

ПРЕИМУЩЕСТВА ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗОК РАЗЛИЧНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ДЛЯ ПАЦИЕНТОВ С САХАРНЫМ ДИАБЕТОМ 1 ТИПА И ИХ ВЛИЯНИЕ НА УГЛЕВОДНЫЙ ОБМЕН



© Т.Ю. Демидова, В.В. Титова*

Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова, Москва, Россия

Пациенты с сахарным диабетом 1 типа (СД1) получают от регулярных физических упражнений множество преимуществ, включая улучшение качества жизни, снижение артериального давления, улучшение липидного спектра, повышение чувствительности к инсулину, снижение потребности в инсулине, улучшение эндотелиальной функции, снижение риска развития микро- и макрососудистых осложнений, а также общей смертности. Несмотря на эти преимущества, пациенты с СД1 часто не занимаются достаточной физической активностью (ФА), и они менее физически активны, чем их здоровые сверстники. Основной причиной низкой ФА пациентов с СД1 являются сложность управления гликемией и страх развития гипогликемии на фоне нагрузки. Различные виды тренировок, такие как упражнения умеренной и высокой интенсивности, интервальные тренировки, оказывают различное влияние на гликемию во время нагрузки, что может быть использовано для профилактики развития гипогликемических реакций во время и после упражнений наряду с приемом углеводов и коррекцией доз инсулина. Упражнения более высокой интенсивности, а также их большая частота и продолжительность связаны с более выраженным снижением риска общей и сердечно-сосудистой смертности. Регулярные физические нагрузки оказывают положительное влияние на снижение риска развития микро- и макрососудистых осложнений, общую и сердечно-сосудистую смертность у пациентов с СД1 независимо от качества гликемического контроля, что может активно использоваться для соответствующей профилактики.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сахарный диабет 1 типа; физическая нагрузка; инсулинотерапия; аэробные физические нагрузки; анаэробные физические нагрузки; интервальные физические нагрузки; гипогликемия.

ADVANTAGES OF PHYSICAL ACTIVITY OF VARYING INTENSITY FOR PATIENTS WITH TYPE 1 DIABETES AND ITS INFLUENCE ON GLUCOSE METABOLISM

© Tatyana Yu. Demidova, Victoria V. Titova*

Pirogov Russian National Research Medical University (RNRMU), Moscow, Russia

Patients with type 1 diabetes mellitus (T1DM) have many benefits from regular exercise, including improved quality of life, lower blood pressure, improved lipid profile, increased insulin sensitivity, decreased insulin dose requirements, improved endothelial function, and reduced risk of micro- and macrovascular complications, as well as overall mortality. Despite these benefits, T1DM patients often do not get enough physical activity (PA) and are less physically active than their non-diabetic peers. The main reason for the low PA in patients with T1DM is the difficulty of glycemic management and the fear of developing hypoglycemia during exercise. Different types of training, such as moderate to high intensity exercise, high intensity interval training, have different effects on glycemic activity during exercise, which can be used to prevent the development of hypoglycemic reactions during and after exercise, along with carbohydrate intake and insulin dose adjustment. Higher-intensity exercise, as well as greater frequency and duration, are associated with a greater reduction in the risk of overall and cardiovascular mortality. Regular physical activity has a positive effect on reducing the risk of micro- and macrovascular complications, general and cardiovascular mortality in patients with type 1 diabetes, regardless of the quality of glycemic control, which can be used for prevention of T1DM complications.

KEYWORDS: type 1 diabetes mellitus; exercise; insulin therapy; aerobic exercise; anaerobic exercise; interval exercise; hypoglycemia.

ВВЕДЕНИЕ

Согласно клиническим рекомендациям по физической активности (ФА) и сахарному диабету (СД) [1–4], взрослым пациентам с СД рекомендовано заниматься аэробными физическими нагрузками умеренной или высокой интенсивности в течение не менее 150 мин в неделю в течение как минимум 3 дней (с перерывом не более

2 дней подряд). Под интенсивностью нагрузки понимают величину усилий, необходимых для осуществления какого-либо вида ФА (табл. 1) [5, 6]. Более короткая продолжительность (минимум 75 мин в неделю) интенсивных или интервальных тренировок может быть достаточной для более молодых и более физически подготовленных пациентов. Также рекомендованы силовые упражнения 2–3 раза в неделю в непоследовательные дни.

*Автор, ответственный за переписку / Corresponding author.



Таблица 1. Интенсивность физической нагрузки. Адаптировано из [5, 6]

| Интенсивность | % ЧСС _{max} | % VO ₂ max | MET |
|---------------|----------------------|-----------------------|-----|
| Легкая | 50–70 | 25 | 2–4 |
| Умеренная | 70–80 | 50 | 5–6 |
| Высокая | 80–90 | 70 | 7–9 |
| Максимальная | >90 | 80 | >10 |

Примечание. ЧСС_{max} — максимальная частота сердечных сокращений; VO₂max — максимальное потребление кислорода; MET — метаболический эквивалент.

На фоне регулярных физических нагрузок у пациентов с СД 1 типа (СД1) снижается риск развития микрососудистых (нефропатия, нейропатия и ретинопатия) и макрососудистых (ишемическая болезнь сердца, атеросклеротическое поражение периферических артерий и артерий головного мозга) осложнений, которые являются причинами инвалидизации и смертности при данной патологии [7, 8].

Однако большинство пациентов с СД1 не занимаются достаточной регулярной ФА, в основном из-за страха развития гипогликемии и ухудшения гликемического контроля, а также по социальным причинам, таким как отсутствие времени, инфраструктуры, усталость, высокая стоимость тренировок. В результате около 60% пациентов с СД1 имеют избыточный вес или страдают ожирением, около 40% страдают гипертонией, около 60% имеют дислипидемию [7].

