мерзлова П. Я., Шаронова Л. А., Долгих Ю. А. Физические тренировки в комплексной программе профилактики и лечения саркопении у гериатрических пациентов. Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2024;(8): 226–241. doi: 10.31146/1682-8658-ecg-228-8-226-241

✉ Для переписки:

Курмаев

Дмитрий

Петрович

geriatry@mail.ru

Курмаев Дмитрий Петрович, кандидат медицинских наук, ассистент кафедры эндокринологии и гериатрии
Булгакова Светлана Викторовна, доктор медицинских наук, доцент, заведующий кафедрой эндокринологии и гериатрии
Тренева Екатерина Вячеславовна, кандидат медицинских наук, доцент кафедры эндокринологии и гериатрии
Косарева Ольга Владиславовна, кандидат медицинских наук, доцент кафедры эндокринологии и гериатрии
Мерзлова Полина Ярославовна, ассистент кафедры эндокринологии и гериатрии
Шаронова Людмила Александровна, кандидат медицинских наук, доцент кафедры эндокринологии и гериатрии
Долгих Юлия Александровна, кандидат медицинских наук, доцент кафедры эндокринологии и гериатрии

Резюме

Мышцы играют важную роль в повседневной деятельности. У здорового человека скелетные мышцы составляют примерно 40% от общей массы тела и содержат 50–75% всех белков организма. Во время старения и/или при наличии сопутствующих факторов риска происходит потеря силы, массы и функции скелетной мускулатуры. Саркопения широко распространена среди людей старших возрастных групп и связана с увеличением риска неблагоприятных исходов, включая падения, снижение функциональных возможностей, старческую астению и смертность. Недостаток физической активности в пожилом возрасте является важным фактором риска развития саркопении. Поэтому основным методом профилактики и замедления прогрессирования возрастной саркопении является физическая активность. Хотя физическая активность не может полностью подавить процесс саркопении и связанное с возрастом ухудшение функции мышц, физические тренировки могут отсрочить начало саркопении и снизить ее тяжесть. В этом обзоре литературы представлена актуальная информация о физиологических, биохимических, гормональных эффектах физических упражнений. Рассмотрены основные виды физических нагрузок, которые могут применяться для профилактики и лечения саркопении у гериатрических пациентов, преимущества и недостатки различных видов физических упражнений.

Ключевые слова: физические тренировки, здоровое старение, геронтология, саркопения, старческая астения, синтез мышечного белка, мишень рапамицина млекопитающих, mTOR, анаболизм.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.



Physical training in a comprehensive program of prevention and treatment of sarcopenia in geriatric patients

D. P. Kurmaev, S. V. Bulgakova, E. V. Treneva, O. V. Kosareva, P. Ya. Merzlova, L. A. Sharonova, Yu. A. Dolgikh

Samara State Medical University of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, (89, Chapaevskaya str., Samara, 443099, Russia)

For citation: Kurmaev D. P., Bulgakova S. V., Treneva E. V., Kosareva O. V., Merzlova P. Ya., Sharonova L. A., Dolgikh Yu. A. Physical training in a comprehensive program of prevention and treatment of sarcopenia in geriatric patients. *Experimental and Clinical Gastroenterology*. 2024;(8): 226–241. (In Russ.) doi: 10.31146/1682-8658-ecg-228-8-226-241

✉ **Corresponding**

author:

Dmitry P. Kurmaev

geriatry@mail.ru

Dmitry P. Kurmaev, PhD (Medicine), assistant of department of Endocrinology and geriatrics; ORCID: 0000–0003–4114–5233

Svetlana V. Bulgakova, MD, PhD, the associate professor, Head of department of Endocrinology and geriatrics;

ORCID: 0000–0003–0027–1786

Ekaterina V. Treneva, PhD (Medicine), assistant of professor of department of Endocrinology and geriatrics;

ORCID: 0000–0003–0097–7252

Olga V. Kosareva, PhD (Medicine), assistant of professor of department of Endocrinology and geriatrics;

ORCID: 0000–0002–5754–1057

Polina Ya. Merzlova, assistant of department of Endocrinology and geriatrics; ORCID: 0009–0004–6243–6528

Lyudmila A. Sharonova, PhD (Medicine), assistant of professor of department of Endocrinology and geriatrics;

ORCID: 0000–0001–8827–4919

Yuliya A. Dolgikh, PhD (Medicine), assistant of professor of department of Endocrinology and geriatrics;

ORCID: 0000–0001–6678–6411

Summary

Muscles play an important role in daily activities. In a healthy person, skeletal muscles make up about 40% of the total body weight and contain 50–75% of all body proteins. During aging and/or in the presence of concomitant risk factors, there is a loss of strength, mass and function of skeletal muscles. Sarcopenia is widespread among older people and is associated with an increased risk of adverse outcomes, including falls, decreased functionality, frailty and mortality. Lack of physical activity in old age is an important risk factor for sarcopenia. Therefore, physical activity is the main method of preventing and slowing the progression of age-related sarcopenia. Although physical activity cannot completely suppress the process of sarcopenia and age-related deterioration of muscle function, physical training can delay the onset of sarcopenia and reduce its severity. This literature review provides up-to-date information on the physiological, biochemical, and hormonal effects of exercise. The main types of physical activity that can be used for the prevention and treatment of sarcopenia in geriatric patients, the advantages and disadvantages of various types of physical exercise are considered.

Keywords: physical training, health ageing, gerontology, sarcopenia, frailty, muscle protein synthesis, mammalian target of rapamycin, mTOR, anabolism

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

Введение

Старение организма сопровождается прогрессирующей потерей клеточных функций и системным ухудшением состояния многих тканей, что приводит к повышенной уязвимости организма в целом [1]. Факторы, способствующие возникновению физических ограничений с возрастом, разнообразны. Однако одним из основных факторов, способствующих снижению массы скелетных мышц с возрастом, является саркопения [2]. Термин «саркопения», в основном используется для описания постепенной и общей потери силы, массы скелетных мышц (в основном мышечных волокон II типа) и их функций [3]. Mitchell W. K.

et al. (2012) показали, что среднее снижение массы скелетных мышц на протяжении всей жизни составляет 0,37% и 0,47% в год у женщин и мужчин соответственно, причем у людей в возрасте 75 лет и старше скорость потери мышечной массы еще выше [4].

Мышцы играют важную роль в повседневной деятельности. У здорового человека скелетные мышцы составляют примерно 40% от общей массы тела и содержат 50–75% всех белков организма. Поддержание или увеличение мышечной массы является ключевым компонентом для улучшения повседневной деятельности, а также

функциональности в повседневной жизни и спорте. Группы скелетных мышц тела человека состоят из пучков мышечных волокон. На уровне всей мышцы ее размер в основном определяется количеством и размером отдельных мышечных волокон. Двумя наиболее распространенными миофиламентами (мышечными сократительными белками) являются актин и миозин, которые вместе составляют примерно 70–80% общего содержания белка в одном волокне. Скелетные мышечные волокна делятся на два типа: тип I – медленные, и тип II – быстрые [3]. В отличие от здоровых взрослых людей, занимающихся физическими упражнениями и спортсменов, которые легко поддерживают или даже увеличивают мышечную массу с помощью физических упражнений и диеты в соответствии с современными рекомендациями, пожилые люди с заболеваниями и сопутствующими патологиями требуют особого внимания [5]. Поддержание мышечной массы в популяции людей старших возрастных групп, из-за сопутствующих старению патологических состояний затруднено [3].

Патологическое снижение мышечной массы опасно. Действительно, ускоренная потеря мышечной силы, массы и функции связана с увеличением числа неблагоприятных исходов, включая падения, снижение функциональных возможностей, старческую астению и смертность [2]. Саркопения оказывает глубокое негативное воздействие на общее состояние здоровья и качество жизни, включая снижение самостоятельности, подвижности и повседневной активности, остеопороз, повышенный риск падений и переломов, проблемы с обменом веществ и хронические заболевания, такие как диабет и сердечно-сосудистые заболевания [6–10].

Старение связано с изменениями в композиционном составе тела [11]. Как потеря массы скелетных мышц, так и увеличение массы жировой ткани являются общими признаками старения [4, 12]. Ожирение является еще одной основной причиной физических ограничений у пожилых и старых людей [13]. Сосуществование саркопии и ожирения, известного как саркопеническое ожирение, оказывает еще более пагубное влияние, поскольку саркопения и ожирение действуют синергетически, поэтому последствия саркопенического ожирения более серьезны, чем при саркопии или ожирении по отдельности [14]. Ещё в 2008 году Stenholm S. et al. было показано, что пожилые люди с низкой массой и силой скелетных мышц подвержены риску ожирения в 1,95–2,62 раза больше по сравнению с пожилыми людьми с нормальной массой скелетных мышц [15]. Саркопеническое ожирение увеличивает риск метаболических нарушений, что приводит к развитию ряда хронических метаболических заболеваний [11, 16, 17, 18].

Важным фактором риска как саркопии, так и ожирения является снижение с возрастом расхода энергии, что является результатом снижения физической активности, а также связанного

с тощей массой тела снижения основного обмена, что часто наблюдается в пожилом возрасте [19]. Кроме того, физиологические факторы, связанные с возрастом, такие как изменение уровня гормонов, сосудистые изменения, воспаление низкой степени выраженности и иммунологические факторы, могут способствовать развитию как саркопии, так и ожирения [16]. Развитие саркопии связано с низким уровнем физической активности и недостаточным потреблением питательных веществ [10, 20, 21].

Основным методом профилактики и замедления прогрессирования возрастной саркопии является физическая активность. Недостаток физической активности в пожилом возрасте является важным фактором риска развития саркопии [22]. По мнению Maccarone M. C. et al. (2023), учитывая растущую распространенность саркопии среди стареющего населения, важно применять реабилитационные и профилактические стратегии для лечения саркопии, которые можно проводить вне больничных условий. Простые упражнения, подходящие для ежедневного домашнего использования даже пациентами с ограниченной подвижностью, по-видимому, способствуют снижению возрастной потери мышечной массы и его последствия. Физические упражнения не только полезны для физического здоровья, но и играют важную роль в повышении эмоционального и психического благополучия пожилых людей [23]. Миокины, вырабатываемые скелетными мышцами, играют жизненно важную роль в контроле мышечной гипертрофии, функции и метаболического баланса. Дисфункция миокинов может спровоцировать и усугубить патогенез основных метаболических и возрастных нарушений, таких как ожирение, саркопения, сахарный диабет 2 типа (СД2). Физическая активность, в дополнение к правильному питанию, является единственным практическим способом отсрочить развитие саркопии и методом ее лечения. Хотя физическая активность не может полностью подавить процесс саркопии и связанное с возрастом ухудшение функции мышц, она, безусловно, может отсрочить начало саркопии и снизить ее тяжесть. Вот почему настоятельно рекомендуется заниматься физическими упражнениями, включающими в себя как силовые тренировки, так и тренировки на выносливость в соответствующих дозах, даже в пожилом возрасте [22].

