



Обзорная статья

УДК [616.36+59.084]:[616.379-008.64+612.766.1]

DOI: 10.37482/2687-1491-Z271

Влияние различных типов физической нагрузки на функциональное состояние печени мышей при диабете 2-го типа (обзор)

Юйфэнь Юнь* ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8495-207X>Елена Юрьевна Дьякова* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7653-2386>Сяньбо Цюй* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0237-7915>

*Национальный исследовательский Томский государственный университет
(Томск, Россия)

Аннотация. Сахарный диабет 2-го типа вызывает комплексные системные нарушения, при этом печень, будучи центральным органом углеводного и липидного обмена, является одной из основных мишеней хронических диабетических осложнений. Регулярная физическая активность рассматривается как эффективное немедикаментозное средство коррекции метаболических расстройств, связанных с указанным заболеванием. **Цель** настоящего обзора – сравнительный анализ влияния различных форм физической активности на показатели функционального состояния печени у животных с экспериментальной моделью сахарного диабета 2-го типа. **Материалы и методы.** Выполнен сетевой метаанализ, охватывающий 38 рандомизированных контролируемых исследований (суммарно – с участием 601 мышши). Данные были собраны из баз Web of Science, PubMed, Scopus, CNKI и EBSCO. Рассматривались следующие виды нагрузок: аэробные и силовые тренировки, плавание, высокоинтенсивные интервальные тренировки, тренировки средней интенсивности, а также спонтанная двигательная активность. В качестве исходных критериев оценки учитывались уровни аланинаминотрансферазы (ALT), аспаргатаминотрансферазы (AST), триглицеридов, липопротеинов высокой (ЛПВП) и низкой (ЛПНП) плотности, а также активность фосфоенолпируваткарбоксикиназы (PEPCK). **Результаты.** Анализ выявил, что высокоинтенсивные интервальные тренировки оказывали наиболее выраженное воздействие на функциональное состояние печени мышшей с сахарным диабетом 2-го типа, обеспечивая значительное снижение уровней ALT и триглицеридов при одновременном повышении концентрации ЛПВП. Силовые тренировки продемонстрировали преимущество в снижении уровней AST, ЛПНП и активности PEPCK. Плавание и тренировки средней интенсивности также положительно влияли на ряд биомаркеров, однако их эффект был менее выраженным. На основании полученных данных можно сделать вывод, что высокоинтенсивные интервальные тренировки и силовые тренировки могут быть более эффективными стратегиями для регуляции метаболизма печени у мышшей с сахарным диабетом 2-го типа. Эти результаты подчеркивают потенциал физической активности как безопасного и доступного метода коррекции диабетических нарушений печени, действенность которого требует дальнейшего подтверждения в клинических исследованиях.

© Юнь Ю., Дьякова Е.Ю., Цюй С., 2026

Ответственный за переписку: Юйфэнь Юнь, адрес: 634050, г. Томск, просп. Ленина, д. 36; e-mail: q634920875@163.com

Ключевые слова: сахарный диабет 2-го типа, функциональное состояние печени, липидный обмен, силовые тренировки, высокоинтенсивные интервальные тренировки, сетевой метаанализ

Для цитирования: Юнь, Юйфэн. Влияние различных типов физической нагрузки на функциональное состояние печени мышей при диабете 2-го типа (обзор) / Ю. Юнь, Е. Ю. Дьякова, С. Цюй // Журнал медико-биологических исследований. – 2026. – Т. 14, № 1. – С. 73-89. – DOI 10.37482/2687-1491-Z271.

Review article

Effects of Different Types of Exercise on Liver Function in Type 2 Diabetes in Mice (Review)

Yuyfeng Yun* ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8495-207X>
Elena Yu. Dyakova* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7653-2386>
Xianbo Qu* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0237-7915>

*Tomsk State University
(Tomsk, Russia)

Abstract. Type 2 diabetes mellitus (T2DM) is a chronic metabolic disorder that affects multiple organ systems. The liver serves as a central regulator of carbohydrate and lipid homeostasis and represents a major target of diabetic complications. Regular physical activity is acknowledged as an effective non-pharmacological intervention for improving metabolic control in diabetes. The **purpose** of this review was a comparative analysis of the effects of different exercise modalities on liver-related biomarkers in animals with T2DM. **Materials and methods.** A network meta-analysis of 38 randomized controlled trials with a total of 601 animals involved was conducted. The following databases were searched: Web of Science, PubMed, Scopus, CNKI and EBSCO. Six categories of exercise interventions were analysed: aerobic training, resistance training, swimming, high-intensity interval training, moderate-intensity continuous training, and voluntary wheel running. The initial assessment criteria included alanine aminotransferase (ALT), aspartate aminotransferase (AST), hepatic triglyceride, high-density lipoprotein (HDL) and low-density lipoprotein (LDL) levels as well as phosphoenolpyruvate carboxykinase (PEPCK) enzymatic activity. **Results.** High-intensity interval training showed the greatest effectiveness in reducing ALT and hepatic triglyceride levels as well as increasing HDL concentrations in mice with T2DM. Resistance training was most effective in lowering AST and LDL as well as in PEPCK activity. Swimming and moderate-intensity continuous training had a positive, albeit less pronounced, influence on certain biomarkers. The findings indicate that high-intensity interval training and resistance training can be more effective strategies for modulating hepatic metabolism in mice with T2DM. These results underscore the potential of physical exercise as a safe and accessible adjunct to the management of diabetes-induced liver dysfunction. However, additional clinical studies in human populations are needed to substantiate these effects.

Keywords: type 2 diabetes mellitus, liver function, lipid metabolism, resistance training, high-intensity interval training, network meta-analysis

Corresponding author: Yuyfeng Yun, address: prosp. Lenina 36, Tomsk, 634050, Russia; e-mail: q634920875@163.com

For citation: Yun Y., Dyakova E.Yu., Qu X. Effects of Different Types of Exercise on Liver Function in Type 2 Diabetes in Mice (Review). *Journal of Medical and Biological Research*, 2026, vol. 14, no. 1, pp. 73–89. DOI: 10.37482/2687-1491-Z271

Сахарный диабет – одно из наиболее распространенных хронических метаболических заболеваний, основным проявлением которого при 2-м типе (СД2) служит стойкая гипергликемия [1]. Заболевания печени встречаются у 70 % лиц с СД2 [2], и они являются одной из ведущих причин смерти таких пациентов [3]. Печень выполняет ключевую функцию в регуляции углеводного обмена [4]. Согласно данным исследования [5], у больных СД2 наблюдается выраженное снижение уровня липопротеинов высокой плотности (ЛПВП) и одновременное увеличение уровня липопротеинов низкой плотности (ЛПНП), что ускоряет развитие атеросклеротических изменений. При этом отмечается значительное повышение активности аспаратаминотрансферазы (AST) и аланинаминотрансферазы (ALT), тесно коррелирующей с уровнем триглицеридов [6]. Глюконеогенез в печени контролируется активностью фосфоенолпируваткарбоксихиназы (PEPCK) [7]. Инсулин подавляет глюконеогенез в печени, блокируя PEPCK; при нарушении инсулинового сигнала отсутствие этого блокирующего эффекта приводит к повышению секреции глюкозы и гипергликемии натощак [8]. Дисбаланс процессов глюконеогенеза в печени рассматривается как один из ведущих механизмов формирования гипергликемии при СД2 [9].

Транскрипционный фактор FOXO1, регулирующий элементы инсулинового сигнального каскада, активно экспрессируется в печени; при инсулинорезистентности нарушается инсулин-опосредованное фосфорилирование FOXO1 и его ядерно-цитоплазматическая регуляция [10]. Избыточная экспрессия FOXO1 активирует PEPCK, что ведет к усилению глюконеогенеза, гипергликемии и нарушениям липидного обмена [11].

Имеющиеся данные свидетельствуют, что регулярные физические нагрузки положи-

тельно влияют на печеночный метаболизм, уменьшают выраженность инсулинорезистентности и замедляют прогрессирование СД2 и ожирения [12]. Экспериментальные работы на животных показали, что аэробные тренировки повышают чувствительность печени к инсулину при СД2 и ожирении, активируют фосфорилирование регуляторных белков и снижают экспрессию PEPCK, что приводит к ослаблению глюконеогенеза. Кроме того, доказано, что длительные тренировки средней интенсивности (например, плавание или бег) способствуют уменьшению концентраций триглицеридов и ЛПНП при одновременном увеличении уровня ЛПВП [13]. Однако в научной литературе практически отсутствуют прямые сопоставления эффективности различных тренировочных режимов. В связи с этим целью настоящего исследования стал сетевой метаанализ по 8 ключевым показателям, связанным с функцией печени, для выявления наиболее оптимальных режимов физических нагрузок, поддерживающих работу данного органа у животных с СД2.

Материалы и методы. Проведен поиск данных в базах Web of Science, PubMed, Scopus, CNKI и EBSCO до 1 мая 2025 года. Поисковые запросы включали такие термины, как «type 2 diabetes», «T2DM», «exercises», «liver», «hepatic». Применялась комбинация предметных заголовков и свободных терминов.

Критерии включения: 1) исследования на мышцах, у которых был индуцирован СД2 (включенные работы задействовали две наиболее распространенные экспериментальные модели СД2 – диету с высоким содержанием жиров и инъекцию стрептозотоцина); 2) рандомизированные контролируемые испытания с использованием физических упражнений в качестве терапии; 3) отсутствие значимых различий в исходных показате-

лях до вмешательства; 4) контроль следующих показателей: уровни триглицеридов в печени, ЛПВП и ЛПНП, ALT и AST, а также экспрессии PEPCK; 5) применение в качестве вмешательства одной из следующих тренировок: регулярный бег, добровольный бег в колесе, силовые упражнения, тренировки средней интенсивности (непрерывный бег на тредмиле при интенсивности 50–70 % от максимального потребления кислорода), высокоинтенсивные интервальные тренировки (интервальный бег на тредмиле при интенсивности 80–95 % от максимального потребления кислорода с периодами активного отдыха), плавание.

Критерии исключения: 1) отсутствие релевантных показателей результатов или недоступность данных; 2) исследования на недиабетических мышах, обзоры; 3) отсутствие указания типа физической активности.

Извлеченные данные были предварительно обработаны в программе Excel 2016 и преобразованы в форму среднего значения и стандартного отклонения для выявления разницы до и после вмешательства. Сетевой метаанализ был проведен с использованием программы Stata 16.0 с применением частотной модели со случайными эффектами (random-effects model). Результаты представлялись в виде

стандартизированной разности средних (SMD, представляет собой безразмерный показатель величины эффекта, использовался для объединения результатов исследований, в которых оценивались одни и те же биомаркеры, но могли применяться различные методы их измерения) и 95 %-го доверительного интервала (95% CI). Сравнение видов физических нагрузок и оценка достоверности различий проводились в рамках указанной модели, статистически значимыми считались различия при $p < 0,05$. Для оценки согласованности между прямыми и косвенными доказательствами применялся глобальный тест Вальда (Wald test). Для каждого показателя был построен сетевой график, где различные типы упражнений представлены в виде узлов, размер которых зависит от размера выборки. Лучшая методика упражнений была определена на основе площади под кривой ранжирования (Surface Under the Cumulative Ranking, SUCRA). Наличие эффекта малой выборки или смещения публикаций оценивалось с использованием графиков воронок [14].