Прием углеводов перед тренировкой и во время нее и коррекция дозы инсулина являются эффективными способами предотвращения гипогликемии, однако не всегда являются достаточными, или, наоборот, слишком объемный перекус или выраженное уменьшение дозы инсулина приводят к гипергликемии. Изменения гликемии во время и после упражнений также зависят от их интенсивности и продолжительности, что может быть использовано для лучшего контроля гликемии.

МЕТОДЫ

Путем анализа баз данных MEDLINE по данным на сентябрь 2020 г. был проведен поиск по ключевым словам «type 1 diabetes & exercise» и «type 1 diabetes & physical activity», а также поиск в библиотеке e-library по ключевым словам «сахарный диабет 1 типа и физические нагрузки», «сахарный диабет 1 типа и физические упражнения». Мы в основном отбирали статьи, опубликованные за последние 5 лет, но не исключали более старые статьи.

ПРЕИМУЩЕСТВА ФИЗИЧЕСКИХ УПРАЖНЕНИЙ ДЛЯ ПАЦИЕНТОВ С САХАРНЫМ ДИАБЕТОМ 1 ТИПА

Различные исследования показывают положительное влияние физических упражнений на целый ряд рисков для здоровья в любом возрасте среди населения в целом. Существуют доказательства того, что регулярная ФА улучшает самочувствие и снижает риск возникновения избыточного веса и ожирения, а также неинфекционных заболеваний, таких как СД 2 типа, сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) или некоторые типы рака (например, рак молочной железы или толстой кишки) в общей популяции [9–12]. Кроме того, ФА ассоциируется со зна-

чительным снижением сердечно-сосудистой и общей смертности [13].

Для пациентов с СД1 физические нагрузки доказанно увеличивают продолжительность жизни и снижают риск развития и прогрессирования поздних осложнений СД, таких как диабетическая нефропатия, ретинопатия, нейропатия и сердечно-сосудистые заболевания [7, 14]. Физически активные пациенты имеют меньший индекс массы тела (ИМТ) и меньшую распространенность избыточной массы тела и ожирения. Физические упражнения улучшают уровень липидов, чувствительность к инсулину и функцию эндотелия, независимо от таких параметров, как гликированный гемоглобин (HbA_{1c}), систолическое артериальное давление (АД), уровень триглицеридов, ИМТ, курение [15]. Регулярные упражнения уменьшают показатели риска развития сердечно-сосудистых заболеваний и снижают HbA_{1c} примерно на 0,3% у детей с СД1. Состав тела, мышечная масса и сила, плотность костей, кардиореспираторная физическая подготовка, психологическое благополучие, функция эндотелия и профиль липидов крови (например, триглицериды и общий холестерин) улучшаются при регулярной ФА средней и высокой интенсивности у детей и молодых людей с СД1 [5, 16]. Аэробные тренировки улучшают физическую форму, показатели легочной вентиляции, снижают АД, улучшают психологическое состояние у взрослых пациентов [15, 17]. Силовые нагрузки благотворно влияют на мышечную массу, состав тела, плотность костей и определенные сердечно-сосудистые параметры, включая артериальное давление и липидный профиль. Эффекты силовых нагрузок на гликемический контроль при СД1 все еще спорные, но многообещающие. Силовые тренировки эффективны для минимизации риска развития гипогликемии во время и после них при СД1 [18] и способствуют более длительному пребыванию пациента в целевых значениях гликемии. В исследовании FinnDiane было показано, что более высокий общий уровень ФА и более высокая интенсивность, частота и продолжительность упражнений были связаны с более низким риском сердечно-сосудистых событий [17]. Также есть данные о более низкой частоте развития диабетического кетоацидоза и риска развития тяжелой гипогликемии (кроме пациентов старшей возрастной группы) [7].

Имеющиеся литературные данные говорят об отсутствии положительного влияния физической нагрузки на гликемический контроль у пациентов с СД1 или о незначительном снижении HbA_{1c} у физически активных пациентов, что, вероятно, связано с колебаниями уровня глюкозы во время упражнений. Физические упражнения

низкой и средней интенсивности обычно приводят к снижению уровня глюкозы в крови, а физические упражнения высокой интенсивности могут сопровождаться его повышением [5, 7, 19].

МЕТАБОЛИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ НА ФОНЕ ФИЗИЧЕСКИХ УПРАЖНЕНИЙ

При здоровом метаболизме гомеостаз глюкозы во время упражнений обеспечивается за счет ряда нейроэндокринных реакций, включающих изменение секреции гормона роста, кортизола, инсулина, глюкагона и адреналина, что позволяет регулировать баланс между выработкой глюкозы и ее использованием при нагрузке. При СД1 уровень глюкозы в крови изменяется в зависимости от интенсивности и продолжительности тренировки и, кроме того, зависит от изначального уровня глюкозы в крови перед тренировкой, концентрации активного инсулина в крови, места введения инсулина, количества и состава пищи, потребляемой перед тренировкой.

Также необходимо учитывать потребление мышцами различных энергетических субстратов в зависимости от интенсивности и продолжительности физической нагрузки, а также тренированности, пола и особенностей диеты, при этом у пациентов с СД1 использование углеводных субстратов в качестве источника энергии может отличаться от такового у здоровых людей.