Таким образом, физические упражнения играют ключевую роль в профилактике и лечении саркопии. В настоящее время среди исследователей ведутся активные споры о том, какой тип программы тренировок является наиболее эффективным для поддержания хорошего качества жизни пожилых людей.

Цель обзора литературы: представить актуальную информацию о различных видах физических упражнений, которые могут применяться для профилактики и/или лечения саркопии у гериатрических пациентов.

Физиологические и биохимические эффекты физических упражнений

Физические нагрузки привлекают все больше внимания ученых и врачей, как специфические активаторы метаболизма и синтеза биологически активных соединений, вырабатываемых скелетными мышцами, печенью, жировой клетчаткой и другими тканями [24]. В рекомендациях по физической активности Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) на 2020 год предлагается взрослым людям заниматься по 150–300 минут в неделю аэробной физической активностью средней интенсивности, или 75–150 минут аэробной физической активностью высокой интенсивности, или эквивалентным сочетанием умеренной и интенсивной физической активности в течение недели [25]. В крупномасштабном эпидемиологическом исследовании «Effect of physical inactivity on major non-communicable diseases worldwide: An analysis of burden of disease and life expectancy» (Lee I. M. et al., 2012), было показано, что физические упражнения оказывают различные системные эффекты, включая косвенные эффекты из-за уменьшения жира, а также прямые эффекты, такие как поддержание массы мускулатуры за счет сокращения мышц [26].

В последние годы уделяется внимание скелетным мышцам как эндокринному органу, который выделяет различные вещества. Физиологически активные вещества, выделяемые скелетными мышцами, называются миокинами. Термин «миокин» был введен в 2003 году Pedersen B. K. et al., и объединяет «*myo*», что означает «мышца» и «*kine*», что означает «действие» [27]. Миокины секретируются при сокращении скелетных мышц, транспортируются в крови по всему организму в виде аутокринных, паракринных или эндокринных веществ, и оказывают воздействие на отдаленные органы-мишени. Идентифицировано более 300 миокинов, и продолжают открываться новые [28]. Миокины – это цитокины и другие пептиды, которые продуцируют, экспрессируют и высвобождают мышечные волокна и которые оказывают паракринное и/или эндокринное действие. Они секретируются скелетными мышцами в кровеносные сосуды, что позволяет им оказывать системное эндокринное воздействие на органы по всему организму. Миокины участвуют в гомеостазе организма и адаптации к окружающей среде. Кроме того, эти факторы участвуют в регуляции иммунной системы и влияют на поддержание гомеостаза других тканей, включая жировую ткань и печень [29]. Дисфункция миокинов может вызывать и усугублять как ожирение, так и саркопению. По мнению Bilski J. et al. (2022), единственными способами предотвратить и замедлить прогрессирование саркопении, особенно саркопенического ожирения, являются физическая активность и правильное питание. Хотя физические упражнения не могут полностью предотвратить саркопению и связанную с возрастом потерю мышечной функции, они, безусловно, могут задержать развитие и замедлить скорость саркопении [22].

Поддержание массы и функции скелетных мышц многогранно и зависит от сложных регуляторных процессов в ответ на старение, болезни и травмы,

физические упражнения и диету. Эти процессы включают процесс миогенеза и, в частности, активацию мышечных клеток-сателлитов и пролиферацию миобластов; выход миобластов из клеточного цикла, их последующую дифференцировку и слияние в многоядерные мышечные волокна. Они также включают процессы восстановления и реконструкции мышечной ткани и баланс между расщеплением белков скелетных мышц и их синтезом [24]. В организме существует динамический баланс между синтезом и распадом мышечных белков. Гипертрофия мышц возникает, когда синтез белков превышает их распад, а атрофия скелетных мышц возникает, когда распад преобладает. Этому процессу также будут способствовать недостаточная физическая активность [22].

Рост и регенерация опорно-двигательного аппарата в значительной степени регулируются инсулиноподобным фактором роста-1 (IGF-1). Хотя основным источником IGF-1 является печень, которая отвечает примерно за 75% циркулирующего IGF-1, многие другие внепеченочные ткани также наделены способностью вырабатывать IGF-1 [30]. IGF-1 функционирует как фактор роста и регулятор, влияющий на катаболические и анаболические пути в скелетных мышцах главным образом через PI3K/Akt/мишень рапамицина у млекопитающих (mTOR) и PI3K/Akt/гликогенсинтазную киназу 3β (Gsk3β). Akt-киназа (Akt kinase), также известная как «протеинкиназа B» (protein kinase B, PKB), является центральным компонентом этого каскада. Активация этого пути необходима для того, чтобы запустить гипертрофию скелетных мышц, вызванную нагрузкой. mTOR присутствует, по крайней мере, в двух белковых комплексах, известных как mTORC1 и mTORC2. На фоне саркопении нарушается этот путь регуляции, что может играть определенную роль в патогенезе нарушений скелетной мускулатуры [22]. По мнению Yoshida T., Delafontaine P. (2020), нормальная экспрессия IGF-1 в скелетных мышцах имеет решающее значение для поддержания мышечной массы. Локальная сверхэкспрессия IGF-1 в стареющих скелетных мышцах поддерживает гипертрофию и регенерацию мышц [30].

Важное значение имеет активация PI3K/Akt/mTOR во время физических нагрузок. Физические упражнения значительно увеличивают количество высвобождаемых миокинов, вызванных сокращением мышц. В связи с тем, что компоненты опорно-двигательной системы выделяют множество факторов, которые участвуют в физиологических и патологических процессах, Chow L. S. et al. (2022) была выдвинута концепция экзеркинов – регуляторов физической нагрузки. Экзеркины определяются как сигнальные молекулы, высвобождаемые в ответ на кратковременную и/или длительную физическую нагрузку, которые оказывают свое воздействие через паракринные, эндокринные и/или аутокринные пути. Множество органов, клеток и тканей выделяют эти факторы, включая скелетные мышцы (миокины), сердце (кардиокины),

печень (гепатокины), белую жировую ткань (адипокины), бурую жировую ткань (батыкины) и нейроны (нейрокины) [31].

Следует отметить важную роль костной ткани для метаболизма мышц. Кости и мышцы дополняют друг друга в локомоторной функции. Мышца сама по себе нуждается в кости в качестве точки прикрепления и опоры, и мышечная работа также может способствовать росту и развитию костей [20]. Согласно данным Zhao Z. et al. (2024), взаимодействие между мышечной и костной тканью существует на протяжении всей жизни. Биоактивные факторы, секретируемые мышцами, секретируются внутренним/паракринным путем, высвобождаются синаптическими пузырьками, воздействуют на костную ткань и оказывают влияние на метаболизм костей; Сигнальные факторы, секретируемые в костях, непосредственно воздействуют на кости через паракринные пути регуляции, а также могут влиять на мышцы посредством эндокринной функции [24]. Сообщалось, что миокины, включая миостатин, IL-6, иризин и многие другие, индуцируются физическими упражнениями. Рецепторы этих факторов экспрессируются в костных клетках, что позволяет регулировать костную ткань факторами, происходящими из скелетных мышц. Vinel S. et al. (2018) обнаружено, что апелин – миокин, индуцирующий сокращение мышц, уровень которого снижается с возрастом, положительно связан с пользой физических упражнений для здоровья пожилых людей. Дефицит либо апелина, либо его рецептора приводил к ухудшению функции мышц на фоне старения [32]. Физические упражнения могут побудить скелетные мышцы выделять IGF-1 и способствовать высвобождению остеогенных факторов и формированию кости. В то же время повышенный уровень IGF-1 также участвует в гипертрофии мышечных волокон, увеличивает мышечную силу и ингибирует потерю мышечной массы [33, 34, 35].

Капилляризация скелетных мышц может влиять как на кардиореспираторную работоспособность, так и на мышечный анаболизм. Усиленная капилляризация улучшает газообмен и обмен метаболитов между кровью и мышечной тканью, что приводит к улучшению пикового поглощения кислорода. Увеличение притока крови к мышцам требуется для поддержания гипертрофии мышечных волокон и активации клеток-сателлитов у пожилых людей путем облегчения доставки питательных веществ, цитокинов и факторов роста. Исследование Prior S. J. et al. (2016) показало, что пожилые люди с саркопенией имеют более низкие значения индексов капилляризации по сравнению с контрольной группой, не страдающей саркопенией. В совокупности появляющиеся данные свидетельствуют о том, что снижение капилляризации с возрастом может способствовать развитию саркопении и функциональных нарушений у пожилых людей [36]. Leuchtmann A. B. et al. (2020) считают, что для здоровья мышц огромное значение имеет улучшение капилляризации. Во-первых, усиленная капилляризация обеспечивает улучшенный обмен между кровью и тканями и может привести к большей доставке глюкозы и метаболизму

в скелетных мышцах. Во-вторых, усиленная капилляризация может увеличить кровоток в ногах в ответ на физическую нагрузку. Увеличенный приток крови к бедренной артерии потенциально может ослабить распад мышечного белка после физических упражнений и может привести к положительному балансу метаболизма белка. В-третьих, адекватное кровоснабжение является критическим фактором для поддержания или увеличения мышечной массы в ответ на физическую нагрузку [37].

При ожирении может происходить патологический процесс, называемый миостеатоз. Жировая инфильтрация мышечной ткани (миостеатоз) в значительной степени способствует ухудшению функции мышц с возрастом. Жиры могут накапливаться в самих мышечных волокнах, называемых внутримышечным жиром (IMC), а также между пучками скелетных мышц и под мышечной фасцией, называемыми межмышечным жиром (IMAT) [38]. Повышенное накопление IMAT приводит к нарушению сократительной способности скелетных мышц и их метаболической дисфункции [39]. Миостеатоз также приводит к нарушению обмена веществ из-за липотоксичности и резистентности к инсулину. Кроме того, это связано с воспалением и может привести к нарушению функции и качества мышц [40].

Интересно, что степень миостеатоза может различаться в зависимости от типа мышечных волокон. Так, Gueugneau M. et al. (2015) было показано, что мышечные волокна I типа с возрастом накапливают больше липидов, чем волокна II типа [41]. Более того, Mastrocola R. et al. (2015) обнаружили, что накопление жировой ткани в скелетных мышцах может способствовать преобразованию волокон II типа в волокна I типа и снижению силы скелетных мышц [42]. Следует также отметить, что внутримышечный жир также может выделять провоспалительные адипокины, способствующие системному воспалению и негативно влияющие на метаболизм скелетных мышц [22, 43].

Дисфункция митохондрий и старение клеток являются отличительными признаками старения и тесно взаимосвязаны. Митохондриальная дисфункция, определяемая как снижение дыхательной способности каждой митохондрии в сочетании со снижением мембранного потенциала митохондрий, обычно сопровождающееся повышенной выработкой свободных радикалов кислорода, является причиной и следствием клеточного старения и играет важную роль в многочисленных циклах обратной связи, которые индуцируют и поддерживают фенотип старения [44]. Митохондрии играют важную роль в развитии заболеваний, связанных со старением, таких как нейродегенеративные и сердечно-сосудистые заболевания. Старение и возрастные заболевания тесно связаны с дисбалансом выработки энергии в митохондриях, который может быть устранен с помощью различных мер, включая физическую активность [45]. Как известно, физические упражнения – основной метод увеличения мышечной массы. Также тренировки могут способствовать синтезу мышечного белка и активировать сигнальные пути, которые регулируют метаболизм и функцию мышечных волокон

[46]. Физические упражнения имеют решающее значение для поддержания здорового энергетического баланса, являются мощным анаболическим стимулом, а также могут улучшить мышечную силу, походку, равновесие [47].