Результаты. В процессе поиска было найдено 1408 статей. После исключения дубликатов и несоответствующих работ было отобрано 38 исследований, соответствующих критериям, суммарно с участием 601 мыши (рис. 1).

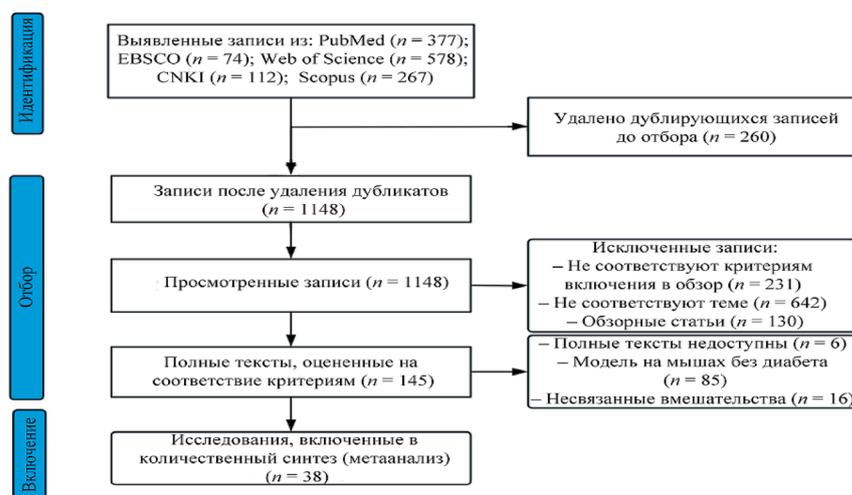


Рис. 1. Процесс и результаты скрининга научной литературы

Fig. 1. Process and results of literature screening

Сетевая структура (рис. 2) показала, что исследования с аэробными упражнениями [13, 15–31] и плаванием [32–38] имеют наибольший размер выборки. Объем выборки для других видов вмешательств, таких как силовые упражнения [39–44] и добровольная физическая активность [45], меньше, что визуализируется малым размером соответствующих узлов на сетевой диаграмме. В 5 исследованиях напрямую сравниваются тренировки средней интенсивности и высокоинтенсивные интервальные тренировки [46–50]. В одном – рассматриваются исключительно высокоинтенсивные интервальные тренировки [51].

Регулярные беговые тренировки у мышей с СД2 приводили к статистически значимому снижению уровня триглицеридов в печени по сравнению с седентарной контрольной группой с СД2 (SMD = $-4,19$; 95% CI: $-6,48...-1,89$; $p < 0,05$). Отрицательное значение безразмерного показателя SMD указывает на уменьшение уровня липидов относительно контроля, а отсутствие пересечения 95% CI с нулевой отметкой подтверждает статистическую достоверность эффекта. Также значимый эффект наблюдался при выполнении силовых упражнений по сравнению с седентарной контрольной группой с СД2 (SMD = $-3,88$; 95% CI: $-7,24...-0,52$;

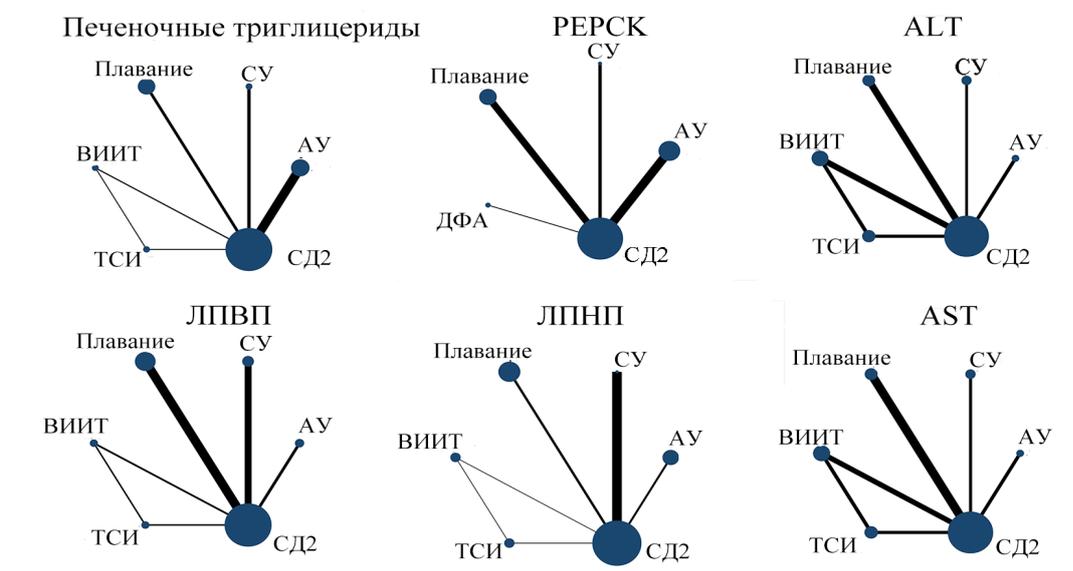


Рис. 2. Сетевая диаграмма взаимосвязей между типами тренировочных программ и исследуемыми показателями функционального состояния печени мышей с СД2 (размер каждого узла (круга) прямо пропорционален общему количеству животных в соответствующей группе вмешательства; толщина линий, соединяющих узлы, отражает количество независимых прямых сравнений между конкретными видами тренировок): АУ – аэробные упражнения (регулярный бег); СИ – силовые упражнения; ВИИТ – высокоинтенсивные интервальные тренировки; ТСИ – тренировки средней интенсивности; ДФА – добровольная физическая активность (свободный бег в колесе)

Fig. 2. Network diagram of the relationships between different types of training and the studied liver parameters in mice with T2DM (the size of each node (circle) is directly proportional to the total number of animals in the corresponding intervention group; the thickness of the lines connecting the nodes reflects the number of independent direct comparisons between the specific types of training): АУ – aerobic exercise (regular running); СИ – resistance training; ВИИТ – high-intensity interval training; ТСИ – moderate-intensity continuous training; ДФА – voluntary wheel running

$p < 0,05$). Кроме того, беговые тренировки оказались эффективнее плавания ($SMD = -3,79$; $95\% \text{ CI: } -6,93 \dots -0,66$; $p < 0,05$). Статистически значимых различий между другими видами интервенций не обнаружено ($p > 0,05$). Подробные данные представлены на *рис. 3*.

При оценке эффекта малой выборки и смещения публикаций с использованием графиков воронок установлено, что большинство точек находилось внутри границ воронкообразного графика, симметрия диаграммы сохранялась, существенного риска публикационного смещения не выявлено (*рис. 4*).

Обсуждение. Проведенный сравнительный анализ влияния различных режимов физической активности на функциональное состояние печени мышей с СД2 установил, что высокоинтенсивные интервальные тренировки обеспечивают наиболее выраженный положительный эффект: наблюдалось существенное снижение уровней триглицеридов и АЛТ при одновременном росте концентрации ЛПНП. В то же время силовые тренировки продемонстрировали преимущество в уменьшении уровней АСТ, ЛПНП и активности РЕРСК.

Предшествующие исследования убедительно доказали, что содержание триглицеридов в печени тесно связано с ожирением и СД2 [52], а снижение их уровня сопровождается улучшением чувствительности к инсулину [53]. У пациентов с СД2 повышение концентрации триглицеридов в печени ассоциируется с высоким уровнем ЛПНП и выраженной инсулинорезистентностью [54, 55]. В сравнении с традиционными аэробными тренировками средней интенсивности, высокоинтенсивные интервальные тренировки демонстрируют большую эффективность в улучшении физической работоспособности, снижении уровня ЛПНП и повышении концентрации ЛПВП [56]. Несмотря на данные R. Marinho et al. о том, что физические нагрузки могут приводить к увеличению уровня триглицеридов [15], что может зависеть от типа и интенсивности упражнений, результаты проведенного нами метаанализа показали: физическая активность

в целом способствует снижению содержания триглицеридов в печени у животных с СД2. В то же время наши данные позволяют предположить, что наиболее эффективным режимом для уменьшения уровня печеночных триглицеридов у животных с СД2 являются именно высокоинтенсивные интервальные тренировки. При гипертриглицеридемии триглицериды попадают в частицы ЛПНП и ЛПВП, а затем удаляются из них с помощью печеночной липазы [57]. ЛПВП и ЛПНП транспортируют холестерин из окружающих тканей, и уровень ЛПВП понижается при диабете 1-го и 2-го типа, а также у лиц с нарушенной толерантностью к глюкозе [58]. Клиническое исследование [59] установило, что у диабетиков высокий уровень ЛПНП и низкий уровень ЛПВП, а также высокое содержание триглицеридов являются важными предикторами смертности. Печень содержит около 70 % рецепторов для ЛПНП, и их активность определяет уровень данных липопротеинов в плазме [60]. Результаты нашего исследования показали, что высокоинтенсивные интервальные тренировки более эффективно влияют на уровни триглицеридов и ЛПВП в печени; это может быть связано с механизмом взаимодействия триглицеридов и ЛПВП.

Согласно данным Q. Liu et al., у мышей с СД2 экспрессия РЕРСК в печени значительно повышена, что может привести к увеличению уровня глюкозы [61]. Физическая активность регулирует экспрессию генов глюконеогенеза и инсулинорезистентности [62].

Физическая активность может обратить вспять снижение уровня гликогена в печени у диабетических животных [63]. Плавание и краткосрочные силовые тренировки способствуют повышению содержания гликогена в печени, усиливая фосфорилирование FOXO1, что приводит к уменьшению активности РЕРСК и концентрации глюкозы [64]. Наш метаанализ также подтвердил, что различные виды физических упражнений способствуют снижению активности РЕРСК в печени. Наиболее эффективной в этом отношении оказалась силовая тренировка.