Во время упражнений легкой или умеренной интенсивности (ходьба, езда на велосипеде, бег, плавание) для получения энергии используется аэробный метаболизм, при котором синтез аденозинтрифосфата происходит при участии кислорода путем окислительного фосфорилирования углеводов и липидов. При этом липиды являются основным источником энергии у здоровых людей при упражнениях низкой и умеренной интенсивности, с увеличением интенсивности упражнений возрастает использование мышечного гликогена и глюкозы крови. Увеличение поглощения глюкозы скелетными мышцами сопровождается повышенной секрецией глюкозы печенью, первоначально — за счет гликогенолиза, а во время более длительных упражнений за счет увеличения скорости глюконеогенеза. Во время длительных силовых упражнений (75% VO_2max) наблюдается снижение скорости мышечного гликогенолиза и липолиза, увеличе-

ние поглощения глюкозы крови мышцами и увеличение окисления жирных кислот из плазмы [20].

Для поддержания эугликемии во время аэробных упражнений в норме секреция инсулина снижается, а секреция глюкагона, катехоламинов, кортизола, гормона роста и других контринсулярных гормонов увеличивается, что способствует высвобождению глюкозы из печени соответственно скорости поглощения глюкозы работающими мышцами [21]. У пациентов с СД1 во время аэробных нагрузок концентрация инсулина не снижается в начале нагрузки, напротив, из-за увеличения кровоснабжения подкожной жировой клетчатки во время упражнений всасывание инсулина из места введения ускоряется [22, 23]. Повышенная концентрация инсулина в кровообращении во время упражнений способствует увеличению утилизации глюкозы мышцами и может блокировать секрецию глюкозы печенью, которая в норме стимулируется контринсулярными гормонами, что многократно увеличивает риск развития гипогликемии (рис. 1). Кроме того, у пациентов с СД1, в отличие от здоровых людей, наблюдается преимущественное использование углеводов, а не липидов, в качестве источника энергии, что приводит к быстрому истощению мышечного гликогена и поглощению глюкозы из крови, что также ускорит снижение уровня гликемии. Это может быть обусловлено снижением окисления липидов в митохондриях и уменьшением плотности митохондрий, превалированием в составе мышц быстро сокращающихся волокон, которые используют преимущественно углеводы. Гипергликемия при нагрузке и повышенный уровень лактата, который наблюдается у пациентов с СД1 даже в покое, а также повышенная концентрация инсулина в крови препятствуют мобилизации жиров за счет угнетения липолиза и усиления этерификации свободных жирных кислот в жировой ткани, что снижает доступность липидов в качестве источника энергии [24].

Перед аэробными упражнениями пациентам с СД1 рекомендуются дополнительный прием 15–20 г сложных углеводов при уровне глюкозы <7 ммоль/л и/или снижение дозы прандиального инсулина на 25–75% перед приемом пищи за 1–2 ч до нагрузки, а также заблаговременное снижение скорости базального инсулина на 50–80% за 1–1,5 ч до нагрузки и во время нее при помповой инсулинотерапии, прием легкоусвояемых углеводов может потребоваться во время нагрузки,

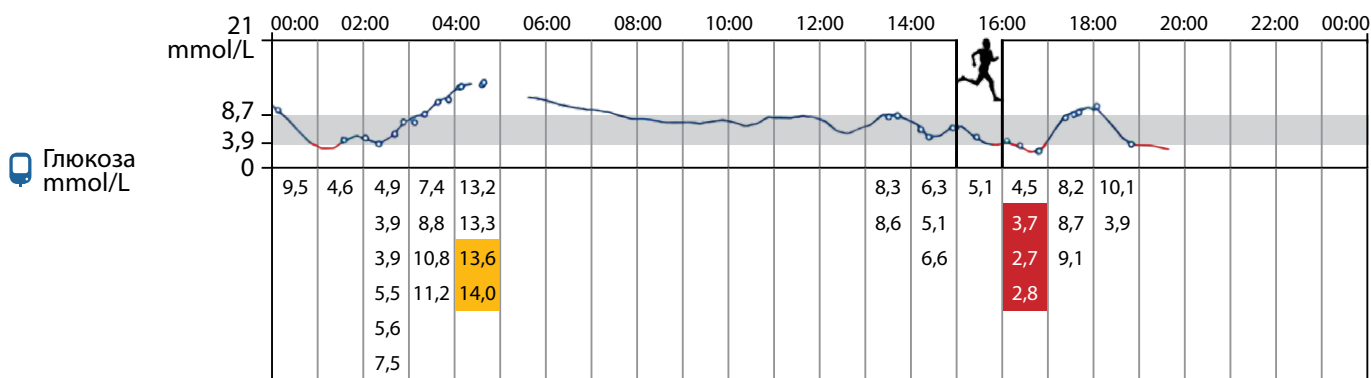


Рисунок 1. Данные флэш-мониторирования гликемии пациента Д. с сахарным диабетом 1 типа на фоне аэробной физической нагрузки (бег умеренной интенсивности (70% ЧСС_{max})), на фоне приема 15 г углеводов перед нагрузкой без изменения доз инсулина. Сразу после начала нагрузки уровень гликемии заметно снизился с 6,6 ммоль/л до 3,9 ммоль/л и продолжал снижаться после окончания нагрузки. Гипогликемия на фоне и после нагрузки купирована приемом 30 г (суммарно) легкоусвояемых углеводов.

особенно при ее продолжительности более 1 ч, рекомендуется употреблять 0,5–1 г углеводов на 1 кг массы тела в час или 30–60 г углеводов в час [5, 25, 26]. При этом чрезмерное снижение дозы или пропуск инъекции инсулина и прием слишком большого количества углеводов могут вызвать гипергликемию до и во время аэробных упражнений, и даже умеренная ФА в условиях инсулиноопении может привести к развитию кетоза, т.к. при отсутствии инсулина мышечные клетки не используют глюкозу в качестве энергетического субстрата, а вместо этого используют жирные кислоты и кетоны [25]. После окончания аэробных упражнений поглощение глюкозы мышцами уменьшается, но общая утилизация глюкозы остается повышенной в течение нескольких часов после нагрузки на фоне пополнения запасов гликогена [27]. Риск гипогликемии остается повышенным в течение по крайней мере 24 ч. Наибольший риск развития ночной гипогликемии возникает при занятиях физической нагрузкой после полудня [28]. Поэтому необходима коррекция дозы инсулина после физической нагрузки — уменьшение дозы болюсного инсулина до 50% и уменьшение дозы базального инсулина на 20% и/или дополнительный прием углеводов (0,4 г углеводов на 1 кг массы тела) перед сном.