Существуют доказательства благоприятного действия физических нагрузок на митохондрии и их функцию. Bell R. A.V. et al. (2016) сообщалось, что физические упражнения могут на 40% увеличить объем митохондрий. Митохондрии чувствительны к сократительным сигналам, поэтому физические упражнения могут улучшить функцию митохондрий и способствовать биосинтезу белка, что в конечном итоге поддерживает здоровое состояние клеток и всего организма. В частности, физические упражнения, независимо от диеты, приводят как к увеличению синтеза мышечной массы, так и к ее распаду. Этот непрерывный оборот мышечных белков приводит к эффективному восстановлению и обновлению поврежденных (механически, в результате окисления или иным образом) белков [48]. Во время физических упражнений факторы, регулирующие биогенез митохондрий, увеличиваются, что напрямую усиливает синтез митохондриального белка. При старении скелетных мышц митохондрии становятся меньше, с более медленным метаболизмом и снижением биосинтеза, что приводит к быстрому снижению мышечной массы и параметров мышечной работоспособности. Умеренные физические нагрузки могут защитить митохондрии от уменьшения объема и патологического биогенеза, вызванного старением, и, следовательно, ослабить связанное с возрастом снижение массы скелетных мышц [3].

В целом, отсутствие физической активности также способствует развитию саркопении, будь то из-за малоподвижного образа жизни или связанной с болезнью неподвижности или инвалидности [49]. Саркопения чаще встречается у лиц старшего возраста, имеющих недостаточную физическую активность, поэтому лечебная физкультура рекомендована всем пациентам. По сравнению с фармакотерапией, адекватная физическая активность более доступна, более экономична. Регулярные занятия обеспечивают восстанавливающий и укрепляющий эффект на эндотелий, снижают риск сердечно-сосудистых событий, связанных с тромбозом, например, инфаркт миокарда, инсульт. В отличие от физических упражнений, ни одно лекарственное вмешательство не доказало свою эффективность для поддержания физического состояния мышц [50]. Обычно гериатрическим пациентам рекомендованы занятия циклическими аэробными упражнениями, пешие прогулки с привычной для пациента скоростью, а также ходьба с изменением темпа и направления, подъем по ступенькам, скандинавская ходьба. Новейшие достижения геронтологии рекомендуют для профилактики саркопении тренировки с отягощением и интервальные тренировки высокой интенсивности [51].

Среди силовых упражнений высокоинтенсивные интервальные тренировки (high-intensity interval training, HIIT) выделяются как наиболее эффективный подход к улучшению мышечной функции у пожилых людей с саркопенией. HIIT улучшает состав тела, функциональную и кардиореспираторную способность, улучшает мышечную силу, улучшает качество и структуру мышц и связана с их гипертрофией у здоровых пожилых людей [52].

Стратегии физических упражнений

Физические упражнения являются эффективной стратегией лечения различных нозологий [24]. Физические упражнения применяются для увеличения мышечной массы, мышечной силы и физической работоспособности у пожилых людей с саркопенией [53]. Потенциальные механизмы, с помощью которых физические упражнения могут способствовать улучшению показателей саркопении и ожирения, являются многофакторными. Так, физические упражнения играют важную роль в регулировании энергетического баланса. Энергозатраты, связанные с физическими упражнениями, в сочетании с гипокалорийной диетой могут привести к улучшению энергетического баланса. Физические упражнения часто являются компонентом стратегий, направленных на потерю жировой массы у пожилых людей с ожирением [54].

Кроме того, физические упражнения могут улучшить параметры физического функционирования, такие как сила хвата кисти, скорость походки, равновесие и аэробные способности, как у пациентов с саркопенией, так и у лиц, страдающих ожирением [55]. Наконец, физические упражнения, наряду с приемом пищи, являются основным анаболическим стимулом, который приводит к синтезу мышечного белка. Хотя расщепление мышечного

белка также стимулируется физическими упражнениями, в состоянии сытости чистый баланс расщепления и синтеза белка после тренировки увеличивается, что приводит к увеличению количества мышечного белка и, следовательно, к гипертрофии мышц [54].

При саркопеническом ожирении важно сохранить массу скелетных мышц при одновременном снижении жировой массы. Силовые упражнения и достаточное количество белка являются основными способами сохранения массы скелетных мышц, а также их функционального состояния. Поэтому для лечения саркопенического ожирения необходима комплексная стратегия лечения, направленная на ограничение суммарной калорийности пищи при достаточном поступлении белка и увеличение физической активности [55]. Liu C. et al. в 2023 году было опубликовано исследование «Роль ожирения в развитии саркопении и оптимальный состав тела для профилактики саркопении и ожирения». Целью этого исследования было изучение взаимосвязи между ожирением и саркопенией, а также оптимального соотношения жира и мышц у пожилых людей. В исследовании приняли участие 1637 пожилых людей (74,8 ± 7,8 лет). Не только жировая масса, но и мышечные показатели

положительно коррелировали с ИМТ и массой тела ($p < 0,05$). Абсолютная мышечная и жировая масса имели положительную связь ($p < 0,05$). Мышечная масса и сила были отрицательно связаны с процентом аппендикулярной жировой массы ($p < 0,05$). Риск саркопении снижался с увеличением ИМТ у обоих полов. У мужчин он повышался при увеличении процента массы тела, но у женщин имел U-образную кривую. Масса скелетных мышц имела сильную положительную

взаимосвязь с абсолютной массой жира, но отрицательную – с процентом аппендикулярной жировой массы [56].

Основной целью физических упражнений является улучшение подвижности и самостоятельно-сти пациентов с саркопенией, за счет повышения эластичности, силы и выносливости мышц. При назначении упражнений следует учитывать интенсивность, объем, частоту и последовательность тренировок.

Силовые упражнения (упражнения с отягощениями)

Силовые упражнения считаются «золотым стандартом» для стимулирования гипертрофии мышц. Помимо улучшения самочувствия и качества жизни, тренировки с отягощением оказывают благотворное влияние при хронических заболеваниях, таких как ожирение и диабет, лёгочных и сердечно-сосудистых патологиях, и обладают защитным эффектом от старения [51].

Силовые тренировки считаются важной стратегией борьбы с саркопенией; они способствуют активации и пролиферации сателлитных клеток и усиливают синтез мышечного белка, одновременно препятствуя их разрушению, что приводит к увеличению массы и силы скелетных мышц. Упражнения с отягощениями стимулируют передачу сигналов mTOR, которые отвечают за изменения в синтезе белка [22]. Stokes T. et al. (2018) показано, что физические упражнения обладают потенциалом для увеличения минеральной плотности костной ткани и гипертрофии скелетных мышц, непосредственно воздействуют на скелетные мышцы и кости. Особенно эффективны силовые упражнения [57]. Упражнения с отягощениями широко рекомендуются для увеличения мышечной массы и функции скелетных мышц у пожилых людей [58, 59, 60]. Систематические упражнения с отягощениями увеличивают размер мышечных волокон, особенно второго типа. Рост интенсивности силовых тренировок и вовлечение более крупных групп мышц, по-видимому, дает более значительные эффекты [47, 61]. Упражнения с отягощениями рассматриваются как наиболее эффективная стратегия, чтобы вызвать гипертрофию мышц и улучшить их функцию и силу у пожилых людей [53, 62, 63]. Поскольку в пожилом возрасте гипертрофический потенциал скелетных мышц снижается, пациентам рекомендуется начинать силовые упражнения как можно раньше [61, 63]. Таким образом, силовые упражнения являются мощной стратегией противодействия саркопении у пожилых людей.

Влиянию силовых упражнений на состав тела и функцию скелетных мышц у пожилых людей с саркопеническим ожирением уделялось относительно мало внимания. Некоторые авторы показывают, что силовые упражнения эффективно улучшают состав тела, мышечную силу и физическую работоспособность у этих людей [22, 54, 64, 65]. Большинство исследований было проведено среди пожилых людей, страдающих ожирением без саркопении. Например, метаанализ 49 исследований (Peterson M. D. et al., 2011), в которых приняли участие в общей сложности

1328 человек в возрасте 50 лет и старше, показал, что в среднем масса скелетных мышц увеличилась на 1,1 кг (95% ДИ: 0,9–1,2, $p < 0,01$) в среднем после 20,5 недель силовых тренировок в течение двух недель до трех раз в неделю [63]. Другой мета-анализ, проведенный Peterson M. D. et al. (2010) также продемонстрировал влияние силовых упражнений на мышечную силу у 1079 пожилых людей, у которых в среднем за 17,6 недель мышечная сила увеличилась на 33% ($p < 0,01$), в зависимости от типа мышц [62]. Vasconcelos K. S. et al. показали, что 10-недельная программа силовых упражнений не была эффективной для улучшения физических функций (–0,14, 95% ДИ: –1,04–0,76), силы (–0,6 кг, 95% ДИ: –0,09–1,2) или мощности (–13 Вт, 95% ДИ: –1,4–28) у пожилых женщин с саркопеническим ожирением по сравнению с контрольной группой, не занимавшейся физическими упражнениями [66]. Возможно, этому результату способствовали относительно короткая продолжительность вмешательства и небольшой размер выборки.

Gadelha A. B. et al. (2016), однако, доказали эффективность силовых тренировок на саркопеническое ожирение у пожилых женщин. В этом рандомизированном контролируемом исследовании, основанном на базовой выборке, 113 добровольцев ($67,0 \pm 5,2$ года) были случайным образом распределены в контрольную группу ($n=64$) или экспериментальную группу ($n=69$). Участники эксперимента принимали участие в 24-недельной программе физической подготовки, которая проводилась три раза в неделю. В конце программы обучения были повторены измерения состава тела. В экспериментальной группе было выявлено улучшение как силы (1,24 кг, $p < 0,001$), так и массы скелетных мышц (0,29 кг, $p < 0,001$) по сравнению с контрольной группой [65]. Кроме того, в 12-недельном интервенционном исследовании (Liao C. D. et al., 2017) изучалось влияние упражнений с эластичным биндажом на пожилых женщин с саркопеническим ожирением и было показано, что масса скелетных мышц (0,73 кг, 95% ДИ: 0,08–1,39, $p < 0,05$), качество мышц (2,63 кг/кг, 95% ДИ: 1,21–4,05, $p < 0,01$) и физическая работоспособность (8,58, 95% ДИ: 4,79–12,36, $p < 0,001$) были значительно улучшены по сравнению с группой, не занимавшейся физическими упражнениями [64]. Аналогичные результаты были получены Huang S. W. et al. (2017) в ходе тренировочной программы, которая включала в себя упражнения с эластичной лентой в течение 12 недель у пожилых женщин с саркопеническим

ожирением, что, кроме того, также продемонстрировало значительное снижение жировой массы по сравнению с группой, не занимавшейся физическими упражнениями [67]. В исследовании Chen T. et al. (2017), сообщалось, что 8 недель силовых упражнений у 60 пожилых людей с саркопеническим ожирением привели к сохранению массы скелетных мышц (0,1 кг, $p < 0,05$), уменьшению массы жира (-1,0 кг, $p < 0,05$) и увеличению силы хвата (3,5 кг, $p < 0,05$), по сравнению с группой, не занимающейся физическими упражнениями [68].