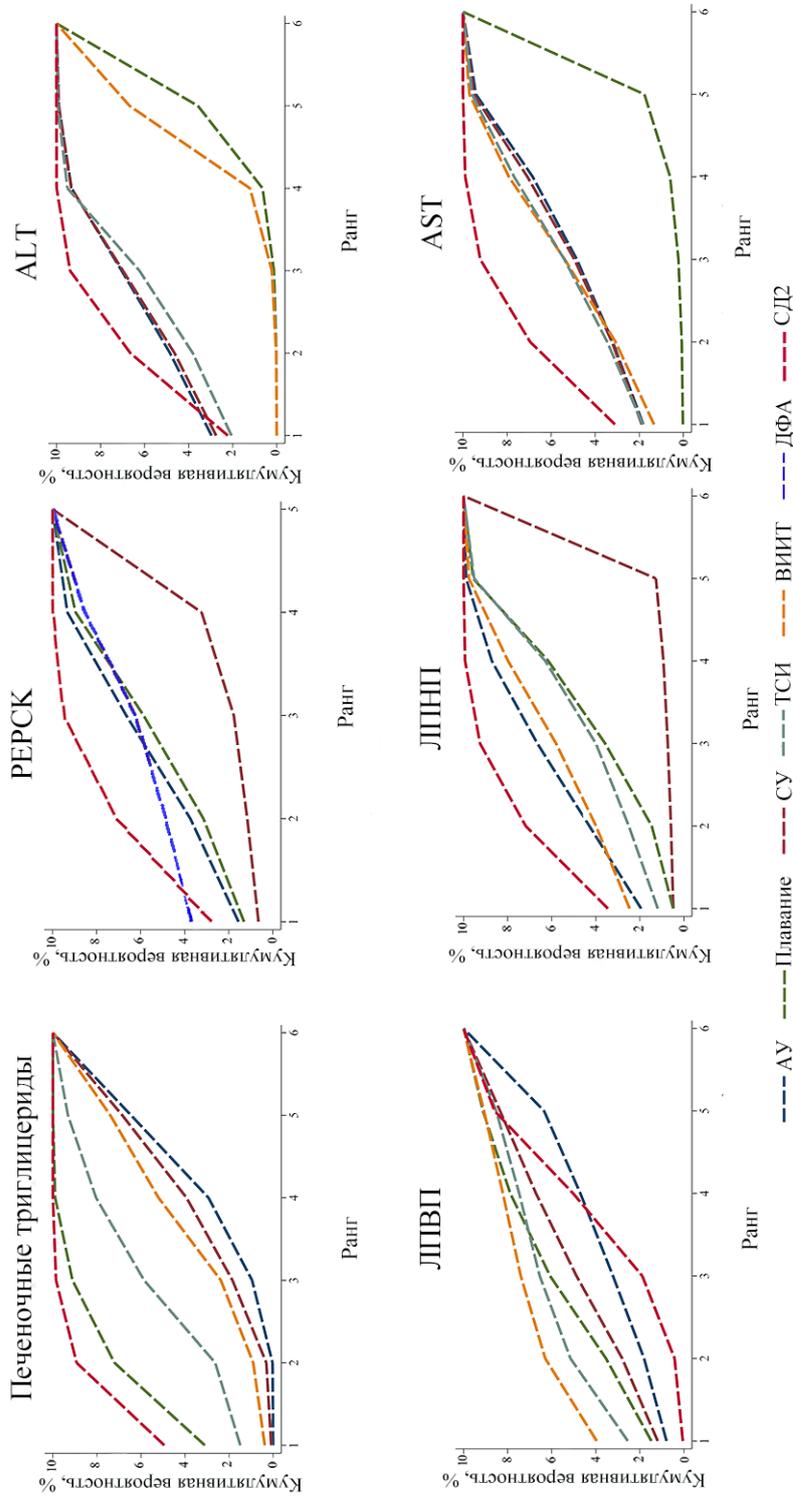


Рис. 3. Кумулятивные вероятности ранжирования эффективности тренировочных программ в улучшении показателей функционального состояния печени у мышей с СД2 (ранг 1 соответствует наименьшей эффективности; площадь под кривой (SUCRA) отражает вероятность занятия лидирующего ранга; обозначения – см. рис. 2)

Fig. 3. Cumulative probabilities of ranking the effectiveness of different types of training in improving liver function in mice with T2DM (rank 1 is the least effective; the area under the curve (SUCRA) reflects the probability of having the highest rank; for legend see Fig. 2)

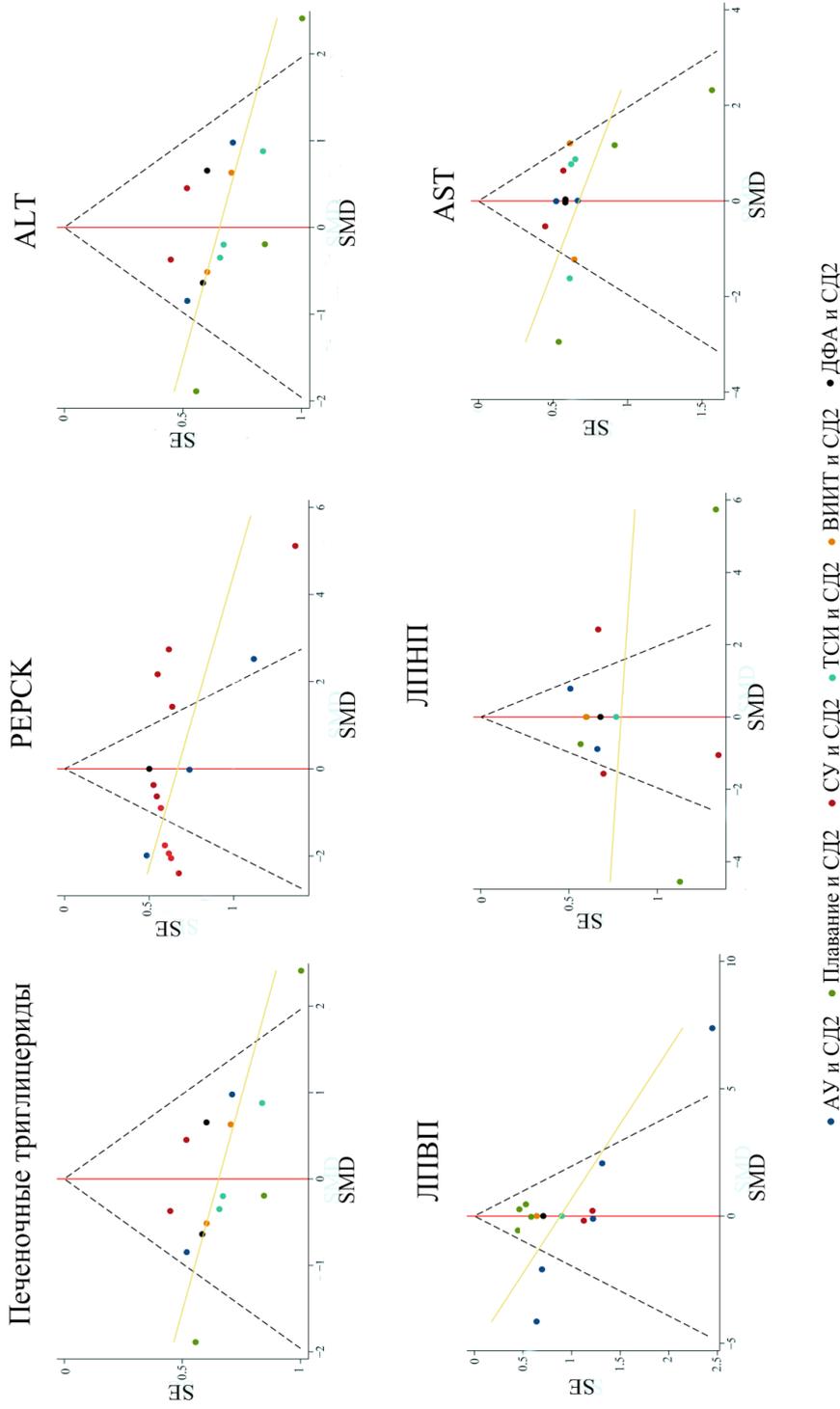


Рис. 4. Воронкообразная диаграмма оценки публикационного смещения: SMD – стандартизованная разность средних в отношении эффективности различных типов тренировочных программ; SE – стандартная ошибка; пунктирная область – 95% CI (визуальная симметрия указывает на отсутствие значимого смещения публикаций); желтая прямая – линия регрессии (тест Эггера) для оценки асимметрии воронки

Fig. 4. Funnel plot for assessing publication bias: SMD – standardized mean difference in the effectiveness of different types of training; SE – standard error; the dotted area is 95% CI (visual symmetry indicates the absence of a significant publication bias); yellow line – regression line (Egger's test) for assessing funnel plot asymmetry

AST и ALT используются как биохимические маркеры повреждения печени и потенциальные индикаторы инсулинорезистентности [65]. У пациентов с СД2 уровни этих ферментов значительно повышены [66]. Начальная стадия СД2 сопровождается накоплением жира в печени, что также приводит к увеличению уровней этих ферментов. Силовые тренировки регулируют липидный обмен и уменьшают образование жира в печени [67]. Независимо от изменений массы тела, физическая активность снижает уровни AST и ALT, вероятно благодаря ослаблению инсулинорезистентности. Аэробные, силовые и высокоинтенсивные интервальные тренировки способствуют уменьшению уровней AST и ALT [68], что согласуется с нашими результатами. Нами также было обнаружено, что среди различных режимов физических нагрузок высокоинтенсивные интервальные тренировки наиболее эффективно снижают уровень ALT, в то время как силовые тренировки – уровень AST.

Ограничения исследования:

1. Включенные в обзор эксперименты были выполнены на животных с использованием двух моделей СД2, которые различаются по патогенетическим механизмам и могут оказывать влияние на полученные результаты.

2. Данный метаанализ был сфокусирован на сопоставлении эффективности типов физических нагрузок, в то время как детальное сравне-

ние влияния различных уровней интенсивности и продолжительности упражнений не входило в задачи работы. В связи с этим в дальнейшем целесообразно проведение исследований, направленных на систематическую оценку воздействия именно интенсивности физических нагрузок на метаболические показатели при СД2.