Во время преимущественно анаэробных нагрузок, таких как спринт и силовые тренировки, у здоровых людей секреция контринсулярных гормонов заметно увеличивается, что способствует увеличению печеночной секреции глюкозы, при этом концентрация инсулина в крови не снижается так же заметно, как при аэробных упражнениях, отчасти потому, что продолжительность нагрузки, как правило, короче [29, 30]. В период раннего восстановления после интенсивной тренировки концентрация инсулина увеличивается выше базального уровня для предотвращения повышения уровня глюкозы, вызванного повышением концентрации контррегуляторных гормонов и других метаболитов [29]. У пациентов с СД1 повышение уровня контринсулярных гормонов во время анаэробных нагрузок способствует быстрому высвобождению глюкозы из печени, что снижает риск развития гипогликемии. У некоторых пациентов этот тип упражнений приводит к повышению уровня глюкозы в крови, что требует введения корректирующей дозы инсулина сразу после тренировки. Поднятие тяжестей, спринт и упражнения высокой

интенсивности могут способствовать гипергликемии, которая может длиться несколько часов в период восстановления. Введение коррекционного болюса инсулина после упражнений может потребоваться в некоторых ситуациях, однако передозировка инсулина может вызвать тяжелую ночную гипогликемию [31].

Интервальные тренировки высокой интенсивности включают чередование коротких периодов интенсивных упражнений и периодов восстановления при низкой и средней интенсивности и сочетают в себе нейроэндокринные и метаболические эффекты аэробных и анаэробных тренировок [32]. У пациентов с СД1 интервальные тренировки высокой интенсивности способствуют поддержанию эугликемии во время тренировки, а также уменьшению продолжительности и тяжести гипогликемии после нее, т.к. интенсивные упражнения приводят к увеличению концентрации контринсулярных гормонов и различных метаболитов, которые повышают уровень глюкозы, а аэробная нагрузка, напротив, способствует поглощению глюкозы мышцами (рис. 2). Кроме того, периодические упражнения высокой интенсивности снижают утилизацию глюкозы по сравнению с непрерывными упражнениями умеренной интенсивности, что подразумевает высокую гибкость этого типа упражнений в переключении метаболизма в сторону потребления альтернативных субстратов [33]. Интервальные высокоинтенсивные упражнения снижают вариабельность гликемии после нагрузки и обеспечивают защиту от ночной гипогликемии у спортсменов с СД1 [34], а также сопровождаются усилением окислительного метаболизма мышц у молодых людей с СД1 [35]. Такие виды упражнений могут быть более гибкими для пациентов с СД1 в отношении гликемического контроля, а также ввиду меньшей продолжительности занятий.

ПРОТИВОПОКАЗАНИЯ И МЕРЫ ПРЕДОСТОРОЖНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ УПРАЖНЕНИЙ

Несмотря на множество положительных эффектов физических нагрузок для пациентов с СД1, существует риск развития различных побочных эффектов на фоне упражнений, помимо колебания гликемии. Соответственно, существуют некоторые противопоказания и ограничения при занятиях физическими нагрузками для безопасности пациентов.

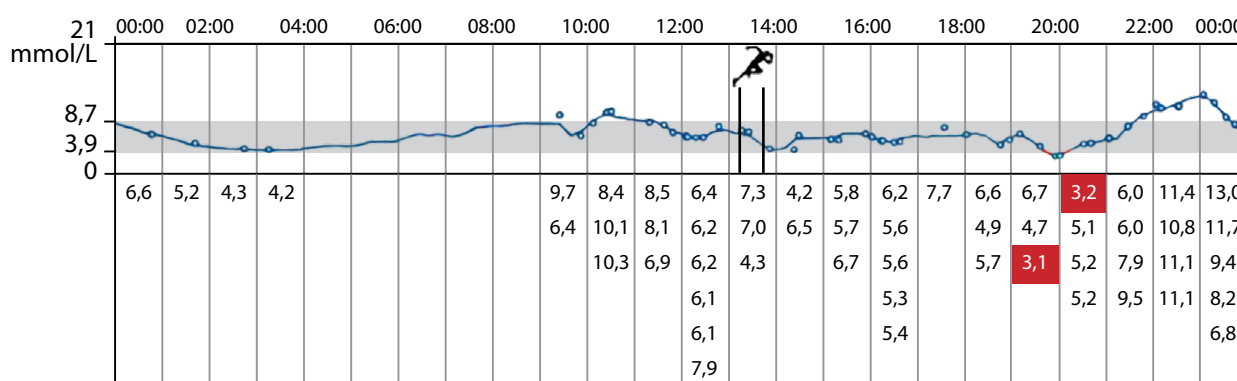


Рисунок 2. Данные флэш-мониторирования гликемии пациента Д. с сахарным диабетом 1 типа на фоне интервальной тренировки высокой интенсивности (10 × 30 с спринт (~90% ЧСС_{max}), в перерыве бег низкой интенсивности (50% ЧСС_{max}) 2 мин). Перед нагрузкой доза инсулина не менялась, углеводы не употреблялись. Уровень гликемии после начала нагрузки снизился с 7,3 ммоль/л до 4,3 ммоль/л. По окончании тренировки пациент принял 12 г углеводов.