Аэробные тренировки

Аэробные упражнения могут быть важным способом улучшения мышечной функции за счет повышения аэробной способности мышц у пожилых людей. По мнению Erlich A. T. et al. (2016), хотя физические нагрузки низкой и умеренной интенсивности (аэробные упражнения) в целом оказывают гораздо меньшее влияние на увеличение мышечной массы, чем силовые тренировки, но они способствуют укреплению сердечно-сосудистой системы, оказывают противовоспалительное действие, снижают окислительные процессы, стресс и резистентность к инсулину и играют важную роль в контроле массы тела [69]. Кроме того, аэробные тренировки могут оказывать благотворное влияние на поддержание нужной массы жировой ткани и противодействовать развитию ожирения [70]. Chen T. et al. (2017) продемонстрировали, что аэробные тренировки значительно снижают общее количество жира, в том числе массу висцеральной жировой ткани у пациентов с саркопеническим ожирением. Интересно, что более существенный эффект наблюдался после сочетания аэробных и силовых тренировок [68].

Аэробные упражнения могут улучшить работоспособность, инициируя адаптацию митохондрий, улучшая сердечно-сосудистую функцию (в том числе, увеличивая ударный объем сердца) и увеличивая плотность капилляров в мышечной ткани [22]. Yoo S. Z. et al. (2018) полагают, что аэробные упражнения обеспечивают, по крайней мере, частичное решение проблемы саркопении, поскольку они устраняют проблемы, связанные с митохондриями, а силовые упражнения укрепляют мышечную массу и функциональные возможности. Более того, сочетание этих видов упражнений обеспечивает преимущества обоих. В совокупности, комбинированные физические упражнения являются наиболее эффективным средством борьбы с возрастной саркопенией [47].

По мнению Alizadeh Pahlavani H. et al. (2022), дисфункция митохондрий является важной причиной саркопении. Окислительный стресс и снижение антиоксидантной защиты митохондрий образуют порочный круг, который приводит к усилению разделения митохондрий, подавлению слияния/деления митохондрий, ингибированию цепи переноса электронов, снижению выработки АТФ, увеличению повреждения митохондриальной ДНК и нарушению биогенеза митохондрий.

Однако, по мнению Yoo S. Z. et al. (2018), упражнения с отягощениями, несмотря на их преимущества, имеют некоторые недостатки: они могут увеличить риск получения травмы, а большое количество повторений может вызвать скуку и увеличить риск прекращения тренировок [47].

В целом, большинство упомянутых исследований показали, что силовые упражнения являются эффективной стратегией улучшения состава тела при саркопении и могут увеличить силу и физическую работоспособность.

С другой стороны, аэробные физические упражнения укрепляют здоровую митохондриальную сеть за счет увеличения показателей слияния и деления митохондрий и превращения дефектных митохондрий в эффективные. Саркопения также приводит к снижению динамики митохондрий, маркеров митофагии и эффективности митохондриальной сети за счет повышения уровня активных форм кислорода и апоптоза. Напротив, физические упражнения усиливают биогенез митохондрий и приводят к образованию новых митохондриальных сетей. Следовательно, физические упражнения умеренной интенсивности могут быть использованы в качестве неинвазивного метода лечения саркопении путем активации путей, регулирующих митохондриальную сеть в скелетных мышцах [71].

Аэробные упражнения считаются методом выбора для улучшения капилляризации скелетных мышц и получения связанных с этим местных и системных преимуществ для здоровья. Они стимулируют ангиогенез и существенно увеличивает капилляризацию скелетных мышц и пиковое поглощения кислорода у пожилых людей [37]. Более интенсивные физические нагрузки приводят к большему увеличению активности генов митохондриального биогенеза у людей с саркопенией [70]. Так, Harper C. et al. (2021) полагают, что только интенсивная физическая нагрузка приводит к более быстрому и значительному улучшению дыхательной способности митохондрий, поскольку высокоинтенсивная (80% от максимальной ЧСС) нагрузка приводит к увеличению мРНК в 10,2 раза, в то время как низкоинтенсивная (40% от максимальной ЧСС) приводит к увеличению мРНК только в 3,8 раза [72].

Аэробные упражнения могут оказывать благотворное влияние на жировую массу тела, особенно в сочетании с диетическим питанием, и поэтому они также рассматриваются как эффективная стратегия противодействия развитию ожирения. Отдельные эффекты аэробных упражнений на аэробную способность мышц у пожилых людей с саркопенией и их влияние на жировую массу у пожилых людей с ожирением в значительной степени подтверждаются литературными данными [73]. Хотя имеются лишь ограниченные данные о влиянии аэробных упражнений на саркопеническое ожирение, аэробные упражнения могут быть эффективным средством для потери

избыточной жировой массы и улучшения мышечной работы у пожилых людей с саркопеническим ожирением. Это позволяет предположить, что аэробные упражнения также могут улучшить эти показатели у пациентов с саркопеническим ожирением. В рандомизированном контролируемом исследовании Chen T. et al. (2017) изучался эффект аэробных упражнений у пациентов с саркопеническим ожирением. Участники: шестьдесят мужчин и женщин в возрасте 65–75 лет с саркопеническим ожирением. После тренировок два раза в неделю в течение 8 недель участники каждой группы прекратили тренировки на 4 недели, прежде чем пройти обследование на предмет сохранения эффекта от тренировочных вмешательств. Были измерены состав тела, сила хвата, максимальная сила разгибателей спины, максимальная сила мышц-разгибателей колена и концентрация IGF-1 в крови. Пожилые люди с саркопеническим ожирением, участвовавшие в тренировках, продемонстрировали увеличение мышечной массы и снижение общей жировой массы, по сравнению с теми, кто не тренировался. Показатели мышечной силы и уровень IGF-1 в сыворотке крови в тренированных группах были выше, чем в контрольной группе [68].

Для пожилых людей Beckwée D. et al. (2019) были предложены комплексные стратегии, которые представляют собой комбинацию упражнений с отягощениями, аэробных упражнений, а также упражнений на баланс и/или ходьбу для улучшения мышечной массы, силы и функциональности. Поскольку саркопения поражает все скелетные мышцы тела, авторы советуют тренировать крупные группы мышц в комплексе с общей нагрузкой на все тело. Хотя тренировки с отягощениями низкой интенсивности ($\leq 50\%$

от максимума ЧСС) достаточны для увеличения силы, рекомендуются программы тренировок с отягощениями высокой интенсивности (например, 80% от максимума ЧСС), чтобы добиться максимального увеличения силы [74].

По мнению Brightwell C. R. et al. (2019), аэробные тренировки мало влияют на размер скелетных мышц по сравнению с упражнениями с отягощениями. Однако аэробная активность может помочь замедлить потерю мышечной массы с возрастом. Аэробные упражнения умеренной интенсивности, особенно ходьба, по-видимому, улучшают качество скелетных мышц у здоровых пожилых людей, которые уже ведут сидячий образ жизни, за счет улучшения силы четырехглавых мышц, однако без увеличения мышечной массы [75].

Veen J. et al. (2021), показано, что выполнение силовых упражнений по крайней мере два раза в неделю было связано со снижением риска саркопии, увеличением мышечной массы и улучшением физической работоспособности у пожилых людей, которые уже накопили 150 минут аэробных упражнений средней интенсивности в неделю. Комбинированные тренировки с отягощениями и аэробные программы показали значительное положительное влияние на антропометрические характеристики, включая мышечную массу и функциональные параметры [76]. Напротив, отсутствие физической активности и малоподвижный образ жизни, по данным Bowden Davies K. A. et al. (2019), способствуют низкому уровню расхода энергии и приводят к неблагоприятным последствиям, включая потерю аэробной способности, а также ухудшение состояния опорно-двигательного аппарата и когнитивных функций [77].

Высокоинтенсивные интервальные тренировки (High-Intensity Interval Training, HIIT)

В последние годы HIIT приобретает все большую популярность благодаря своим потенциальным преимуществам в отношении мышечной силы, выносливости, и общего укрепления здоровья. HIIT включает в себя короткие интервалы упражнений на пике мощности / скорости, которые создают высокую нагрузку на скелетные мышцы и несколько напоминают упражнения с отягощением. Интервальные тренировки одновременно развивают аэробную (кислородную) выносливость, улучшая функцию сердечно-сосудистой системы, а также, за счёт периодических «рывков» во время высокоинтенсивных интервалов нагрузки, создают стимул роста мышц наподобие анаэробных силовых тренировок [51]. HIIT характеризуются прерывистыми, чередующимися периодами кратковременной (от 6 секунд до 4 минут) работы с интенсивностью $> 80\text{--}85\%$ от максимальной ЧСС и максимальным потреблением кислорода (VO_{2max}), и периодами восстановления продолжительностью 1–5 минут при меньшей интенсивности (60% максимальной ЧСС). Эти периоды повторяются несколько раз

за тренировку. Средняя продолжительность тренировочного цикла HIIT составляет от 12 до 16 недель [52].

По словам Marriott C. F. S., большинство исследований эффективности HIIT проводилось среди здорового населения, а также среди молодежи и людей среднего возраста. Мало было известно о эффективности HIIT у пожилых и старых людей [78]. К счастью, появились результаты исследований, подтверждающие эффективность HIIT у взрослых старше 70 лет. Очень интересно проанализировать безопасность HIIT у пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями. Кардиологическая реабилитация пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями традиционно включает в себя непрерывные аэробные упражнения низкой и средней интенсивности. Появляется все больше убедительных доказательств того, что HIIT демонстрирует аналогичную или даже большую эффективность в отношении целого ряда сердечно-сосудистых и метаболических показателей как у здоровых людей, так и у людей с хроническими заболеваниями.

Так, Weweg M. A. et al. (2018) в систематическом обзоре было доказано, что НПТ безопасны и эффективны у пациентов с СД2, сердечной недостаточностью и ишемической болезнью сердца, улучшают мышечную функцию и физическую работоспособность у пожилых людей. Авторы включили исследования, в которых сравнивали НПТ с непрерывными аэробными упражнениями низкой и средней интенсивности или обычным лечением у пациентов с ишемической болезнью сердца и/или сердечной недостаточностью. Были проанализированы нежелательные явления, возникшие во время тренировки или в течение 4 часов после тренировки. Всего было проанализировано 23 исследования, в которых приняли участие 1117 человек (из них НПТ выполняли 547 пациентов). Во время сеанса НПТ произошло одно серьезное сердечно-сосудистое неблагоприятное событие, что соответствует 1 серьезному сердечно-сосудистому событию на 17 083 тренировки (11 333 тренировочных часа). Также сообщалось об одном незначительном побочном эффекте со стороны сердечно-сосудистой системы и 3 не кардиоваскулярных побочных эффектах (в основном со стороны опорно-двигательного аппарата) при проведении НПТ. Сообщалось о двух не кардиоваскулярных побочных эффектах, связанных с непрерывными аэробными упражнениями низкой и средней интенсивности. Таким образом, НПТ продемонстрировали относительно низкую частоту серьезных неблагоприятных сердечно-сосудистых событий у пациентов с ишемической болезнью сердца или сердечной недостаточностью [79].