Наш метаанализ установил, что различные типы физических упражнений оказывают неодинаковое влияние на функциональные показатели печени у мышей с СД2. Наибольший положительный эффект выявлен при высокоинтенсивных интервальных тренировках, которые способствовали выраженному снижению уровней ALT и триглицеридов, а также увеличению концентрации ЛПВП. Силовые тренировки обеспечивали преимущественное уменьшение уровней AST, ЛПНП и активности ПЕРСК, что отражает улучшение глюконеогенеза и липидного обмена в печени. Таким образом, физическая активность, особенно высокоинтенсивные интервальные тренировки и силовые упражнения, представляет собой наиболее эффективную немедикаментозную стратегию для коррекции нарушений печеночного метаболизма при СД2. Однако, учитывая физиологические различия между мышами и людьми, полученные результаты требуют дальнейших исследований перед возможным применением в клинической практике.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Список литературы

1. Tomic D., Shaw J.E., Magliano D.J. The Burden and Risks of Emerging Complications of Diabetes Mellitus // Nat. Rev. Endocrinol. 2022. Vol. 18, № 9. P. 525–539. <https://doi.org/10.1038/s41574-022-00690-7>
2. Lee C.-H., Lui D.T.W., Lam K.S.L. Non-Alcoholic Fatty Liver Disease and Type 2 Diabetes: An Update // J. Diabetes Investig. 2022. Vol. 13, № 6. P. 930–940. <https://doi.org/10.1111/jdi.13756>
3. Bergman R.N., Piccinini F., Kabir M., Kolka C.M., Ader M. Hypothesis: Role of Reduced Hepatic Insulin Clearance in the Pathogenesis of Type 2 Diabetes // Diabetes. 2019. Vol. 68, № 9. P. 1709–1716. <https://doi.org/10.2337/db19-0098>
4. Ciardullo S., Perseghin G. Prevalence of Elevated Liver Stiffness in Patients with Type 1 and Type 2 Diabetes: A Systematic Review and Meta-Analysis // Diabetes Res. Clin. Pract. 2022. Vol. 190. Art. № 109981. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2022.109981>

5. Duckworth W.C., Bennett R.G., Hamel F.G. Insulin Degradation: Progress and Potential // *Endocr. Rev.* 1998. Vol. 19, № 5. P. 608–624. <https://doi.org/10.1210/edrv.19.5.0349>
6. Fazio S., Linton M.F. Mouse Models of Hyperlipidemia and Atherosclerosis // *Front. Biosci.* 2001. Vol. 6. P. D515–D525. <https://doi.org/10.2741/fazio>
7. Feng J., Zhang Q., Chen B., Chen J., Wang W., Hu Y., Yu J., Huang H. Effects of High-Intensity Intermittent Exercise on Glucose and Lipid Metabolism in Type 2 Diabetes Patients: A Systematic Review and Meta-Analysis // *Front. Endocrinol. (Lausanne)*. 2024. Vol. 15. Art. № 1360998. <https://doi.org/10.3389/fendo.2024.1360998>
8. Galderisi A., Polidori D., Weiss R., Giannini C., Pierpont B., Tricò D., Caprio S. Lower Insulin Clearance Parallels a Reduced Insulin Sensitivity in Obese Youths and Is Associated with a Decline in β -Cell Function over Time // *Diabetes*. 2019. Vol. 68, № 11. P. 2074–2084. <https://doi.org/10.2337/db19-0120>
9. Gan S.K., Kriketos A.D., Ellis B.A., Thompson C.H., Kraegen E.W., Chisholm D.J. Changes in Aerobic Capacity and Visceral Fat but Not Myocyte Lipid Levels Predict Increased Insulin Action After Exercise in Overweight and Obese Men // *Diabetes Care*. 2003. Vol. 26, № 6. P. 1706–1713. <https://doi.org/10.2337/diacare.26.6.1706>
10. Gu L., Ding X., Wang Y., Gu M., Zhang J., Yan S., Li N., Song Z., Yin J., Lu L., Peng Y. Spexin Alleviates Insulin Resistance and Inhibits Hepatic Gluconeogenesis via the FoxO1/PGC-1 α Pathway in High-Fat-Diet-Induced Rats and Insulin Resistant Cells // *Int. J. Biol. Sci.* 2019. Vol. 15, № 13. P. 2815–2829. <https://doi.org/10.7150/ijbs.31781>
11. Hoene M., Lehmann R., Hennige A.M., Pohl A.K., Häring H.U., Schleicher E.D., Weigert C. Acute Regulation of Metabolic Genes and Insulin Receptor Substrates in the Liver of Mice by One Single Bout of Treadmill Exercise // *J. Physiol.* 2009. Vol. 587, № 1. P. 241–252. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2008.160275>
12. Kanaley J.A., Colberg S.R., Corcoran M.H., Malin S.K., Rodriguez N.R., Crespo C.J., Kirwan J.P., Zierath J.R. Exercise/Physical Activity in Individuals with Type 2 Diabetes: A Consensus Statement from the American College of Sports Medicine // *Med. Sci. Sports Exerc.* 2022. Vol. 54, № 2. P. 353–368. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002800>
13. Kazeminasab F., Baharlooie M., Rezazadeh H., Soltani N., Rosenkranz S.K. The Effects of Aerobic Exercise on Liver Function, Insulin Resistance, and Lipid Profiles in Prediabetic and Type 2 Diabetic Mice // *Physiol. Behav.* 2023. Vol. 271. Art. № 114340. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2023.114340>
14. Liu J.L. The Role of the Funnel Plot in Detecting Publication and Related Biases in Meta-Analysis // *Evid. Based Dent.* 2011. Vol. 12, № 4. P. 121–122. <https://doi.org/10.1038/sj.ebd.6400831>
15. Marinho R., Ropelle E.R., Cintra D.E., De Souza C.T., Da Silva A.S., Bertoli F.C., Colantonio E., D'Almeida V., Pauli J.R. Endurance Exercise Training Increases APPL1 Expression and Improves Insulin Signaling in the Hepatic Tissue of Diet-Induced Obese Mice, Independently of Weight Loss // *J. Cell. Physiol.* 2012. Vol. 227, № 7. P. 2917–2926. <https://doi.org/10.1002/jcp.23037>
16. Brust K.B., Corbell K.A., Al-Nakkash L., Babu J.R., Broderick T.L. Expression of Gluconeogenic Enzymes and 11 β -Hydroxysteroid Dehydrogenase Type 1 in Liver of Diabetic Mice After Acute Exercise // *Diabetes Metab. Syndr. Obes.* 2014. Vol. 7. P. 495–504. <https://doi.org/10.2147/dms.o.s70767>
17. Heled Y., Shapiro Y., Shani Y., Moran D.S., Langzam L., Barash V., Sampson S.R., Meyerovitch J. Physical Exercise Enhances Hepatic Insulin Signaling and Inhibits Phosphoenolpyruvate Carboxykinase Activity in Diabetes-Prone *Psammomys obesus* // *Metabolism*. 2004. Vol. 53, № 7. P. 836–841. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2004.02.006>
18. Gomes R.J., de Oliveira C.A.M., Ribeiro C., de Alencar Mota C.S., Moura L.P., Cesar Tognoli L.M.M., de Almeida Leme J.A.C., Luciano E., de Mello M.A.R. Effects of Exercise Training on Hippocampus Concentrations of Insulin and IGF-1 in Diabetic Rats // *Hippocampus*. 2009. Vol. 19, № 10. P. 981–987. <https://doi.org/10.1002/hipo.20636>
19. Stevanović-Silva J., Beleza J., Coxito P., Oliveira P.J., Ascensão A., Magalhães J. Gestational Exercise Antagonises the Impact of Maternal High-Fat High-Sucrose Diet on Liver Mitochondrial Alterations and Quality Control Signalling in Male Offspring // *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2023. Vol. 20, № 2. Art. № 1388. <https://doi.org/10.3390/ijerph20021388>
20. Lin X., Qu J., Yin L., Wang R., Wang X. Aerobic Exercise-Induced Decrease of Chemerin Improved Glucose and Lipid Metabolism and Fatty Liver of Diabetes Mice Through Key Metabolism Enzymes and Proteins // *Biochim. Biophys. Acta Mol. Cell Biol. Lipids*. 2023. Vol. 1868, № 12. Art. № 159409. <https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2023.159409>
21. Zhang Y., Ye T., Zhou P., Li R., Liu Z., Xie J., Hua T., Sun Q. Exercise Ameliorates Insulin Resistance and Improves ASK1-Mediated Insulin Signalling in Obese Rats // *J. Cell. Mol. Med.* 2021. Vol. 25, № 23. P. 10930–10938. <https://doi.org/10.1111/jcmm.16994>