Временным противопоказанием к физическим нагрузкам является уровень глюкозы плазмы >13 ммоль/л в сочетании с кетонурией или >16 ммоль/л, без кетонурии, т.к. на фоне недостаточной концентрации инсулина в крови в печени усиливаются гликолиз и глюконеогенез, а мышцы используют в качестве энергетического субстрата жирные кислоты, что приводит к усугублению гипергликемии и развитию кетоацидоза [4].

Тяжелая гипогликемия (уровень глюкозы в крови $\leq 2,8$ ммоль/л или гипогликемия, требующая помощи другого человека) в течение предыдущих 24 ч является противопоказанием для физических упражнений из-за высокого риска повторного развития тяжелой гипогликемии. При легкой гипогликемии перед нагрузкой (уровень глюкозы в крови 2,9–3,9 ммоль/л, который пациент купирует самостоятельно) следует учитывать повышенный риск рецидива гипогликемии. Необходимо регулярный самоконтроль или непрерывный мониторинг гликемии и осторожность в отношении упражнений, во время которых сложно контролировать уровень глюкозы крови и купировать гипогликемию (например, горные лыжи, скалолазание, подводное плавание, серфинг), особенно при нарушении распознавания гипогликемии [36].

Для пациентов с поздними осложнениями СД в целом польза для здоровья от ФА превышает риски малоподвижного образа жизни. Физические нагрузки низкой интенсивности оказывают положительный эффект в отношении рисков сердечно-сосудистых событий, диабетической нефропатии и смертности при низкой вероятности развития каких-либо побочных эффектов [17].

Для подавляющего большинства пациентов с сердечно-сосудистой патологией нагрузки высокой интенсивности, а также участие в соревновательных видах спорта противопоказаны. Перед началом тренировок пациентам с СД и риском ССЗ, ведущих малоподвижный образ жизни, рекомендовано провести нагрузочные тесты с мониторингом ЭКГ. При стенокардии напряжения все виды упражнений разрешены, при условии контроля ЧСС на 10 уд/мин ниже порога возникновения ангинозной боли при стресс-ЭКГ. Важно отметить, что для пациентов, перенесших острый коронарный синдром, реабилитация, основанная на различных физических упражнениях, снижает смертность от сердечно-сосудистых причин и последующие повторные госпитализации; рекомендовано начинать с упражнений низкой интенсивности, постепенно переходя к более интенсивным упражнениям под контролем специалистов [6].

Вегетативная нейропатия может увеличить риск травм или побочных эффектов, вызванных физической нагрузкой, из-за снижения сердечно-сосудистой реакции на упражнения, постуральной гипотензии, нарушения терморегуляции, нарушения ночного зрения из-за нарушения папиллярной реакции и нарушения распознавания гипогликемии. Сердечно-сосудистая вегетативная нейропатия также является независимым фактором риска смерти от ССЗ и безболевого ишемии миокарда. Следовательно, людям с диабетической вегетативной нейропатией следует пройти кардиологическое обследование перед началом ФА [3]. Упражнения у пациентов с кардиоваскулярной автономной нейропатией должны быть низкой и умеренной интенсивности с ис-

ключением резких изменений положения тела, продолжительностью 20–60 мин с длительной фазой разминки и завершения тренировки (по 10 мин каждая), с частым мониторингом артериального давления и сердечного ритма. Езда на велосипеде может быть предпочтительнее, поскольку она не вызывает гипотензивной реакции у таких пациентов [35, 36].

При отсутствии тяжелой деформации стопы или открытых язв физические нагрузки не оказывают негативного влияния на пациентов с дистальной нейропатией, при потере чувствительности необходимо носить специальную обувь и избегать упражнений, которые могут привести к травматизации нижних конечностей [37]. При локальных деформациях стопы следует носить специальную обувь и заниматься упражнениями с низкой нагрузкой на стопы, необходимо регулярно осматривать ступни для раннего выявления повреждения кожи и язв. При наличии язвы или ампутации нижних конечностей следует избегать нагрузок на стопы, возможна умеренная ходьба или нагрузки, в которых ступни не задействованы [2].

Физически активные пациенты с диабетической нефропатией имеют практически в 2 раза более низкий риск смертности по сравнению с неактивными [8]. Физические нагрузки не только не противопоказаны пациентам с хронической болезнью почек, но и проводятся у пациентов на фоне диализа, улучшая прогноз заболевания [38]. Следует начинать тренировки с упражнений низкой интенсивности и продолжительности и контролировать уровень электролитов во время проведения сеансов диализа [2].

Пациентам с пролиферативной или тяжелой непролиферативной диабетической ретинопатией противопоказаны силовые тренировки и интенсивные упражнения или соревнования на выносливость из-за риска спровоцировать кровоизлияние в стекловидное тело или отслойку сетчатки [38]; гемофтальм, отслойка сетчатки, первые полгода после лазеркоагуляции сетчатки являются ограничениями для любых видов физических упражнений [39].

МОНИТОРИНГ ГЛИКЕМИИ

Самоконтроль глюкозы крови с помощью глюкометра важен для оценки изменения гликемии в ответ на физическую нагрузку: в зависимости от полученных значений пациент принимает углеводы или вводит инсулин для предотвращения гипо- или гипергликемии. Перед тренировкой рекомендуется выполнить несколько измерений уровня глюкозы с интервалом 15–45 мин, чтобы выявить закономерности изменения гликемии. Во время ФА следует проверять уровень глюкозы в крови каждые 30 мин для своевременной коррекции дисгликемии. После нагрузки в течение 7–11 ч сохраняется повышенная чувствительность к инсулину, что требует более тщательного контроля [25].