Escrive-Escuder A. et al. (2021) доказали, что НПТ сочетают как эффект силового тренинга (вызывая стимуляцию гипертрофии скелетной мускулатуры), так и аэробного тренинга (за счет увеличения выносливости, нервно-мышечной адаптации и физической работоспособности) [80]. По мнению Morcillo-Losa J. A. et al. (2024), НПТ имеют наибольшие преимущества в улучшении мышечной силы и массы, демонстрируя увеличение площади мышц волокон I типа на 34% и волокон II типа на 28%. Кроме того, происходит уменьшение жировой массы и одновременное увеличение минеральной плотности костной ткани. НПТ улучшают потребление кислорода, а также поглощение и утилизацию глюкозы. Основные физиологические реакции и адаптация к НПТ на уровне нервно-мышечной системы заключаются в постепенном вовлечении всех двигательных единиц волокон типа I и II в окислительный метаболизм. В условиях высокой интенсивности физических нагрузок, присущих НПТ, увеличивается как частота дыхания, так и дыхательный объем. Минутная вентиляция легких, представляющая собой общий объем воздуха, вдыхаемого за одну минуту, может достигать и даже превышать 150 литров в минуту во время высокоинтенсивных физических нагрузок, что в 17 раз превышает показатели в состоянии покоя [52].

Keating C. J. et al. (2020) было показано, что отличительной особенностью НПТ является меньшая продолжительность тренировочного процесса по сравнению с силовыми тренировками и аэробными

упражнениями средней интенсивности. Однако даже такая экономия времени приводит к аналогичным улучшениям функции сердечно-сосудистой системы. Кроме того, НПТ повышает окислительную способность мышц и увеличивает их силу и массу. Примечательно, что всего шесть сеансов НПТ в течение двух недель могут усилить механизмы контроля метаболизма и активность ключевых митохондриальных ферментов, таких как цитратсинтаза и цитохромоксидаза [81].

Наиболее заметная адаптационная реакция нервной и эндокринной систем при НПТ связана с симпатoadреналовой системой, которая играет ведущую роль в управлении эндокринной активностью во время физической нагрузки, поддерживая выработку катехоламинов. Это приводит к гипертрофии надпочечников, увеличивая содержание в них катехоламинов и позволяя людям выдерживать интенсивные нагрузки в течение длительного времени. Максимальная стимуляция надпочечников происходит во время повторения очень интенсивных упражнений, характерных для НПТ. Эта усиленная стимуляция приводит к максимальному уровню гликогенолиза в мышцах и печени [52].

Что касается потребления кислорода, то этот параметр может быть увеличен на 20% за счет тренировок, за счет увеличения способности активных мышц извлекать кислород. Кроме того, индукция гипоксии во время интенсивной фазы НПТ используется для дальнейшего повышения окислительной способности мышц [52].

Результаты рандомизированного контролируемого исследования Leuchtmann A. B. et al. (Zurich, Switzerland, 2020) показали, что капилляризация скелетных мышц является определяющим фактором обмена газов и метаболитов, а ее нарушения могут способствовать развитию саркопении. Здоровые мужчины старшего возраста ($66,5 \pm 3,8$ года) участвовали либо в 12 неделях наблюдения с обычным режимом нагрузок (контрольная группа), либо участвовали в программе тренировок с отягощением или интервальных тренировках высокой интенсивности в течение 12 недель. Исходно и после курса тренировок была получена биопсия *m. vastus lateralis*. Иммуногистохимический анализ использовался для оценки показателей капилляризации мышечных волокон, морфологии мышечных волокон и активности сукцинатдегидрогеназы. Leuchtmann A. B. et al. определили, что применяемые протоколы тренировок с отягощением и НПТ были одинаково эффективны в повышении активности капилляризации и окислительных ферментов. Тренировки с отягощением, и интервальные тренировки высокой интенсивности являются действенными методами в профилактике саркопении у пожилых мужчин, улучшающими васкуляризацию скелетных мышц и активность сукцинатдегидрогеназы миоцитов [37].

Таким образом, высокоинтенсивные интервальные тренировки показали свою эффективность для скелетной мускулатуры не только у здорового населения молодого и среднего возраста, но и у гериатрических пациентов с сопутствующей сердечно-сосудистой патологией и СД2.

Другие виды и методики физических тренировок

В 2023 году Chen Y. C. et al. были опубликованы результаты систематического обзора и сетевого мета-анализа «Достаточно ли тренировки с умеренным отягощением для пожилых людей с саркопенией?» (Is moderate resistance training adequate for older adults with sarcopenia? A systematic review and network meta-analysis of RCTs). Авторы изучали влияние физических упражнений на пациентов с саркопенией в зависимости от интенсивности физической нагрузки. В общей сложности, после скрининга 3485 статей, в сетевой мета-анализ было включено 50 рандомизированных контролируемых исследований ($n = 4085$). Результаты показали, что повышение интенсивности физической нагрузки до умеренно интенсивного уровня оказывает значительно большее положительное влияние на физические функции, снижение силы тела и мышечной массы. Доказано, что интенсивная силовая программа физических нагрузок необходима для лечения саркопении, поскольку она преимущественно увеличивает площадь поперечного сечения мышечных волокон II типа, которые в процессе старения заменяются медленными мышечными волокнами I типа и жировой тканью. Кроме того, адаптивные реакции, включая увеличение синтеза миофибрилярного белка, количества клеточесателлитов, интенсивности гликолитической функции, объема митохондрий и синтеза митохондриального белка в скелетных мышцах, происходят после интенсивных физических нагрузок. Большее количество мышечных единиц II типа и связанных с ними мышечных волокон было задействовано при более высокой интенсивности тренировок. Гипертрофия мышечных волокон II типа прямо зависела от интенсивности физической нагрузки, что приводило к увеличению размера мышц и большей силе [82].

К сожалению, при всей своей высокой эффективности, рассмотренные выше методики силовых, аэробных и высокоинтенсивных интервальных тренировок вряд ли могут быть применены у тяжелобольных с синдромом выраженной саркопении, особенно при постельном режиме. Поэтому представляют интерес новые методики физической реабилитации.

В 2023 году Maccarone M. C. et al. были опубликованы результаты проспективного обсервационного исследования «Effects of the Full-Body in-Bed Gym program on quality of life, pain and risk of sarcopenia in elderly sedentary individuals: preliminary positive results of a Padua prospective observational study», проведенного в Падуе, Италия. Целью данного исследования «Программа тренажерного зала для всего тела в постели» было оценить влияние домашних тренировок всего тела в постели на качество жизни, боль и риск саркопении у пожилых людей. В исследование были включены в общей сложности 22 испытуемых со средним возрастом 71,90 года, обоего пола, в возрасте старше 65 лет. В исследование были включены пациенты, ведущие сидячий образ жизни, которые не занимались регулярной физической активностью (менее одного часа в неделю). От участников требовалось, чтобы

они были способны сохранять сидячее и стоячее положение. Лица в возрасте до 65 лет были исключены. Программа состояла из 10 упражнений (серию упражнений, выполняемых лежа на кровати, сидя на краю кровати и стоя, нацеленных на различные группы мышц), которые необходимо было выполнять дома три раза в неделю без перерыва в течение двух месяцев. Список упражнений: Упражнение 1: Сгибание-разгибание голеностопных суставов; Упражнение 2: Разгибание рук во фронтальной плоскости; Упражнение 3: Имитация езды на велосипеде лёжа на кровати; Упражнение 4: Сгибание-разгибание рук при глубоком дыхании; Упражнение 5: Подъем таза; Упражнение 6: Упражнение для брюшного пресса; Упражнение 7: Растяжка шеи; Упражнение 8: Подъем туловища; Упражнение 9: Разгибание ног; Упражнение 10: Вставание на цыпочки [23].

После получения рекомендаций о вероятном риске дискомфорта, боли или потенциального напряжения мышц и суставов, вызванного физической нагрузкой, люди, ведущие сидячий образ жизни, приступили к программе, выполнив по пять повторений каждого упражнения. В течение одной-двух недель тренировок участники постепенно добавляли группы из пяти дополнительных повторений, достигая до 30 повторений в упражнении за сеанс в течение последующих недель. Упражнения было рекомендовано начинать осторожно, в медленном темпе. Однако, как только участники достигли максимального количества предписанных повторений, у них появилась возможность еще больше улучшить свои результаты, постепенно увеличивая скорость выполнения каждого упражнения. Эта стратегия была направлена на увеличение как объема, так и интенсивности тренировки. Таким образом, продолжительность ежедневных упражнений может варьироваться, начиная примерно с 15 минут и увеличиваясь примерно до 25–30 минут для тех, кто привык выполнять полноценные занятия. Пациенты, участвовавшие в программе тренажерного зала для всего тела в постели с частотой три раза в неделю в течение двух месяцев, продемонстрировали значительное улучшение качества своей жизни, о чем свидетельствует краткий опросник здоровья из 12 пунктов (SF-12) по психическому компоненту ($p = 0,04$), и улучшение уровня боли ($p = 0,03$). Хотя это и не было статистически значимым, также наблюдалось снижение риска саркопении. Пациентам была предоставлена свобода принимать решение о продолжении лечения после оценки результатов. Соблюдение пациентами протокола физических упражнений в течение шести месяцев показало его целесообразность и устойчивость даже в долгосрочной перспективе. Maccarone M. C. et al. считают, что протокол «Программа тренажерного зала для всего тела в постели» может сыграть ценную роль в снижении возрастной потери мышечной массы [23].

Это исследование представляет интерес тем, что впервые обследовали группу пациентов из реальной жизни, которые участвовали в домашней программе легко выполняемых упражнений в постели.

Упражнения были применены к людям, ведущим сидячий образ жизни, которые могут сталкиваться с трудностями при занятиях интенсивной физической активностью. Поэтому «Программа тренажерного зала для всего тела в постели» была специально разработана с учетом ограничений, налагаемых преклонным возрастом и связанными с ним состояниями здоровья. Предложенные авторами упражнения нацелены на множество систем, включая сердечно-сосудистую, дыхательную и мышечную, которые имеют решающее значение для поддержания независимости и замедления процесса старения. Оценки, проведенные на пациентах с использованием проверенных, легко вводимых и широко используемых показателей результатов в клинической практике и научных исследованиях, привели к документальному подтверждению определенных улучшений у пациентов. В частности, пациенты продемонстрировали улучшение качества своей жизни, физического, так и психического самочувствия. Быстрое снижение риска саркопении (несмотря на то, что статистическая значимость не достигнута) благодаря выполнению простого протокола физических упражнений, заслуживает дальнейшего изучения [23].