22. Moura L.P., Puga G.M., Beck W.R., Teixeira I.P., Ghezzi A.C., Silva G.A., Mello M.A.R. Exercise and *Spirulina* Control Non-Alcoholic Hepatic Steatosis and Lipid Profile in Diabetic Wistar Rats // *Lipids Health Dis.* 2011. Vol. 10. Art. № 77. <https://doi.org/10.1186/1476-511X-10-77>
23. Lima T.I., Monteiro I.C., Valença S., Leal-Cardoso J.H., Fortunato R.S., Carvalho D.P., Teodoro B.G., Ceccatto V.M. Effect of Exercise Training on Liver Antioxidant Enzymes in STZ-Diabetic Rats // *Life Sci.* 2015. Vol. 128. P. 64–71. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2015.01.031>
24. Kuga G.K., Gaspar R.C., Muñoz V.R., Nakandakari S.C.B.R., Breda L., Sandoval B.M., Caetano F.H., Leme J.A.C.A., Pauli J.R., Gomes R.J. Physical Training Reverses Changes in Hepatic Mitochondrial Diameter of Alloxan-Induced Diabetic Rats // *Einstein (São Paulo)*. 2018. Vol. 16, № 3. Art. № eAO4353. <https://doi.org/10.1590/S1679-45082018AO4353>
25. de Bem G.F., da Costa C.A., da Silva Cristino Cordeiro V., Santos I.B., de Carvalho L.C.R.M., de Andrade Soares R., Ribeiro J.H., de Souza M.A.V., da Cunha Sousa P.J., Ognibene D.T., Resende A.C., de Moura R.S. *Euterpe oleracea* Mart. (açai) Seed Extract Associated with Exercise Training Reduces Hepatic Steatosis in Type 2 Diabetic Male Rats // *J. Nutr. Biochem.* 2018. Vol. 52. P. 70–81. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2017.09.021>
26. Katar M., Gevrek F. Relation of the Intense Physical Exercise and Asprosin Concentrations in Type 2 Diabetic Rats // *Tissue Cell.* 2024. Vol. 90. Art. № 102501. <https://doi.org/10.1016/j.tice.2024.102501>
27. Lin X.-J., Yang H.-F., Wang X.-H. Effects of Aerobic Exercise and Dieting on Chemerin and Its Receptor CMKLR1 in the Livers of Type 2 Diabetic Rats // *Zhongguo Ying Yong Sheng Li Xue Za Zhi.* 2017. Vol. 33, № 5. P. 426–430. <https://doi.org/10.12047/j.cjap.5495.2017.103>
28. Yi X., Cao S., Chang B., Zhao D., Gao H., Wan Y., Shi J., Wei W., Guan Y. Effects of Acute Exercise and Chronic Exercise on the Liver Leptin-AMPK-ACC Signaling Pathway in Rats with Type 2 Diabetes // *J. Diabetes Res.* 2013. Vol. 2013. Art. № 946432. <https://doi.org/10.1155/2013/946432>
29. Gomes R.J., de Almeida Leme J.A.C., de Moura L.P., de Araújo M.B., Rogatto G.P., de Moura R.F., Luciano E., de Mello M.A.R. Growth Factors and Glucose Homeostasis in Diabetic Rats: Effects of Exercise Training // *Cell Biochem. Funct.* 2009. Vol. 27, № 4. P. 199–204. <https://doi.org/10.1002/cbf.1556>
30. Baldissera G., Sperotto N.D.M., Rosa H.T., Henn J.G., Peres V.F., Moura D.J., Roehrs R., Denardin E.L.G., Dal Lago P., Nunes R.B., Saffi J. Effects of Crude Hydroalcoholic Extract of *Syzygium cumini* (L.) Skeels Leaves and Continuous Aerobic Training in Rats with Diabetes Induced by a High-Fat Diet and Low Doses of Streptozotocin // *J. Ethnopharmacol.* 2016. Vol. 194. P. 1012–1021. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2016.10.076>
31. de Almeida Leme J.A.C., Gomes R.J., de Mello M.A.R., Caetano F.H., Luciano E. Effects of Short-Term Physical Training on the Liver IGF-I in Diabetic Rats // *Growth Factors.* 2007. Vol. 25, № 1. P. 9–14. <https://doi.org/10.1080/08977190701210693>
32. Leme J.A.C.A., Silveira R.F., Gomes R.J., Moura R.F., Sibuya C.A., Mello M.A., Luciano E. Long-Term Physical Training Increases Liver IGF-I in Diabetic Rats // *Growth Horm. IGF Res.* 2009. Vol. 19, № 3. P. 262–266. <https://doi.org/10.1016/j.ghir.2008.12.004>
33. Ropelle E.R., Pauli J.R., Cintra D.E., Frederico M.J.S., de Pinho R.A., Velloso L.A., De Souza C.T. Acute Exercise Modulates the Foxo1/PGC-1 α Pathway in the Liver of Diet-Induced Obesity Rats // *J. Physiol.* 2009. Vol. 587, № 9. P. 2069–2076. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2008.164202>
34. Kolieb E., Maher S.A., Shalaby M.N., Alsuhaibani A.M., Alharthi A., Hassan W.A., El-Sayed K. Vitamin D and Swimming Exercise Prevent Obesity in Rats Under a High-Fat Diet via Targeting FATP4 and TLR4 in the Liver and Adipose Tissue // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2022. Vol. 19, № 21. Art. № 13740. <https://doi.org/10.3390/ijerph192113740>
35. Huang L., Yue P., Wu X., Yu T., Wang Y., Zhou J., Kong D., Chen K. Combined Intervention of Swimming Plus Metformin Ameliorates the Insulin Resistance and Impaired Lipid Metabolism in Murine Gestational Diabetes Mellitus // *PLoS One.* 2018. Vol. 13, № 4. Art. № e0195609. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195609>
36. Sakr H.F., Abbas A.M., Haidara M.A. Swimming, but Not Vitamin E, Ameliorates Prothrombotic State and Hypofibrinolysis in a Rat Model of Nonalcoholic Fatty Liver Disease // *J. Basic Clin. Physiol. Pharmacol.* 2018. Vol. 29, № 1. P. 61–71. <https://doi.org/10.1515/jbcpp-2017-0069>
37. Lima A.F., Ropelle E.R., Pauli J.R., Cintra D.E., Frederico M.J.S., Pinho R.A., Velloso L.A., De Souza C.T. Acute Exercise Reduces Insulin Resistance-Induced TRB3 Expression and Amelioration of the Hepatic Production of Glucose in the Liver of Diabetic Mice // *J. Cell. Physiol.* 2009. Vol. 221, № 1. P. 92–97. <https://doi.org/10.1002/jcp.21833>

38. Bicer M., Gunay M., Akil M., Avunduk M.C., Mogulkoc R., Baltaci A.K. Effect of Long-Term Intraperitoneal Zinc Administration on Liver Glycogen Levels in Diabetic Rats Subjected to Acute Forced Swimming // *Biol. Trace Elem. Res.* 2011. Vol. 139, № 3. P. 317–324. <https://doi.org/10.1007/s12011-010-8658-5>
39. Pereira R.M., da Cruz Rodrigues K.C., Anaruma C.P., Sant'Ana M.R., Pereira de Campos T.D., Gaspar R.S., Canciglieri R.S., de Melo D.G., Mekary R.A., Ramos da Silva A.S., Cintra D.E., Ropelle E.R., Pauli J.R., de Moura L.P. Short-Term Strength Training Reduces Gluconeogenesis and NAFLD in Obese Mice // *J. Endocrinol.* 2019. Vol. 241, № 1. P. 59–70. <https://doi.org/10.1530/JOE-18-0567>
40. Vivero A., Ruz M., Rivera M., Miranda K., Sacristán C., Espinosa A., Codoceo J., Inostroza J., Vásquez K., Pérez Á., García-Díaz D., Arredondo M. Zinc Supplementation and Strength Exercise in Rats with Type 2 Diabetes: Akt and PTP1B Phosphorylation in Nonalcoholic Fatty Liver // *Biol. Trace Elem. Res.* 2021. Vol. 199, № 6. P. 2215–2224. <https://doi.org/10.1007/s12011-020-02324-3>
41. Pereira R.M., da Cruz Rodrigues K.C., Sant'Ana M.R., da Rocha A.L., Morelli A.P., Veras A.S.C., Gaspar R.S., da Costa Fernandes C.J., Teixeira G.R., Simabuco F.M., da Silva A.S.R., Cintra D.E., Ropelle E.R., Pauli J.R., de Moura L.P. FOXO1 Is Downregulated in Obese Mice Subjected to Short-Term Strength Training // *J. Cell. Physiol.* 2022. Vol. 237, № 11. P. 4262–4274. <https://doi.org/10.1002/jcp.30882>
42. Júnior A.S.S., Aidar F.J., Dos Santos J.L., Dos Santos Estevam C., Dos Santos J.D.M., de Oliveira e Silva A.M., Lima F.B., De Araújo S.S., Marçal A.C. Effects of Resistance Training and Turmeric Supplementation on Reactive Species Marker Stress in Diabetic Rats // *BMC Sports Sci. Med. Rehabil.* 2020. Vol. 12. Art. № 45. <https://doi.org/10.1186/s13102-020-00194-9>
43. Zarrinkalam E., Ranjbar K., Salehi I., Vakili M., Kheiripour N., Komaki A. Resistance Training and Hawthorn Extract Ameliorate Cognitive Deficits in Streptozotocin-Induced Diabetic Rats // *Biomed. Pharmacother.* 2018. Vol. 97. P. 503–510. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2017.10.138>
44. Dehghan F., Hajiaghaalipour F., Yusof A., Muniandy S., Hosseini S.A., Heydari S., Salim L.Z.A., Azarbayjani M.A. Saffron with Resistance Exercise Improves Diabetic Parameters Through the GLUT4/AMPK Pathway *in-vitro* and *in-vivo* // *Sci. Rep.* 2016. Vol. 6. Art. № 25139. <https://doi.org/10.1038/srep25139>
45. Király M.A., Campbell J., Park E., Bates H.E., Yue J.T.Y., Rao V., Matthews S.G., Bikopoulos G., Rozakis-Adcock M., Giacca A., Vranic M., Riddell M.C. Exercise Maintains Euglycemia in Association with Decreased Activation of c-Jun NH2-Terminal Kinase and Serine Phosphorylation of IRS-1 in the Liver of ZDF Rats // *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 2010. Vol. 298, № 3. P. E671–E682. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.90575.2008>
46. Mansoori Z., Jahromi M.K., Daryanoosh F., Forouhari S. High Intensity Interval Training Is More Effective Than Moderate Intensity Continuous Training in Ameliorating the Influence of Acute Noise Stress on Coagulation Factors // *Sport Sci. Health.* 2023. Vol. 19, № 2. P. 537–544. <https://doi.org/10.1007/s11332-022-01041-9>
47. Kalaki-Jouybari F., Shanaki M., Delfan M., Gorgani-Firuzjaee S., Khakdan S. High-Intensity Interval Training (HIIT) Alleviated NAFLD Feature via miR-122 Induction in Liver of High-Fat High-Fructose Diet Induced Diabetic Rats // *Arch. Physiol. Biochem.* 2020. Vol. 126, № 3. P. 242–249. <https://doi.org/10.1080/13813455.2018.1510968>
48. Mohammad P., Esfandiari K.Z., Abbas S., Ahoora R. Effects of Moderate-Intensity Continuous Training and High-Intensity Interval Training on Serum Levels of Resistin, Chemerin and Liver Enzymes in Streptozotocin-Nicotinamide Induced Type-2 Diabetic Rats // *J. Diabetes Metab. Disord.* 2019. Vol. 18, № 2. P. 379–387. <https://doi.org/10.1007/s40200-019-00422-1>
49. Amri J., Parastesh M., Sadegh M., Latifi S.A., Alaei M. High-Intensity Interval Training Improved Fasting Blood Glucose and Lipid Profiles in Type 2 Diabetic Rats More Than Endurance Training; Possible Involvement of Irisin and Betatrophin // *Physiol. Int.* 2019. Vol. 106, № 3. P. 213–224. <https://doi.org/10.1556/2060.106.2019.24>
50. Sini Z.K., Afzalpour M.E., Ahmadi M.M., Sardar M.A., Khaleghzadeh H., Gorgani-Firuzjaee S., Hofmeister M., Akaras E., Azimkhani A. Comparison of the Effects of High-Intensity Interval Training and Moderate-Intensity Continuous Training on Indices of Liver and Muscle Tissue in High-Fat Diet-Induced Male Rats with Non-Alcoholic Fatty Liver Disease // *Egypt. Liver J.* 2022. Vol. 12. Art. № 63. <https://doi.org/10.1186/s43066-022-00229-5>
51. Marcinko K., Sikkema S.R., Samaan M.C., Kemp B.E., Fullerton M.D., Steinberg G.R. High Intensity Interval Training Improves Liver and Adipose Tissue Insulin Sensitivity // *Mol. Metab.* 2015. Vol. 4, № 12. P. 903–915. <https://doi.org/10.1016/j.molmet.2015.09.006>
52. Li W., Wang Y., He F., Liu Z., Dong J., Zhang Y., Li T., Liu S., Chen E. Association Between Triglyceride-Glucose Index and Nonalcoholic Fatty Liver Disease in Type 2 Diabetes Mellitus // *BMC Endocr. Disord.* 2022. Vol. 22, № 1. Art. № 261. <https://doi.org/10.1186/s12902-022-01172-7>