Контроль гликемии с помощью систем непрерывного мониторинга глюкозы (НМГ) является более совершенным методом, измерение уровня глюкозы в интерстициальной жидкости происходит каждые 1–5 мин в режиме реального времени с оценкой тенденции и скорости его изменения и оповещением при выходе

гликемии из целевых значений, что позволяет вовремя предотвратить или купировать гипогликемию либо ввести коррекционный болюс инсулина при гипергликемии. Использование НМГ может уменьшить страх перед гипогликемией на фоне физических нагрузок, при СД1, т.к. пациенту проще оценить вероятность ее развития и предпринять меры профилактики, а сигнал тревоги позволит вовремя ее купировать, не допуская развития тяжелой гипогликемии [2]. НМГ в режиме реального времени имеет задержку в отображении колебания гликемии, т.к. в интерстициальной жидкости изменение уровня глюкозы происходит на 10–20 мин позже, чем в крови. Это может замедлить распознавание гипогликемии, хотя при этом использование НМГ с сигналами тревоги в определенной степени снижает частоту и продолжительность гипогликемии. Показания НМГ являются точными, несмотря на заметно отличающиеся метаболические условия и виды физических упражнений (интервальные упражнения высокой интенсивности в сравнении с непрерывными упражнениями умеренной интенсивности). Флэш-мониторинг гликемии (ФМГ) отличается от НМГ отсутствием непрерывной передачи данных на считывающее устройство, данные передаются при включении считывающего устройства и приближении его непосредственно к сенсору, соответственно, у этого устройства отсутствуют сигналы тревоги, это ограничивает возможность проактивного вмешательства пациента в управление гликемией и может быть менее удобным на фоне нагрузок, т.к. необходимо отвлекаться от упражнений для измерения гликемии, однако такие преимущества мониторинга гликемии, как построение графиков и тренды изменения глюкозы, сохраняются [40].

Инсулиновая помпа с встроенным НМГ показала преимущества в отношении контроля гликемии на фоне физических нагрузок: доза болюсного инсулина и скорость базальной инфузии могут регулироваться пользователями до, во время и после тренировки, а помпа самостоятельно может снижать или приостанавливать введение базального инсулина на основании данных НМГ о снижении гликемии во время и после тренировки, а также во время сна, что помогает предотвратить ночную гипогликемию [25].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Физические нагрузки снижают риски развития и прогрессирования поздних осложнений СД1, сердечно-сосудистых заболеваний и общей смертности, а также улучшают качество жизни и психологическое состояние пациентов, вне зависимости от гликемического контроля. Несмотря на множество преимуществ регулярных физических нагрузок, пациенты с СД1 имеют низкую физическую активность, в основном из-за страха развития гипогликемии на фоне упражнений. Соответственно, грамотная профилактика, включающая употребление углеводов и коррекцию доз болюсного и базального инсулина и тщательный мониторинг гликемии до, во время и после нагрузки, существенно снизит риск дисгликемии на фоне упражнений. Современные устройства НМГ облегчают контроль гликемии на фоне ФА, помповая инсулинотерапия, особенно со встроенным НМГ, сни-

жает риск развития гипогликемии за счет возможности предварительного снижения скорости введения базального инсулина и автоматической приостановки подачи инсулина при снижении уровня гликемии. Кроме того, помимо аэробных упражнений легкой и умеренной интенсивности, пациенты с СД1 могут заниматься силовыми тренировками, тренировками высокой интенсивности и интервальными тренировками, влияние которых на уровень гликемии отличается от аэробных. На фоне тренировок высокой интенсивности и силовых упражнений уровень гликемии имеет тенденцию к повышению, а при интервальных тренировках остается относительно стабильным, что можно использовать для профилактики гипогликемических реакций у пациентов с высоким риском развития тяжелой гипогликемии или нарушением распознавания гипогликемии. Преимуществом таких тренировок также является меньшая их продолжительность (минимум 75 мин в неделю против 150 мин для тренировок умеренной интенсивности), что удобно для пациентов, ограниченных во времени. Важно отметить, что тренировки высокой интенсивности имеют преимущество перед менее интенсивными и связаны с меньшим риском сердечно-сосудистых событий у пациентов с СД1. Безусловно, для интенсивных тренировок существуют определенные ограничения: пациентам с тяжелыми стадиями диабетической ретинопатии, нефропатии, сердечно-сосудистыми заболеваниями, атеросклеротическим и нейропатическим поражением нижних конечностей силовые нагрузки и упражнения высокой интенсивности противопоказаны ввиду высокого риска развития побочных эффектов, однако наличие поздних осложнений не является абсолютным противопоказанием к физическим упражнениям, занятия которыми сохраняют свои преимущества для пациентов по сравнению с неактивным образом жизни. Пациентам с поздними осложнениями СД1 рекомендованы упражнения низкой и средней эффективности с учетом противопоказаний и ограничений.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источники финансирования. Пациенты, чьи данные представлены на рисунках, обследованы на базе ФГАО ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации. В остальном работа выполнена без привлечения финансирования. Работа выполнена по инициативе авторов без привлечения финансирования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с содержанием настоящей статьи.

Участие авторов. Титова В.В. — поиск и анализ данных литературы, написание статьи; Демидова Т.Ю. — анализ данных литературы, внесение в рукопись существенной правки с целью повышения научной новизны статьи. Все авторы одобрили финальную версию статьи перед публикацией, выразили согласие нести ответственность за все аспекты работы, подразумевающую надлежащее изучение и решение вопросов, связанных с точностью или добросовестностью любой части работы.