По мнению Liberman K. et al. (2017), стратегия сочетания силовых тренировок, ходьбы, аэробных тренировок, тренировок на равновесие и других видов упражнений в рамках мультимодальной лечебной физкультуры является хорошо обоснованной [83]. Интересен новый подход к физическим упражнениям на фоне ограничения кровотока (blood flow restriction, BFR). При этих упражнениях компрессионные ленты частично ограничивают артериальный приток и полностью ограничивают венозный отток в мышцах во время тренировки [84, 85]. Во время низкоинтенсивных тренировок BFR позволяет значительно увеличить силу скелетных мышц [84]. Однако для гериатрических пациентов метод BFR может быть опасен [84, 85].

По мнению Wittmann K. et al. (2016), физические упражнения уменьшают количество жира и поддерживают мышечную массу; однако пожилые люди не могут заниматься физической активностью в дозах, достаточных для воздействия на опорно-двигательный аппарат и кардиометаболические факторы риска [86].

Предлагаются альтернативные подходы, поскольку некоторые пожилые люди по разным причинам не могут заниматься физическими упражнениями. Предварительные результаты показывают, что электромиостимуляция всего тела (WB-EMS) может быть эффективна при лечении саркопении [86, 87].

Этот метод может быть альтернативным способом физической активности для пациентов с ожирением и саркопенией. Wittmann K. et al. (2016) опубликовано рандомизированное контролируемое исследование «Влияние электромиостимуляции всего тела на кардиометаболические факторы риска у пожилых женщин с саркопеническим ожирением – FORMOsA-sarcopenic obesity study». Целью исследования было определить влияние WB-EMS на метаболический синдром у женщин с саркопеническим ожирением. Исследование проводилось

6 месяцев, в амбулаторных условиях. Семьдесят пять женщин в возрасте ≥ 70 лет, проживающих по месту жительства в Северной Баварии, Германия, были случайным образом распределены в группы: первая группа применяла WB-EMS с добавками белка (150 ккал/день, 56% белка) в рацион питания (WB-EMS&P) или без них (WB-EMS). Контрольная группа не применяла сеансы WB-EMS и добавки белка. WB-EMS включала в себя один сеанс продолжительностью 20 минут (85 Гц, 350 мкс, 4 секунды напряжения – 4 секунды отдыха) в неделю со средней или высокой интенсивностью. Исследование подтвердило благоприятный эффект применения WB-EMS на показатели метаболического статуса. Авторы считают электромиостимуляцию всего тела эффективным и безопасным методом у пациентов, которые не могут или не желают заниматься обычными физическими упражнениями [86].

Kemmler W. et al. (2017) опубликовано рандомизированное контролируемое исследование «FranSO» («Электромиостимуляция всего тела и прием белковых добавок благоприятно влияют на саркопеническое ожирение у пожилых мужчин из группы риска, проживающих по месту жительства»). Целью исследования было оценить влияние WB-EMS на саркопению у пожилых мужчин. 100 мужчин, проживающих в Северной Баварии, в возрасте ≥ 70 лет, страдающих саркопенией и ожирением, были случайным образом распределены на три группы (16 недель). Первая группа – WB-EMS и прием белковых добавок 1,7–1,8 г/кг массы тела в день (WB-EMS&P). Вторая группа – прием только белковых добавок. Третья группа – контрольная. WB-EMS включала в себя 20 минутный сеанс (85 Гц, 350 мкс, от 4 с нагрузки до 4 с отдыха), которые применялись с умеренной или высокой интенсивностью. Первая и вторая группы значимо ($P < 0,001$) уменьшили долю жировой массы по сравнению с контрольной (0,3%). Было продемонстрировано, что электромиостимуляция приводила к более значительному снижению общего количества жира в организме ($-2,05\%$, 95%ДИ: $-1,40$ – $-2,68$, $p < 0,001$) и увеличению мышечной силы (по данным измерения силы хвата кисти) (1,90 кг, 95%ДИ: $0,99$ – $2,82$, $p < 0,001$), по сравнению с контрольной группой [87].

В целом, в работах Wittmann K. et al. (2016) и Kemmler W. et al. (2017) никаких побочных эффектов у пациентов, получавших электростимуляцию, обнаружено не было, что означает хорошую переносимость метода WB-EMS [86, 87].

Хотя физическая активность играет важную роль в замедлении процесса саркопении у пожилых людей, некоторые ученые полагают, что даже высокая доза физической активности не может полностью остановить связанную со старением потерю мышечной массы, их силы и энергетических возможностей у людей. Lazarus N.R., Harridge S.D.R. (2017) провели анализ снижения силы мышц у спортсменов-мастеров с мировыми рекордами. Результаты свидетельствуют о практически линейном снижении силы с возрастом примерно до восьмидесяти лет, после чего снижение показателей ускоряется. Поскольку эти записи получены от высококвалифицированных спортсменов, их можно

рассматривать как отражение снижения интегративных физиологических способностей, которое происходит исключительно в результате старения и не зависит от неблагоприятных последствий гиподинамии. Авторы считают, что для оптимального старения и максимального сохранения «жизненной емкости» необходим определенный порог физической активности. Физические нагрузки на

уровнях ниже заданного значения приведут к тому, что старение будет омрачено непредсказуемыми и патологическими последствиями гиподинамии. Физические нагрузки, превышающие этот порог, стимулируют адаптацию к достижению максимальной спортивной результативности, но вряд ли окажут дальнейшее благоприятное воздействие на здоровье [88].

Заключение

Старение тесно связано с общим ухудшением физиологических функций, включая прогрессирующее снижение массы и силы скелетных мышц, что, в свою очередь, приводит к постепенному функциональному нарушению и увеличению числа случаев нетрудоспособности, приводящих к падениям, старческой астении, преждевременной смерти. Важность поддержания активного образа жизни пожилыми людьми трудно переоценить, поскольку это тесно связано с их общим благополучием и качеством жизни. Включение физической

активности в повседневную жизнь пожилых людей не только помогает смягчить последствия изменений, связанных со старением, но и дает людям возможность вести активную, вовлеченную и полноценную жизнь. Необходимы дальнейшие исследования, чтобы лучше понять тип, интенсивность и частоту физических упражнений, совокупное влияние различных индивидуальных стратегий (физических упражнений и питания) на состав тела и параметры физического функционирования у пожилых людей с саркопенией.

Литература | References

1. Tkacheva O. N., Kotovskaya Yu. V., Runikhina N. K. et al. Clinical guidelines on frailty. *Russian Journal of Geriatric Medicine*. 2020;(1):11–46. (In Russ.) doi: 10.37586/2686–8636–1–2020–11–46.
Ткачева О. Н., Котовская Ю. В., Рунихина Н. К. и др. Клинические рекомендации «Старческая астения». Российский журнал гериатрической медицины. 2020;(1):11–46. doi: 10.37586/2686–8636–1–2020–11–46.
2. Cruz-Jentoft A. J., Bahat G., Bauer J. et al. Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis. *Age Ageing*. 2019;48(1):16–31. doi: 10.1093/ageing/afy169.
3. Voulgaridou G., Papadopoulou S. D., Spanoudaki M. et al. Increasing Muscle Mass in Elders through Diet and Exercise: A Literature Review of Recent RCTs. *Foods*. 2023;12(6):1218. doi: 10.3390/foods12061218.
4. Mitchell W. K., Williams J., Atherton P. et al. Sarcopenia, dynapenia, and the impact of advancing age on human skeletal muscle size and strength; a quantitative review. *Front. Physiol.* 2012;3:260. doi: 10.3389/fphys.2012.00260.
5. Kalyani R. R., Corriere M., Ferrucci L. Age-Related and Disease-Related Muscle Loss: The Effect of Diabetes, Obesity, and Other Diseases. *Lancet Diabetes Endocrinol.* 2014;2:819–829. doi: 10.1016/S2213–8587(14)70034–8.
6. Sergeeva V. A., Runikhina N. K. Pathogenetic and Clinical Relationships between Chronic Obstructive Pulmonary Disease, Sarcopenia and Frailty. *Russian Journal of Geriatric Medicine*. 2024;(1):40–48. (In Russ.) doi: 10.37586/2686–8636–1–2024–40–48.
Сергеева В. А., Рунихина Н. К. Патогенетические и клинические взаимосвязи хронической обструктивной болезни легких, саркопении и старческой астении. Российский журнал гериатрической медицины. 2024;(1):40–48. doi: 10.37586/2686–8636–1–2024–40–48.
7. Bulgakova S. V., Merzlova P. Ya., Kurmaev D. P., Treneva E. V. Risk factors and adverse outcomes of hypoglycemia in older patients with type 2 diabetes mellitus (review). *Russian Journal of Geriatric Medicine*. 2024;(1):30–39. (In Russ.) doi: 10.37586/2686–8636–1–2024–30–39.
Булгакова С. В., Мерзлова П. Я., Курмаев Д. П., Тренева Е. В. Факторы риска и неблагоприятные исходы гипогликемии у пожилых больных сахарным диабетом 2 типа (обзор литературы). Российский журнал гериатрической медицины. 2024;(1):30–39. doi: 10.37586/2686–8636–1–2024–30–39.
8. Kurmaev D. P., Bulgakova S. V., Treneva E. V. et al. Malnutrition, dysfunction of the gastrointestinal tract and sarcopenia – features of combined pathology. *Experimental and Clinical Gastroenterology*. 2024;(2):111–119. (In Russ.) doi: 10.31146/1682–8658-ecg-222–2–111–119.
Курмаев Д. П., Булгакова С. В., Тренева Е. В. и др. Мальнутриция, нарушение функции желудочно-кишечного тракта и саркопении – особенности сочетанной патологии. Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2024;(2):111–119. doi: 10.31146/1682–8658-ecg-222–2–111–119.
9. Kurmaev D. P., Bulgakova S. V., Treneva E. V. Insulin resistance, type 2 diabetes mellitus and sarcopenia. *Experimental and Clinical Gastroenterology*. 2024;(2):141–148. (In Russ.) doi: 10.31146/1682–8658-ecg-222–2–141–148.
Курмаев Д. П., Булгакова С. В., Тренева Е. В. Инсулинорезистентность, сахарный диабет 2 типа и саркопении. Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2024;(2):141–148. doi: 10.31146/1682–8658-ecg-222–2–141–148.
10. Ivannikova E. V., Dudinskaya E. N., Onuchina Yu. S. Muscle metabolism in older adults. *Russian Journal of Geriatric Medicine*. 2022;(2):96–102. (In Russ.) doi: 10.37586/2686–8636–2–2022–96–102.
Иванникова Е. В., Дудинская Е. Н., Онучина Ю. С. Метаболизм мышечной ткани у лиц пожилого возраста. Российский журнал гериатрической медицины. 2022;(2):96–102. doi: 10.37586/2686–8636–2–2022–96–102.
11. Kurmaev D. P., Bulgakova S. V., Treneva E. V. Sarcopenic obesity – a current problem of modern geriatrics. *Russian Journal of Geriatric Medicine*. 2022;(4):228–235. (In Russ.) doi: 10.37586/2686–8636–4–2022–228–235.