53. Gong R., Luo G., Wang M., Ma L., Sun S., Wei X. Associations Between TG/HDL Ratio and Insulin Resistance in the US Population: A Cross-Sectional Study // *Endocr. Connect.* 2021. Vol. 10, № 11. P. 1502–1512. <https://doi.org/10.1530/EC-21-0414>
54. Liu H., Liu J., Liu J., Xin S., Lyu Z., Fu X. Triglyceride to High-Density Lipoprotein Cholesterol (TG/HDL-C) Ratio, a Simple but Effective Indicator in Predicting Type 2 Diabetes Mellitus in Older Adults // *Front. Endocrinol. (Lausanne)*. 2022. Vol. 13. Art. № 828581. <https://doi.org/10.3389/fendo.2022.828581>
55. Sargeant J.A., Gray L.J., Bodicoat D.H., Willis S.A., Stensel D.J., Nimmo M.A., Aithal G.P., King J.A. The Effect of Exercise Training on Intrahepatic Triglyceride and Hepatic Insulin Sensitivity: A Systematic Review and Meta-Analysis // *Obes. Rev.* 2018. Vol. 19, № 10. P. 1446–1459. <https://doi.org/10.1111/obr.12719>
56. Leon A.S., Sanchez O.A. Response of Blood Lipids to Exercise Training Alone or Combined with Dietary Intervention // *Med. Sci. Sports Exerc.* 2001. Vol. 33, № 6. P. S502–S515. <https://doi.org/10.1097/00005768-200106001-00021>
57. Najjar S.M., Caprio S., Gastaldelli A. Insulin Clearance in Health and Disease // *Annu. Rev. Physiol.* 2023. Vol. 85. P. 363–381. <https://doi.org/10.1146/annurev-physiol-031622-043133>
58. Philip R., Mathias M., Sucheta Kumari N., Damodara Gowda K.M., Jayaprakash Shetty K. Evaluation of Relationship Between Markers of Liver Function and the Onset of Type 2 Diabetes // *J. Health Allied Sci. NU.* 2014. Vol. 4, № 2. P. 90–93. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1703770>
59. Sultani R., Tong D.C., Peverelle M., Lee Y.S., Baradi A., Wilson A.M. Elevated Triglycerides to High-Density Lipoprotein Cholesterol (TG/HDL-C) Ratio Predicts Long-Term Mortality in High-Risk Patients // *Heart Lung Circ.* 2020. Vol. 29, № 3. P. 414–421. <https://doi.org/10.1016/j.hlc.2019.03.019>
60. Reitman M.L., Gavrilova O. A-ZIP/F-1 Mice Lacking White Fat: A Model for Understanding Lipotrophic Diabetes // *Int. J. Obes.* 2000. Vol. 24, suppl. 4. P. S11–S14. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0801493>
61. Liu Q., Zhang L., Zhang W., Hao Q., Qiu W., Wen Y., Li X. Inhibition of NF- κ B Reduces Renal Inflammation and Expression of PEPCK in Type 2 Diabetic Mice // *Inflammation*. 2018. Vol. 41, № 6. P. 2018–2029. <https://doi.org/10.1007/s10753-018-0845-0>
62. Shamsoddini A., Sobhani V., Ghamar Chehreh M.E., Alavian S.M., Zaree A. Effect of Aerobic and Resistance Exercise Training on Liver Enzymes and Hepatic Fat in Iranian Men with Nonalcoholic Fatty Liver Disease // *Hepat. Mon.* 2015. Vol. 15, № 10. Art. № e31434. <https://doi.org/10.5812/hepatmon.31434>
63. Sreenivasa Baba C., Alexander G., Kalyani B., Pandey R., Rastogi S., Pandey A., Choudhuri G. Effect of Exercise and Dietary Modification on Serum Aminotransferase Levels in Patients with Nonalcoholic Steatohepatitis // *J. Gastroenterol. Hepatol.* 2006. Vol. 21, № 1, pt. 1. P. 191–198. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1746.2005.04233.x>
64. Sullivan S., Kirk E.P., Mittendorfer B., Patterson B.W., Klein S. Randomized Trial of Exercise Effect on Intrahepatic Triglyceride Content and Lipid Kinetics in Nonalcoholic Fatty Liver Disease // *Hepatology*. 2012. Vol. 55, № 6. P. 1738–1745. <https://doi.org/10.1002/hep.25548>
65. Taskinen M.R. Pathogenesis of Dyslipidemia in Type 2 Diabetes // *Exp. Clin. Endocrinol. Diabetes*. 2001. Vol. 109, suppl. 2. P. S 180–S188. <https://doi.org/10.1055/s-2001-18580>
66. Wan X.D., Yang W.B., Xia Y.Z., Wang J.F., Wang Y.J., Zhang Y.L. Disruption of Glucose Homeostasis and Induction of Insulin Resistance by Elevated Free Fatty Acids in Human L02 Hepatocytes // *J. Endocrinol. Invest.* 2009. Vol. 32, № 5. P. 454–459. <https://doi.org/10.1007/bf03346485>
67. Warner S.O., Yao M.V., Cason R.L., Winnick J.J. Exercise-Induced Improvements to Whole Body Glucose Metabolism in Type 2 Diabetes: The Essential Role of the Liver // *Front. Endocrinol. (Lausanne)*. 2020. Vol. 11. Art. № 567. <https://doi.org/10.3389/fendo.2020.00567>
68. Yki-Järvinen H. Liver Fat in the Pathogenesis of Insulin Resistance and Type 2 Diabetes // *Dig. Dis.* 2010. Vol. 28, № 1. P. 203–209. <https://doi.org/10.1159/000282087>

References

1. Tomic D., Shaw J.E., Magliano D.J. The Burden and Risks of Emerging Complications of Diabetes Mellitus. *Nat. Rev. Endocrinol.*, 2022, vol. 18, no. 9, pp. 525–539. <https://doi.org/10.1038/s41574-022-00690-7>
2. Lee C.-H., Lui D.T.W., Lam K.S.L. Non-Alcoholic Fatty Liver Disease and Type 2 Diabetes: An Update. *J. Diabetes Investig.*, 2022, vol. 13, no. 6, pp. 930–940. <https://doi.org/10.1111/jdi.13756>

3. Bergman R.N., Piccinini F., Kabir M., Kolka C.M., Ader M. Hypothesis: Role of Reduced Hepatic Insulin Clearance in the Pathogenesis of Type 2 Diabetes. *Diabetes*, 2019, vol. 68, no. 9, pp. 1709–1716. <https://doi.org/10.2337/db19-0098>
4. Ciardullo S., Perseghin G. Prevalence of Elevated Liver Stiffness in Patients with Type 1 and Type 2 Diabetes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Diabetes Res. Clin. Pract.*, 2022, vol. 190. Art. no. 109981. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2022.109981>
5. Duckworth W.C., Bennett R.G., Hamel F.G. Insulin Degradation: Progress and Potential. *Endocr. Rev.*, 1998, vol. 19, no. 5, pp. 608–624. <https://doi.org/10.1210/edrv.19.5.0349>
6. Fazio S., Linton M.F. Mouse Models of Hyperlipidemia and Atherosclerosis. *Front. Biosci.*, 2001, vol. 6, pp. D515–D525. <https://doi.org/10.2741/fazio>
7. Feng J., Zhang Q., Chen B., Chen J., Wang W., Hu Y., Yu J., Huang H. Effects of High-Intensity Intermittent Exercise on Glucose and Lipid Metabolism in Type 2 Diabetes Patients: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Front. Endocrinol. (Lausanne)*, 2024, vol. 15. Art. no. 1360998. <https://doi.org/10.3389/fendo.2024.1360998>
8. Galderisi A., Polidori D., Weiss R., Giannini C., Pierpont B., Tricò D., Caprio S. Lower Insulin Clearance Parallels a Reduced Insulin Sensitivity in Obese Youths and Is Associated with a Decline in β -Cell Function over Time. *Diabetes*, 2019, vol. 68, no. 11, pp. 2074–2084. <https://doi.org/10.2337/db19-0120>
9. Gan S.K., Kriketos A.D., Ellis B.A., Thompson C.H., Kraegen E.W., Chisholm D.J. Changes in Aerobic Capacity and Visceral Fat but Not Myocyte Lipid Levels Predict Increased Insulin Action After Exercise in Overweight and Obese Men. *Diabetes Care*, 2003, vol. 26, no. 6, pp. 1706–1713. <https://doi.org/10.2337/diacare.26.6.1706>
10. Gu L., Ding X., Wang Y., Gu M., Zhang J., Yan S., Li N., Song Z., Yin J., Lu L., Peng Y. Spexin Alleviates Insulin Resistance and Inhibits Hepatic Gluconeogenesis via the FoxO1/PGC-1 α Pathway in High-Fat-Diet-Induced Rats and Insulin Resistant Cells. *Int. J. Biol. Sci.*, 2019, vol. 15, no. 13, pp. 2815–2829. <https://doi.org/10.7150/ijbs.31781>
11. Hoene M., Lehmann R., Hennige A.M., Pohl A.K., Häring H.U., Schleicher E.D., Weigert C. Acute Regulation of Metabolic Genes and Insulin Receptor Substrates in the Liver of Mice by One Single Bout of Treadmill Exercise. *J. Physiol.*, 2009, vol. 587, no. 1, pp. 241–252. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2008.160275>
12. Kanaley J.A., Colberg S.R., Corcoran M.H., Malin S.K., Rodriguez N.R., Crespo C.J., Kirwan J.P., Zierath J.R. Exercise/Physical Activity in Individuals with Type 2 Diabetes: A Consensus Statement from the American College of Sports Medicine. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 2022, vol. 54, no. 2, pp. 353–368. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002800>
13. Kazeminasab F., Baharlooei M., Rezazadeh H., Soltani N., Rosenkranz S.K. The Effects of Aerobic Exercise on Liver Function, Insulin Resistance, and Lipid Profiles in Prediabetic and Type 2 Diabetic Mice. *Physiol. Behav.*, 2023, vol. 271. Art. no. 114340. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2023.114340>
14. Liu J.L. The Role of the Funnel Plot in Detecting Publication and Related Biases in Meta-Analysis. *Evid. Based Dent.*, 2011, vol. 12, no. 4, pp. 121–122. <https://doi.org/10.1038/sj.ebd.6400831>
15. Marinho R., Ropelle E.R., Cintra D.E., De Souza C.T., Da Silva A.S., Bertoli F.C., Colantonio E., D’Almeida V., Pauli J.R. Endurance Exercise Training Increases APPL1 Expression and Improves Insulin Signaling in the Hepatic Tissue of Diet-Induced Obese Mice, Independently of Weight Loss. *J. Cell. Physiol.*, 2012, vol. 227, no. 7, pp. 2917–2926. <https://doi.org/10.1002/jcp.23037>
16. Brust K.B., Corbell K.A., Al-Nakkash L., Babu J.R., Broderick T.L. Expression of Gluconeogenic Enzymes and 11 β -Hydroxysteroid Dehydrogenase Type 1 in Liver of Diabetic Mice After Acute Exercise. *Diabetes Metab. Syndr. Obes.*, 2014, vol. 7, pp. 495–504. <https://doi.org/10.2147/dms.o.s70767>
17. Heled Y., Shapiro Y., Shani Y., Moran D.S., Langzam L., Barash V., Sampson S.R., Meyerovitch J. Physical Exercise Enhances Hepatic Insulin Signaling and Inhibits Phosphoenolpyruvate Carboxykinase Activity in Diabetes-Prone *Psammomys obesus*. *Metabolism*, 2004, vol. 53, no. 7, pp. 836–841. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2004.02.001>
18. Gomes R.J., de Oliveira C.A.M., Ribeiro C., de Alencar Mota C.S., Moura L.P., Cesar Tognoli L.M.M., de Almeida Leme J.A.C., Luciano E., de Mello M.A.R. Effects of Exercise Training on Hippocampus Concentrations of Insulin and IGF-1 in Diabetic Rats. *Hippocampus*, 2009, vol. 19, no. 10, pp. 981–987. <https://doi.org/10.1002/hipo.20636>
19. Stevanović-Silva J., Beleza J., Coxito P., Oliveira P.J., Ascensão A., Magalhães J. Gestational Exercise Antagonises the Impact of Maternal High-Fat High-Sucrose Diet on Liver Mitochondrial Alterations and Quality Control Signalling in Male Offspring. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2023, vol. 20, no. 2. Art. no. 1388. <https://doi.org/10.3390/ijerph20021388>
20. Lin X., Qu J., Yin L., Wang R., Wang X. Aerobic Exercise-Induced Decrease of Chemerin Improved Glucose and Lipid Metabolism and Fatty Liver of Diabetes Mice Through Key Metabolism Enzymes and Proteins. *Biochim. Biophys. Acta Mol. Cell Biol. Lipids*, 2023, vol. 1868, no. 12. Art. no. 159409. <https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2023.159409>