Согласие пациента. Пациенты добровольно подписали информированное согласие на публикацию персональной медицинской информации в обезличенной форме в журнале «Ожирение и метаболизм».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

- Chiang JL, Kirkman MS, Laffel LMB, Peters AL. Type 1 Diabetes Through the Life Span: A Position Statement of the American Diabetes Association. *Diabetes Care*. 2014;37(7):2034-2054. doi: <https://doi.org/10.2337/dc14-1140>
- Colberg SR, Sigal RJ, Yardley JE, et al. Physical Activity/Exercise and Diabetes: A Position Statement of the American Diabetes Association. *Diabetes Care*. 2016;39(11):2065-2079. doi: <https://doi.org/10.2337/dc16-1728>
- American Diabetes Association. Standards of Medical Care in diabetes — 2020. *Diabetes Care*. 2020;43(1):1-212. doi: <https://doi.org/10.2337/dc20-Sint>
- Дедов И.И., Шестакова М.В., Майоров А.Ю. и др. Алгоритмы специализированной медицинской помощи больным сахарным диабетом: Клинические рекомендации (Вып. 9) // *Сахарный диабет*. — 2019. — Т. 22. — №51. — С. 1-144. [Dedov I, Shestakova MV, Mayorov AY, et al. Standards of specialized diabetes care. *Diabetes Mellitus*. 2019;22(S1):1-144 (In Russ.)]. doi: <https://doi.org/10.14341/DM22S1>
- Riddell MC, Gallen IW, Smart CE, et al. Exercise management in type 1 diabetes: a consensus statement. *Lancet Diabetes Endocrinol*. 2017;5(5):377-390. doi: [https://doi.org/10.1016/S2213-8587\(17\)30014-1](https://doi.org/10.1016/S2213-8587(17)30014-1)
- Pelliccia A, Sharma S, Gati S, et al. 2020 ESC Guidelines on sports cardiology and exercise in patients with cardiovascular disease. *Eur Heart J*. 2020;5(5):377-390. doi: <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehaa605>
- Bohn B, Herbst A, Pfeifer M, et al. Impact of Physical Activity on Glycemic Control and Prevalence of Cardiovascular Risk Factors in Adults With Type 1 Diabetes: A Cross-sectional Multicenter Study of 18,028 Patients. *Diabetes Care*. 2015;38(8):1536-1543. doi: <https://doi.org/10.2337/dc15-0030>
- Tikkanen-Dolenc H, Wadén J, Forsblom C, et al. Physical Activity Reduces Risk of Premature Mortality in Patients With Type 1 Diabetes With and Without Kidney Disease. *Diabetes Care*. 2017;40(12):1727-1732. doi: <https://doi.org/10.2337/dc17-0615>
- Reiner M, Niermann C, Jekauc D, Woll A. Long-term health benefits of physical activity – a systematic review of longitudinal studies. *BMC Public Health*. 2013;13(1):813. doi: <https://doi.org/10.1186/1471-2458-13-813>
- Warburton DER. Health benefits of physical activity: the evidence. *Can Med Assoc J*. 2006;174(6):801-809. doi: <https://doi.org/10.1503/cmaj.051351>
- Penedo FJ, Dahn JR. Exercise and well-being: a review of mental and physical health benefits associated with physical activity. *Curr Opin Psychiatry*. 2005;18(2):189-193. doi: <https://doi.org/10.1097/00001504-200503000-00013>
- Friedenreich CM, Orenstein MR. Physical Activity and Cancer Prevention: Etiologic Evidence and Biological Mechanisms. *J Nutr*. 2002;132(11):3456S-3464S. doi: <https://doi.org/10.1093/jn/132.11.3456S>
- Nocon M, Hiemann T, Müller-Riemenschneider F, et al. Association of physical activity with all-cause and cardiovascular mortality: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil*. 2008;15(3):239-246. doi: <https://doi.org/10.1097/HJR.0b013e3282f55e09>
- Yaribeygi H, Butler AE, Sahebkar A. Aerobic exercise can modulate the underlying mechanisms involved in the development of diabetic complications. *J Cell Physiol*. 2019;234(8):12508-12515. doi: <https://doi.org/10.1002/jcp.28110>
- Waden J, Forsblom C, Thorn LM, et al. Physical Activity and Diabetes Complications in Patients With Type 1 Diabetes: The Finnish Diabetic Nephropathy (FinnDiane) Study. *Diabetes Care*. 2008;31(2):230-232. doi: <https://doi.org/10.2337/dc07-1238>
- Pivovarov JA, Taplin CE, Riddell MC. Current perspectives on physical activity and exercise for youth with diabetes. *Pediatr Diabetes*. 2015;16(4):242-255. doi: <https://doi.org/10.1111/pedi.12272>
- Tikkanen-Dolenc H, Wadén J, Forsblom C, et al. Frequent and intensive physical activity reduces risk of cardiovascular events in type 1 diabetes. *Diabetologia*. 2017;60(3):574-580. doi: <https://doi.org/10.1007/s00125-016-4189-8>
- Yardley JE, Kenny GP, Perkins BA, et al. Resistance Versus Aerobic Exercise: Acute effects on glycemia in type 1 diabetes. *Diabetes Care*. 2013;36(3):537-542. doi: <https://doi.org/10.2337/dc12-0963>
- Farinha JB, Krause M, Rodrigues-Krause J, Reischak-Oliveira A. Exercise for type 1 diabetes mellitus management: General considerations and new directions. *Med Hypotheses*. 2017;104:147-153. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2017.05.033>
- Hargreaves M, Spriet LL. Exercise Metabolism: Fuels for the Fire. *Cold Spring Harb Perspect Med*. 2018;8(8):a029744. doi: <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a029744>
- Camacho RC, Galassetti P, Davis SN, Wasserman DH. Glucoregulation during and after exercise in health and insulin-dependent diabetes. *Exerc Sport Sci Rev*. 2005;33:17-23.
- Mallad A, Hinshaw L, Schiavon M, et al. Exercise effects on postprandial glucose metabolism in type 1 diabetes: a triple-tracer approach. *Am J Physiol Metab*. 2015;308(12):E1106-E1115. doi: <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00014.2015>
- Frayn KN, Karpe F. Regulation of human subcutaneous adipose tissue blood flow. *Int J Obes*. 2014;38(8):1019-1026. doi: <https://doi.org/10.1038/ijo.2013.200>
- Соколов Е.И., Демидов Ю.И., Дудаев В.А. Особенности утилизации основных метаболических субстратов в условиях аэробной нагрузки у больных сахарным диабетом 1-го типа // *Проблемы эндокринологии*. — 2008. — Т. 54. — №4. — С. 3-7. [Sokolov YI, Demidov Yul, Dudayev VA. Utilization of major metabolic substrates during aerobic exercise in patients with type 1 diabetes. *Problems of Endocrinology*. 2008;54(4):3-7. (In Russ.)]. doi: <https://doi.org/10.14341/probl20085443-7>
- Codella R, Terruzzi I, Luzi L. Why should people with type 1 diabetes exercise regularly? *Acta Diabetol*. 2017;54(7):615-630. doi: <https://doi.org/10.1007/s00592-017-0978-x>
- Барсуков И.А., Демина А.А. Физическая нагрузка у пациентов с сахарным диабетом 1 типа: принципы коррекции помповой инсулинотерапии // *PMJ. Медицинское обозрение*. — 2019. — Т. 1. — № 1. — С. 36-43. [Barsukov IA, Demina AA. Physical activity in patients with type 1 diabetes mellitus: approaches for insulin pump therapy correction. *RMJ. Medical Review*. 2019;1(1):36-43. (In Russ.)].
- Teich T, Riddell MC. The Enhancement of Muscle Insulin Sensitivity After Exercise: A Rac1-Independent Handoff to Some Other Player? *Endocrinology*. 2016;157(8):2999-3001. doi: <https://doi.org/10.1210/en.2016-1453>
- Gomez AM, Gomez C, Aschner P, et al. Effects of Performing Morning Versus Afternoon Exercise on Glycemic Control and Hypoglycemia Frequency in Type 1 Diabetes Patients on Sensor-Augmented Insulin Pump Therapy. *J Diabetes Sci Technol*. 2015;9(3):619-624. doi: <https://doi.org/10.1177/1932296814566233>
- Fahey AJ, Paramalingam N, Davey RJ, et al. The Effect of a Short Sprint on Postexercise Whole-Body Glucose Production and Utilization Rates in Individuals with Type 1 Diabetes Mellitus. *J Clin Endocrinol Metab*. 2012;97(11):4193-4200. doi: <https://doi.org/10.1210/jc.2012-1604>
- Harmer AR, Chisholm DJ, McKenna MJ, et al. High-Intensity Training Improves Plasma Glucose and Acid-Base Regulation During Intermittent Maximal Exercise in Type 1 Diabetes. *Diabetes Care*. 2007;30(5):1269-1271. doi: <https://doi.org/10.2337/dc06-1790>
- Turner D, Luzio S, Gray BJ, et al. Impact of single and multiple sets of resistance exercise in type 1 diabetes. *Scand J Med Sci Sports*. 2015;25(1):e99-e109. doi: <https://doi.org/10.1111/sms.12202>
- Batacan RB, Duncan MJ, Dalbo VJ, Tucker PS, Fenning AS. Effects of high-intensity interval training on cardiometabolic health: a systematic review and meta-analysis of intervention studies. *Br J Sports Med*. 2017;51(6):494-503. doi: <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095841>
- Bally L, Zueger T, Buehler T, et al. Metabolic and hormonal response to intermittent high-intensity and continuous moderate intensity exercise in individuals with type 1 diabetes: a randomised crossover study. *Diabetologia*. 2016;59(4):776-784. doi: <https://doi.org/10.1007/s00125-015-3854-7>
- Iscoe KE, Riddell MC. Continuous moderate-intensity exercise with or without intermittent high-intensity work: effects on acute and late glycaemia in athletes with Type 1 diabetes mellitus. *Diabet Med*. 2011;28(7):824-832. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1464-5491.2011.03274.x>
- Harmer AR, Chisholm DJ, McKenna MJ, et al. Sprint Training Increases Muscle Oxidative Metabolism During High-Intensity Exercise in Patients With Type 1 Diabetes. *Diabetes Care*. 2008;31(11):2097-2102. doi: <https://doi.org/10.2337/dc08-0329>