- Курмаев Д. П., Булгакова С. В., Тренева Е. В. Саркопеническое ожирение – актуальная проблема современной гериатрии. *Российский журнал гериатрической медицины*. 2022;(4):228–235. doi: 10.37586/2686–8636–4–2022–228–235.
12. Baumgartner R. N. Body composition in healthy aging. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 2000;904:437–448. doi: 10.1111/j.1749–6632.2000.tb06498.x.
13. Jensen G. L., Hsiao P. Y. Obesity in older adults: Relationship to functional limitation. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care*. 2010;13:46–51. doi: 10.1097/MCO.0b013e32833309cf.
14. Donini L. M., Busetto L., Bischoff S. C. et al. Definition and Diagnostic Criteria for Sarcopenic Obesity: ESPEN and EASO Consensus Statement. *Obes Facts*. 2022;15(3):321–335. doi: 10.1159/000521241.
15. Stenholm S., Harris T. B., Rantanen T. et al. Sarcopenic obesity: Definition, cause and consequences. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care*. 2008;11:693–700. doi: 10.1097/MCO.0b013e328312c37d.
16. Berns S. A., Sheptulina A. F., Mamutova E. M. et al. Sarcopenic obesity: epidemiology, pathogenesis and diagnostic criteria. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2023;22(6):3576. (In Russ.) doi: 10.15829/1728–8800–2023–3576.
Бернс С. А., Шептулина А. Ф., Мамутова Э. М., и др. Саркопеническое ожирение: эпидемиология, патогенез и особенности диагностики. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2023;22(6):3576. doi: 10.15829/1728–8800–2023–3576.
17. Drapkina O. M., Budnevsky A. V., Ovsyannikov E. S. et al. Sarcopenic obesity: patterns and paradoxes. *Profilakticheskaya Meditsina*. 2021;24(1):73–8. (In Russ.) doi: 10.17116/profmed20212401173.
Драпкина О. М., Будневский А. В., Овсянников Е. С. и др. Саркопеническое ожирение: закономерности и парадоксы. *Профилактическая медицина*. 2021;24(1):73–8. doi: 10.17116/profmed20212401173.
18. Samoilova Yu. G., Matveeva M. V., Khoroshunova E. A. et al. Cardiometabolic risk factors in patients with type 2 diabetes and sarcopenia. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2024;23(1):3655. (In Russ.) doi: 10.15829/1728–8800–2024–3655.
Самойлова Ю. Г., Матвеева М. В., Хорошунова Е. А., и др. Кардиометаболические факторы риска у пациентов с сахарным диабетом 2 типа и саркопенией. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2024;23(1):3655. doi: 10.15829/1728–8800–2024–3655.
19. Pontzer H., Yamada Y., Sagayama H. et al. Daily energy expenditure through the human life course. *Science*. 2021;373(6556):808–812. doi: 10.1126/science.abe5017.
20. Naumov A. V., Khovasova N. O., Moroz V. I. et al. Locomotive syndrome: a new view of fragility in older age. *Russian Journal of Geriatric Medicine*. 2021;(3):372–378. (In Russ.) doi: 10.37586/2686–8636–3–2021–364–370.
Наумов А. В., Ховасова Н. О., Мороз В. И., и др. Локомотивный синдром: новое представление о хрупкости в пожилом возрасте. *Российский журнал гериатрической медицины*. 2021;(3):372–378. doi: 10.37586/2686–8636–3–2021–364–370.
21. Kurmaev D. P., Bulgakova S. V., Treneva E. V. et al. Nutritional support in a comprehensive program of prevention and treatment of sarcopenia. *Russian Journal of Geriatric Medicine*. 2023;(1):29–38. (In Russ.) doi: 10.37586/2686–8636–1–2023–29–38.
Курмаев Д. П., Булгакова С. В., Тренева Е. В., и др. Нутритивная поддержка в комплексной программе профилактики и лечения саркопении. *Российский журнал гериатрической медицины*. 2023;(1):29–38. doi: 10.37586/2686–8636–1–2023–29–38.
22. Bilski J., Pierzchalski P., Szczepanik M. et al. Multifactorial Mechanism of Sarcopenia and Sarcopenic Obesity. Role of Physical Exercise, Microbiota and Myokines. *Cells*. 2022;11(1):160. doi: 10.3390/cells11010160.
23. Maccarone M. C., Caregnato A., Regazzo G. et al. Effects of the Full-Body in-Bed Gym program on quality of life, pain and risk of sarcopenia in elderly sedentary individuals: preliminary positive results of a Padua prospective observational study. *Eur J Transl Myol*. 2023 Sep 26;33(3):11780. doi: 10.4081/ejtm.2023.11780.
24. Zhao Z., Yan K., Guan Q. et al. Mechanism and physical activities in bone-skeletal muscle crosstalk. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2024 Jan 3;14:1287972. doi: 10.3389/fendo.2023.1287972.
25. Bull F. C., Al-Ansari S. S., Biddle S. et al. World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour. *Br J Sports Med*. 2020; 54(24):1451–62. doi: 10.1136/bjsports-2020–102955.
26. Lee I. M., Shiroma E. J., Lobelo F. et al. Effect of physical inactivity on major non-communicable diseases worldwide: an analysis of burden of disease and life expectancy. *Lancet*. 2012;380(9838):219–229. doi: 10.1016/S0140–6736(12)61031–9.
27. Pedersen B. K., Steensberg A., Fischer C. et al. Searching for the exercise factor: is IL-6 a candidate?. *J Muscle Res Cell Motil*. 2003;24(2–3):113–119. doi: 10.1023/a:1026070911202.
28. Nishii K., Aizu N., Yamada K. Review of the health-promoting effects of exercise and the involvement of myokines. *Fujita Med J*. 2023 Aug;9(3):171–178. doi: 10.20407/fmj.2022–020.
29. Gomasasca M., Banfi G., Lombardi G. Myokines: The endocrine coupling of skeletal muscle and bone. *Adv Clin Chem*. 2020;94:155–218. doi: 10.1016/bs.acc.2019.07.010.
30. Yoshida T., Delafontaine P. Mechanisms of IGF-1-Mediated Regulation of Skeletal Muscle Hypertrophy and Atrophy. *Cells*. 2020;9(9):1970. doi: 10.3390/cells9091970.
31. Chow L. S., Gerszten R. E., Taylor J. M. et al. Exerkines in health, resilience and disease. *Nat Rev Endocrinol*. 2022;18(5):273–89. doi: 10.1038/s41574–022–00641–2.
32. Vinel C., Lukjanenko L., Batut A. et al. The exerkine apelin reverses age-associated sarcopenia. *Nat Med*. 2018;24(9):1360–71. doi: 10.1038/s41591–018–0131–6.
33. Hamrick M. W. The skeletal muscle secretome: an emerging player in muscle-bone crosstalk. *Bonekey Rep*. 2012;1:60. doi: 10.1038/bonekey.2012.60.
34. Dalle Carbonare L., Minoia A., Zouari S. et al. Crosstalk between bone and muscles during physical activity. *Cells*. 2023;12(16):2088. doi: 10.3390/cells12162088.
35. Ruas J. L., White J. P., Rao R. R. et al. A PGC-1 α isoform induced by resistance training regulates skeletal muscle hypertrophy. *Cell*. 2012;151(6):1319–31. doi: 10.1016/j.cell.2012.10.050.
36. Prior S. J., Ryan A. S., Blumenthal J. B. et al. Sarcopenia Is Associated With Lower Skeletal Muscle Capillarization and Exercise Capacity in Older Adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2016;71(8):1096–1101. doi: 10.1093/gerona/glw017.
37. Leuchtmann A. B., Mueller S. M., Aguayo D. et al. Resistance training preserves high-intensity interval training induced improvements in skeletal muscle capillarization of healthy old men: a randomized controlled trial. *Sci Rep*. 2020;10(1):6578. doi: 10.1038/s41598–020–63490–x.