21. Zhang Y., Ye T., Zhou P., Li R., Liu Z., Xie J., Hua T., Sun Q. Exercise Ameliorates Insulin Resistance and Improves ASK1-Mediated Insulin Signalling in Obese Rats. *J. Cell. Mol. Med.*, 2021, vol. 25, no. 23, pp. 10930–10938. <https://doi.org/10.1111/jcmm.16994>
22. Moura L.P., Puga G.M., Beck W.R., Teixeira I.P., Ghezzi A.C., Silva G.A., Mello M.A.R. Exercise and *Spirulina* Control Non-Alcoholic Hepatic Steatosis and Lipid Profile in Diabetic Wistar Rats. *Lipids Health Dis.*, 2011, vol. 10. Art. no. 77. <https://doi.org/10.1186/1476-511X-10-77>
23. Lima T.I., Monteiro I.C., Valença S., Leal-Cardoso J.H., Fortunato R.S., Carvalho D.P., Teodoro B.G., Ceccatto V.M. Effect of Exercise Training on Liver Antioxidant Enzymes in STZ-Diabetic Rats. *Life Sci.*, 2015, vol. 128, pp. 64–71. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2015.01.031>
24. Kuga G.K., Gaspar R.C., Muñoz V.R., Nakandakari S.C.B.R., Breda L., Sandoval B.M., Caetano F.H., Leme J.A.C.A., Pauli J.R., Gomes R.J. Physical Training Reverses Changes in Hepatic Mitochondrial Diameter of Alloxan-Induced Diabetic Rats. *Einstein (São Paulo)*, 2018, vol. 16, no. 3. Art. no. eAO4353. <https://doi.org/10.1590/S1679-45082018AO4353>
25. de Bem G.F., da Costa C.A., da Silva Cristino Cordeiro V., Santos I.B., de Carvalho L.C.R.M., de Andrade Soares R., Ribeiro J.H., de Souza M.A.V., da Cunha Sousa P.J., Ognibene D.T., Resende A.C., de Moura R.S. *Euterpe oleracea* Mart. (açai) Seed Extract Associated with Exercise Training Reduces Hepatic Steatosis in Type 2 Diabetic Male Rats. *J. Nutr. Biochem.*, 2018, vol. 52, pp. 70–81. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2017.09.021>
26. Katar M., Gevrek F. Relation of the Intense Physical Exercise and Asprosin Concentrations in Type 2 Diabetic Rats. *Tissue Cell*, 2024, vol. 90. Art. no. 102501. <https://doi.org/10.1016/j.tice.2024.102501>
27. Lin X.-J., Yang H.-F., Wang X.-H. Effects of Aerobic Exercise and Dieting on Chemerin and Its Receptor CMKLR1 in the Livers of Type 2 Diabetic Rats. *Zhongguo Ying Yong Sheng Li Xue Za Zhi*, 2017, vol. 33, no. 5, pp. 426–430. <https://doi.org/10.12047/j.cjap.5495.2017.103>
28. Yi X., Cao S., Chang B., Zhao D., Gao H., Wan Y., Shi J., Wei W., Guan Y. Effects of Acute Exercise and Chronic Exercise on the Liver Leptin-AMPK-ACC Signaling Pathway in Rats with Type 2 Diabetes. *J. Diabetes Res.*, 2013, vol. 2013. Art. no. 946432. <https://doi.org/10.1155/2013/946432>
29. Gomes R.J., de Almeida Leme J.A.C., de Moura L.P., de Araújo M.B., Rogatto G.P., de Moura R.F., Luciano E., de Mello M.A.R. Growth Factors and Glucose Homeostasis in Diabetic Rats: Effects of Exercise Training. *Cell Biochem. Funct.*, 2009, vol. 27, no. 4, pp. 199–204. <https://doi.org/10.1002/cbf.1556>
30. Baldissera G., Sperotto N.D.M., Rosa H.T., Henn J.G., Peres V.F., Moura D.J., Roehrs R., Denardin E.L.G., Dal Lago P., Nunes R.B., Saffi J. Effects of Crude Hydroalcoholic Extract of *Syzygium cumini* (L.) Skeels Leaves and Continuous Aerobic Training in Rats with Diabetes Induced by a High-Fat Diet and Low Doses of Streptozotocin. *J. Ethnopharmacol.*, 2016, vol. 194, pp. 1012–1021. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2016.10.056>
31. de Almeida Leme J.A.C., Gomes R.J., de Mello M.A.R., Caetano F.H., Luciano E. Effects of Short-Term Physical Training on the Liver IGF-I in Diabetic Rats. *Growth Factors*, 2007, vol. 25, no. 1, pp. 9–14. <https://doi.org/10.1080/08977190701210693>
32. Leme J.A.C.A., Silveira R.F., Gomes R.J., Moura R.F., Sibuya C.A., Mello M.A., Luciano E. Long-Term Physical Training Increases Liver IGF-I in Diabetic Rats. *Growth Horm. IGF Res.*, 2009, vol. 19, no. 3, pp. 262–266. <https://doi.org/10.1016/j.ghir.2008.12.004>
33. Ropelle E.R., Pauli J.R., Cintra D.E., Frederico M.J.S., de Pinho R.A., Velloso L.A., De Souza C.T. Acute Exercise Modulates the Foxo1/PGC-1 α Pathway in the Liver of Diet-Induced Obesity Rats. *J. Physiol.*, 2009, vol. 587, no. 9, pp. 2069–2076. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2008.164202>
34. Kolieb E., Maher S.A., Shalaby M.N., Alsuhaibani A.M., Alharthi A., Hassan W.A., El-Sayed K. Vitamin D and Swimming Exercise Prevent Obesity in Rats Under a High-Fat Diet via Targeting FATP4 and TLR4 in the Liver and Adipose Tissue. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2022, vol. 19, no. 21. Art. no. 13740. <https://doi.org/10.3390/ijerph192113740>
35. Huang L., Yue P., Wu X., Yu T., Wang Y., Zhou J., Kong D., Chen K. Combined Intervention of Swimming Plus Metformin Ameliorates the Insulin Resistance and Impaired Lipid Metabolism in Murine Gestational Diabetes Mellitus. *PLoS One*, 2018, vol. 13, no. 4. Art. no. e0195609. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195609>
36. Sakr H.F., Abbas A.M., Haidara M.A. Swimming, but Not Vitamin E, Ameliorates Prothrombotic State and Hypofibrinolysis in a Rat Model of Nonalcoholic Fatty Liver Disease. *J. Basic Clin. Physiol. Pharmacol.*, 2018, vol. 29, no. 1, pp. 61–71. <https://doi.org/10.1515/jbcpp-2017-0069>