38. Waters D. L. Intermuscular Adipose Tissue: A Brief Review of Etiology, Association With Physical Function and Weight Loss in Older Adults. *Ann Geriatr Med Res.* 2019;23(1):3–8. doi: 10.4235/agmr.19.0001.
39. Konopka A. R., Wolff C. A., Suer M. K., Harber M. P. Relationship between intermuscular adipose tissue infiltration and myostatin before and after aerobic exercise training. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 2018;315(3): R461–R468. doi: 10.1152/ajpregu.00030.2018.
40. Rivas D. A., McDonald D. J., Rice N. P. et al. Diminished anabolic signaling response to insulin induced by intramuscular lipid accumulation is associated with inflammation in aging but not obesity. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 2016;310(7): R561–R569. doi: 10.1152/ajpregu.00198.2015.
41. Gueugneau M., Coudy-Gandilhon C., Théron L. et al. Skeletal muscle lipid content and oxidative activity in relation to muscle fiber type in aging and metabolic syndrome. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2015;70(5):566–576. doi: 10.1093/gerona/glu086.
42. Mastrocola R., Collino M., Nigro D. et al. Accumulation of advanced glycation end-products and activation of the SCAP/SREBP Lipogenic pathway occur in diet-induced obese mouse skeletal muscle. *PLoS One.* 2015;10(3): e0119587. doi: 10.1371/journal.pone.0119587.
43. Moratal C., Raffort J., Arrighi N. et al. IL-1 β - and IL-4-polarized macrophages have opposite effects on adipogenesis of intramuscular fibro-adipogenic progenitors in humans. *Sci Rep.* 2018;8(1):17005. doi: 10.1038/s41598-018-35429-w.
44. Miwa S., Kashyap S., Chini E., von Zglinicki T. Mitochondrial dysfunction in cell senescence and aging. *J Clin Invest.* 2022;132(13): e158447. doi: 10.1172/JCI158447.
45. Amorim J. A., Coppotelli G., Rolo A. P. et al. Mitochondrial and metabolic dysfunction in ageing and age-related diseases. *Nat Rev Endocrinol.* 2022;18(4):243–258. doi: 10.1038/s41574-021-00626-7.
46. Vainshtein A., Sandri M. Signaling Pathways That Control Muscle Mass. *Int. J. Mol. Sci.* 2020;21:4759. doi: 10.3390/ijms21134759.
47. Yoo S. Z., No M. H., Heo J. W. et al. Role of exercise in age-related sarcopenia. *J Exerc Rehabil.* 2018;14(4):551–558. doi: 10.12965/jer.1836268.134.
48. Bell R. A. V., Al-Khalaf M., Megeney L. A. The Beneficial Role of Proteolysis in Skeletal Muscle Growth and Stress Adaptation. *Skelet. Muscle.* 2016;6:16. doi: 10.1186/s13395-016-0086-6.
49. Mijnders D. M., Koster A., Schols J. M. et al. Physical activity and incidence of sarcopenia: the population-based AGES-Reykjavik Study. *Age Ageing.* 2016;45(5):614–620. doi: 10.1093/ageing/afw090.
50. Tamura Y., Ishikawa J., Fujiwara Y. et al. Prevalence of frailty, cognitive impairment, and sarcopenia in outpatients with cardiometabolic disease in a frailty clinic. *BMC Geriatr.* 2018;18(1):264. doi: 10.1186/s12877-018-0955-4.
51. Callahan M. J., Parr E. B., Hawley J. A., Camera D. M. Can High-Intensity Interval Training Promote Skeletal Muscle Anabolism? *Sports Med.* 2021 Mar;51(3):405–421. doi: 10.1007/s40279-020-01397-3.
52. Morcillo-Losa J. A., Díaz-Martínez M. D. P., Ceylan H. İ. et al. Effects of High-Intensity Interval Training on Muscle Strength for the Prevention and Treatment of Sarcopenia in Older Adults: A Systematic Review of the Literature. *J Clin Med.* 2024 Feb 25;13(5):1299. doi: 10.3390/jcm13051299.
53. Pleshchev I. E., Achkasov E. E., Nikolenko V. N. et al. Methods of physical rehabilitation of elderly people for the prevention and treatment of sarcopenia. *Acta biomedica scientifica.* 2023; 8(2): 80–92. (In Russ.) doi: 10.29413/ABS.2023-8.2.8.
- Плещёв И. Е., Ачкасов Е. Е., Николенко В. Н., и др. Роль и специфика физических нагрузок при саркопении у пожилых людей. *Acta biomedica scientifica.* 2023; 8(2): 80–92. doi: 10.29413/ABS.2023-8.2.8.
54. Trouwborst I., Verreijen A., Memelink R. et al. Exercise and Nutrition Strategies to Counteract Sarcopenic Obesity. *Nutrients.* 2018;10(5):605. doi: 10.3390/nu10050605.
55. Kim Y. J., Moon S., Yu J. M., Chung H. S. Implication of diet and exercise on the management of age-related sarcopenic obesity in Asians. *Geriatr Gerontol Int.* 2022;22(9):695–704. doi: 10.1111/ggi.14442.
56. Liu C., Cheng K. Y., Tong X. et al. The role of obesity in sarcopenia and the optimal body composition to prevent against sarcopenia and obesity. *Front Endocrinol (Lausanne).* 2023;14:1077255. doi: 10.3389/fendo.2023.1077255.
57. Stokes T., Hector A. J., Morton R. W. et al. Recent perspectives regarding the role of dietary protein for the promotion of muscle hypertrophy with resistance exercise training. *Nutrients.* 2018;10(2):180. doi: 10.3390/nu10020180.
58. Musumeci G. Sarcopenia and exercise “The State of the Art” *J. Funct. Morphol. Kinesiol.* 2017;2:40. doi: 10.3390/jfmk2040040.
59. Vlietstra L., Hendrickx W., Waters D. L. Exercise interventions in healthy older adults with sarcopenia: A systematic review and meta-analysis. *Australas. J. Ageing.* 2018;37:169–183. doi: 10.1111/ajag.12521.
60. Beckwee D., Delaere A., Aelbrecht S. et al. Exercise Interventions for the Prevention and Treatment of Sarcopenia. A Systematic Umbrella Review. *J. Nutr. Health Aging.* 2019;23:494–502. doi: 10.1007/s12603-019-1196-8.
61. Csapo R., Alegre L. M. Effects of resistance training with moderate vs heavy loads on muscle mass and strength in the elderly: A meta-analysis. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 2016;26:995–1006. doi: 10.1111/sms.12536.
62. Peterson M. D., Rhea M. R., Sen A., Gordon P. M. Resistance exercise for muscular strength in older adults: A meta-analysis. *Ageing Res. Rev.* 2010;9:226–237. doi: 10.1016/j.arr.2010.03.004.
63. Peterson M. D., Sen A., Gordon P. M. Influence of resistance exercise on lean body mass in aging adults: A meta-analysis. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2011;43:249–258. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181eb6265.
64. Liao C. D., Tsao J. Y., Lin L. F. et al. Effects of elastic resistance exercise on body composition and physical capacity in older women with sarcopenic obesity: A CONSORT-compliant prospective randomized controlled trial. *Medicine.* 2017;96: e7115. doi: 10.1097/MD.00000000000007115.
65. Gadelha A. B., Paiva F. M., Gauche R. et al. Effects of resistance training on sarcopenic obesity index in older women: A randomized controlled trial. *Arch. Gerontol. Geriatr.* 2016;65:168–173. doi: 10.1016/j.archger.2016.03.017.
66. Vasconcelos K. S., Dias J. M., Araujo M. C. et al. Effects of a progressive resistance exercise program with high-speed component on the physical function of older women with sarcopenic obesity: A randomized controlled trial. *Braz. J. Phys. Ther.* 2016;20:432–440. doi: 10.1590/bjpt-rbf.2014.0174.

67. Huang S. W., Ku J. W., Lin L. F. et al. Body composition influenced by progressive elastic band resistance exercise of sarcopenic obesity elderly women: A pilot randomized controlled trial. *Eur. J. Phys. Rehabil. Med.* 2017. doi: 10.23736/S1973-9087.17.04443-4.
68. Chen T., Chung Y. C., Chen Y. J. et al. Effects of Different Types of Exercise on Body Composition, Muscle Strength, and IGF-1 in the Elderly with Sarcopenic Obesity. *J. Am. Geriatr. Soc.* 2017;65:827-832. doi: 10.1111/jgs.14722.
69. Erlich A. T., Tryon L. D., Crilly M. J. et al. Function of specialized regulatory proteins and signaling pathways in exercise-induced muscle mitochondrial biogenesis. *Integr Med Res.* 2016;5(3):187-197. doi: 10.1016/j.imr.2016.05.003.
70. Bouaziz W., Schmitt E., Kaltenbach G. et al. Health benefits of endurance training alone or combined with diet for obese patients over 60: a review. *Int J Clin Pract.* 2015;69(10):1032-1049. doi: 10.1111/ijcp.12648.
71. Alizadeh Pahlavani H., Laher I., Knechtle B., Zouhal H. Exercise and mitochondrial mechanisms in patients with sarcopenia. *Front Physiol.* 2022;13:1040381. doi: 10.3389/fphys.2022.1040381.
72. Harper C., Gopalan V., Goh J. Exercise rescues mitochondrial coupling in aged skeletal muscle: a comparison of different modalities in preventing sarcopenia. *J Transl Med.* 2021;19(1):71. doi: 10.1186/s12967-021-02737-1.
73. Sawyer B. J., Bhammar D. M., Angadi S. S. et al. Predictors of fat mass changes in response to aerobic exercise training in women. *J. Strength Cond. Res.* 2015;29:297-304. doi: 10.1519/JSC.0000000000000726.
74. Beckwée D., Delaere A., Aelbrecht S. et al. Exercise Interventions for the Prevention and Treatment of Sarcopenia. A Systematic Umbrella Review. *J. Nutr. Health Aging.* 2019;23:494-502. doi: 10.1007/s12603-019-1196-8.
75. Brightwell C. R., Markofski M. M., Moro T. et al. Moderate-intensity Aerobic Exercise Improves Skeletal Muscle Quality in Older Adults. *Transl. Sports Med.* 2019;2:109-119. doi: 10.1002/tsm2.70.
76. Veen J., Montiel-Rojas D., Nilsson A., Kadi F. Engagement in Muscle-Strengthening Activities Lowers Sarcopenia Risk in Older Adults Already Adhering to the Aerobic Physical Activity Guidelines. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2021;18:989. doi: 10.3390/ijerph18030989.
77. Bowden Davies K. A., Pickles S., Sprung V. S. et al. Reduced Physical Activity in Young and Older Adults: Metabolic and Musculoskeletal Implications. *Ther. Adv. Endocrinol.* 2019;10:2042018819888824. doi: 10.1177/2042018819888824.
78. Marriott C. F. S., Petrella A. F. M., Marriott E. C. S. et al. High-Intensity Interval Training in Older Adults: A Scoping Review. *Sports Med.-Open.* 2021;7:49. doi: 10.1186/s40798-021-00344-4.
79. Wewege M. A., Ahn D., Yu J. et al. High-Intensity Interval Training for Patients With Cardiovascular Disease – Is It Safe? A Systematic Review. *J. Am. Heart Assoc.* 2018;7:e009305. doi: 10.1161/JAHA.118.009305.
80. Escriche-Escuder A., Fuentes-Abolafio I. J., Roldán-Jiménez C., Cuesta-Vargas A. I. Effects of exercise on muscle mass, strength, and physical performance in older adults with sarcopenia: A systematic review and meta-analysis according to the EWGSOP criteria. *Exp. Gerontol.* 2021;151:111420. doi: 10.1016/j.exger.2021.111420.
81. Keating C. J., Párraga Montilla J. Á., Latorre Román P. Á., Moreno del Castillo R. Comparison of High-Intensity Interval Training to Moderate-Intensity Continuous Training in Older Adults: A Systematic Review. *J. Aging Phys. Act.* 2020;28:798-807. doi: 10.1123/japa.2019-0111.
82. Chen Y. C., Chen W. C., Liu C. W. et al. Is moderate resistance training adequate for older adults with sarcopenia? A systematic review and network meta-analysis of RCTs. *Eur Rev Aging Phys Act.* 2023 Nov 29;20(1):22. doi: 10.1186/s11556-023-00333-4.
83. Liberman K., Forti L. N., Beyer I., Bautmans I. The effects of exercise on muscle strength, body composition, physical functioning and the inflammatory profile of older adults: A systematic review. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care.* 2017;20:30-53. doi: 10.1097/MCO.0000000000000335.
84. Scott B. R., Loenneke J. P., Slattery K. M., Dascombe B. J. Exercise with blood flow restriction: An updated evidence-based approach for enhanced muscular development. *Sports Med.* 2015;45:313-325. doi: 10.1007/s40279-014-0288-1.
85. Hughes L., Paton B., Rosenblatt B. et al. Blood flow restriction training in clinical musculoskeletal rehabilitation: A systematic review and meta-analysis. *Br. J. Sports Med.* 2017;51:1003-1011. doi: 10.1136/bjsports-2016-097071.
86. Wittmann K., Sieber C., von Stengel S. et al. Impact of whole body electromyostimulation on cardiometabolic risk factors in older women with sarcopenic obesity: the randomized controlled FORMOSA-sarcopenic obesity study. *Clin Interv Aging.* 2016;11:1697-1706. doi: 10.2147/CIA.S116430.
87. Kemmler W., Weissenfels A., Teschler M. et al. Whole-body electromyostimulation and protein supplementation favorably affect sarcopenic obesity in community-dwelling older men at risk: the randomized controlled FranSO study. *Clin Interv Aging.* 2017;12:1503-1513. doi: 10.2147/CIA.S137987.
88. Lazarus N. R., Harridge S. D. R. Declining performance of master athletes: silhouettes of the trajectory of healthy human ageing?. *J Physiol.* 2017;595(9):2941-2948. doi: 10.1113/JP272443.