37. Lima A.F., Ropelle E.R., Pauli J.R., Cintra D.E., Frederico M.J.S., Pinho R.A., Velloso L.A., De Souza C.T. Acute Exercise Reduces Insulin Resistance-Induced TRB3 Expression and Amelioration of the Hepatic Production of Glucose in the Liver of Diabetic Mice. *J. Cell. Physiol.*, 2009, vol. 221, no. 1, pp. 92–97. <https://doi.org/10.1002/jcp.21833>
38. Bicer M., Gunay M., Akil M., Avunduk M.C., Mogulkoc R., Baltaci A.K. Effect of Long-Term Intraperitoneal Zinc Administration on Liver Glycogen Levels in Diabetic Rats Subjected to Acute Forced Swimming. *Biol. Trace Elem. Res.*, 2011, vol. 139, no. 3, pp. 317–324. <https://doi.org/10.1007/s12011-010-8658-5>
39. Pereira R.M., da Cruz Rodrigues K.C., Anaruma C.P., Sant'Ana M.R., Pereira de Campos T.D., Gaspar R.S., Canciglieri R.S., de Melo D.G., Mekary R.A., Ramos da Silva A.S., Cintra D.E., Ropelle E.R., Pauli J.R., de Moura L.P. Short-Term Strength Training Reduces Gluconeogenesis and NAFLD in Obese Mice. *J. Endocrinol.*, 2019, vol. 241, no. 1, pp. 59–70. <https://doi.org/10.1530/JOE-18-0567>
40. Vivero A., Ruz M., Rivera M., Miranda K., Sacristán C., Espinosa A., Codoceo J., Inostroza J., Vásquez K., Pérez Á., García-Díaz D., Arredondo M. Zinc Supplementation and Strength Exercise in Rats with Type 2 Diabetes: Akt and PTP1B Phosphorylation in Nonalcoholic Fatty Liver. *Biol. Trace Elem. Res.*, 2021, vol. 199, no. 6, pp. 2215–2224. <https://doi.org/10.1007/s12011-020-02324-3>
41. Pereira R.M., da Cruz Rodrigues K.C., Sant'Ana M.R., da Rocha A.L., Morelli A.P., Veras A.S.C., Gaspar R.S., da Costa Fernandes C.J., Teixeira G.R., Simabuco F.M., da Silva A.S.R., Cintra D.E., Ropelle E.R., Pauli J.R., de Moura L.P. FOXO1 Is Downregulated in Obese Mice Subjected to Short-Term Strength Training. *J. Cell. Physiol.*, 2022, vol. 237, no. 11, pp. 4262–4274. <https://doi.org/10.1002/jcp.30882>
42. Júnior A.S.S., Aidar F.J., Dos Santos J.L., Dos Santos Estevam C., Dos Santos J.D.M., de Oliveira e Silva A.M., Lima F.B., De Araújo S.S., Marçal A.C. Effects of Resistance Training and Turmeric Supplementation on Reactive Species Marker Stress in Diabetic Rats. *BMC Sports Sci. Med. Rehabil.*, 2020, vol. 12. Art. no. 45. <https://doi.org/10.1186/s13102-020-00194-9>
43. Zarrinkalam E., Ranjbar K., Salehi I., Vakili M., Kheiripour N., Komaki A. Resistance Training and Hawthorn Extract Ameliorate Cognitive Deficits in Streptozotocin-Induced Diabetic Rats. *Biomed. Pharmacother.*, 2018, vol. 97, pp. 503–510. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2017.10.138>
44. Dehghan F., Hajiaghaalipour F., Yusof A., Muniandy S., Hosseini S.A., Heydari S., Salim L.Z.A., Azarbayjani M.A. Saffron with Resistance Exercise Improves Diabetic Parameters Through the GLUT4/AMPK Pathway *in-vitro* and *in-vivo*. *Sci. Rep.*, 2016, vol. 6. Art. no. 25139. <https://doi.org/10.1038/srep25139>
45. Király M.A., Campbell J., Park E., Bates H.E., Yue J.T.Y., Rao V., Matthews S.G., Bikopoulos G., Rozakis-Adcock M., Giacca A., Vranic M., Riddell M.C. Exercise Maintains Euglycemia in Association with Decreased Activation of c-Jun NH2-Terminal Kinase and Serine Phosphorylation of IRS-1 in the Liver of ZDF Rats. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.*, 2010, vol. 298, no. 3, pp. E671–E682. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.90575.2008>
46. Mansoori Z., Jahromi M.K., Daryanoosh F., Forouhari S. High Intensity Interval Training Is More Effective Than Moderate Intensity Continuous Training in Ameliorating the Influence of Acute Noise Stress on Coagulation Factors. *Sport Sci. Health*, 2023, vol. 19, no. 2, pp. 537–544. <https://doi.org/10.1007/s11332-022-01041-9>
47. Kalaki-Jouybari F., Shanaki M., Delfan M., Gorgani-Firuzjae S., Khakdan S. High-Intensity Interval Training (HIIT) Alleviated NAFLD Feature via *miR-122* Induction in Liver of High-Fat High-Fructose Diet Induced Diabetic Rats. *Arch. Physiol. Biochem.*, 2020, vol. 126, no. 3, pp. 242–249. <https://doi.org/10.1080/13813455.2018.1510968>
48. Mohammad P., Esfandiar K.Z., Abbas S., Ahoora R. Effects of Moderate-Intensity Continuous Training and High-Intensity Interval Training on Serum Levels of Resistin, Chemerin and Liver Enzymes in Streptozotocin-Nicotinamide Induced Type-2 Diabetic Rats. *J. Diabetes Metab. Disord.*, 2019, vol. 18, no. 2, pp. 379–387. <https://doi.org/10.1007/s40200-019-00422-1>
49. Amri J., Parastesh M., Sadegh M., Latifi S.A., Alaei M. High-Intensity Interval Training Improved Fasting Blood Glucose and Lipid Profiles in Type 2 Diabetic Rats More Than Endurance Training; Possible Involvement of Irisin and Betatrophin. *Physiol. Int.*, 2019, vol. 106, no. 3, pp. 213–224. <https://doi.org/10.1556/2060.106.2019.24>
50. Sini Z.K., Afzalpour M.E., Ahmadi M.M., Sardar M.A., Khaleghzadeh H., Gorgani-Firuzjae S., Hofmeister M., Akaras E., Azimkhani A. Comparison of the Effects of High-Intensity Interval Training and Moderate-Intensity Continuous Training on Indices of Liver and Muscle Tissue in High-Fat Diet-Induced Male Rats with Non-Alcoholic Fatty Liver Disease. *Egypt. Liver J.*, 2022, vol. 12. Art. no. 63. <https://doi.org/10.1186/s43066-022-00229-5>
51. Marcinko K., Sikkema S.R., Samaan M.C., Kemp B.E., Fullerton M.D., Steinberg G.R. High Intensity Interval Training Improves Liver and Adipose Tissue Insulin Sensitivity. *Mol. Metab.*, 2015, vol. 4, no. 12, pp. 903–915. <https://doi.org/10.1016/j.molmet.2015.09.006>

52. Li W., Wang Y., He F., Liu Z., Dong J., Zhang Y., Li T., Liu S., Chen E. Association Between Triglyceride–Glucose Index and Nonalcoholic Fatty Liver Disease in Type 2 Diabetes Mellitus. *BMC Endocr. Disord.*, 2022, vol. 22, no. 1. Art. no. 261. <https://doi.org/10.1186/s12902-022-01172-7>
53. Gong R., Luo G., Wang M., Ma L., Sun S., Wei X. Associations Between TG/HDL Ratio and Insulin Resistance in the US Population: A Cross-Sectional Study. *Endocr. Connect.*, 2021, vol. 10, no. 11, pp. 1502–1512. <https://doi.org/10.1530/EC-21-0414>
54. Liu H., Liu J., Liu J., Xin S., Lyu Z., Fu X. Triglyceride to High-Density Lipoprotein Cholesterol (TG/HDL-C) Ratio, a Simple but Effective Indicator in Predicting Type 2 Diabetes Mellitus in Older Adults. *Front. Endocrinol. (Lausanne)*, 2022, vol. 13. Art. no. 828581. <https://doi.org/10.3389/fendo.2022.828581>
55. Sargeant J.A., Gray L.J., Bodicoat D.H., Willis S.A., Stensel D.J., Nimmo M.A., Aithal G.P., King J.A. The Effect of Exercise Training on Intrahepatic Triglyceride and Hepatic Insulin Sensitivity: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Obes. Rev.*, 2018, vol. 19, no. 10, pp. 1446–1459. <https://doi.org/10.1111/obr.12719>
56. Leon A.S., Sanchez O.A. Response of Blood Lipids to Exercise Training Alone or Combined with Dietary Intervention. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 2001, vol. 33, no. 6, pp. S502–S515. <https://doi.org/10.1097/00005768-200106001-00021>
57. Najjar S.M., Caprio S., Gastaldelli A. Insulin Clearance in Health and Disease. *Annu. Rev. Physiol.*, 2023, vol. 85, pp. 363–381. <https://doi.org/10.1146/annurev-physiol-031622-043133>
58. Philip R., Mathias M., Sucheta Kumari N., Damodara Gowda K.M., Jayaprakash Shetty K. Evaluation of Relationship Between Markers of Liver Function and the Onset of Type 2 Diabetes. *J. Health Allied Sci. NU*, 2014, vol. 4, no. 2, pp. 90–93. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1703770>
59. Sultani R., Tong D.C., Peverelle M., Lee Y.S., Baradi A., Wilson A.M. Elevated Triglycerides to High-Density Lipoprotein Cholesterol (TG/HDL-C) Ratio Predicts Long-Term Mortality in High-Risk Patients. *Heart Lung Circ.*, 2020, vol. 29, no. 3, pp. 414–421. <https://doi.org/10.1016/j.hlc.2019.03.019>
60. Reitman M.L., Gavrilova O. A-ZIP/F-1 Mice Lacking White Fat: A Model for Understanding Lipotrophic Diabetes. *Int. J. Obes.*, 2000, vol. 24, suppl. 4, pp. S11–S14. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0801493>
61. Liu Q., Zhang L., Zhang W., Hao Q., Qiu W., Wen Y., Li X. Inhibition of NF- κ B Reduces Renal Inflammation and Expression of PEPCK in Type 2 Diabetic Mice. *Inflammation*, 2018, vol. 41, no. 6, pp. 2018–2029. <https://doi.org/10.1007/s10753-018-0845-0>
62. Shamsoddini A., Sobhani V., Ghamar Chehreh M.E., Alavian S.M., Zaree A. Effect of Aerobic and Resistance Exercise Training on Liver Enzymes and Hepatic Fat in Iranian Men with Nonalcoholic Fatty Liver Disease. *Hepat. Mon.*, 2015, vol. 15, no. 10. Art. no. e31434. <https://doi.org/10.5812/hepatmon.31434>
63. Sreenivasa Baba C., Alexander G., Kalyani B., Pandey R., Rastogi S., Pandey A., Choudhuri G. Effect of Exercise and Dietary Modification on Serum Aminotransferase Levels in Patients with Nonalcoholic Steatohepatitis. *J. Gastroenterol. Hepatol.*, 2006, vol. 21, no. 1, pt. 1, pp. 191–198. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1746.2005.04233.x>
64. Sullivan S., Kirk E.P., Mittendorfer B., Patterson B.W., Klein S. Randomized Trial of Exercise Effect on Intrahepatic Triglyceride Content and Lipid Kinetics in Nonalcoholic Fatty Liver Disease. *Hepatology*, 2012, vol. 55, no. 6, pp. 1738–1745. <https://doi.org/10.1002/hep.25548>
65. Taskinen M.R. Pathogenesis of Dyslipidemia in Type 2 Diabetes. *Exp. Clin. Endocrinol. Diabetes*, 2001, vol. 109, suppl. 2, pp. S180–S188. <https://doi.org/10.1055/s-2001-18580>
66. Wan X.-D., Yang W.-B., Xia Y.-Z., Wang J.-F., Wang Y.-J., Zhang Y.-L. Disruption of Glucose Homeostasis and Induction of Insulin Resistance by Elevated Free Fatty Acids in Human L02 Hepatocytes. *J. Endocrinol. Invest.*, 2009, vol. 32, no. 5, pp. 454–459. <https://doi.org/10.1007/bf03346485>
67. Warner S.O., Yao M.V., Cason R.L., Winnick J.J. Exercise-Induced Improvements to Whole Body Glucose Metabolism in Type 2 Diabetes: The Essential Role of the Liver. *Front. Endocrinol. (Lausanne)*, 2020, vol. 11. Art. no. 567. <https://doi.org/10.3389/fendo.2020.00567>
68. Yki-Järvinen H. Liver Fat in the Pathogenesis of Insulin Resistance and Type 2 Diabetes. *Dig. Dis.*, 2010, vol. 28, no. 1, pp. 203–209. <https://doi.org/10.1159/000282087>

Поступила в редакцию 27.06.2025 / Одобрена после рецензирования 28.10.2025 / Принята к публикации 31.10.2025
Submitted 27 June 2025 / Approved after reviewing 28 October 2025 / Accepted for publication 31 October 2025