36. Riddell MC, Burr J. Evidence-based risk assessment and recommendations for physical activity clearance: diabetes mellitus and related comorbidities 1 This paper is one of a selection of papers published in this Special Issue, entitled Evidence-based risk assessment and recom. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2011;36(1):S154-S189. doi: <https://doi.org/10.1139/h11-063>
37. Kluding PM, Bareiss SK, Hastings M, et al. Physical Training and Activity in People With Diabetic Peripheral Neuropathy: Paradigm Shift. *Phys Ther*. 2016;36(1):S154-S189. doi: <https://doi.org/10.2522/ptj.20160124>
38. Pongrac Barlovic D, Tikkanen-Dolenc H, Groop P-H. Physical Activity in the Prevention of Development and Progression of Kidney Disease in Type 1 Diabetes. *Curr Diab Rep*. 2019;19(7):41. doi: <https://doi.org/10.1007/s11892-019-1157-y>
39. Tikkanen-Dolenc H, Wadén J, Forsblom C, et al. Frequent physical activity is associated with reduced risk of severe diabetic retinopathy in type 1 diabetes. *Acta Diabetol*. 2020;57(5):527-534. doi: <https://doi.org/10.1007/s00592-019-01454-y>
40. Moser O, Eckstein ML, McCarthy O, et al. Performance of the Freestyle Libre flash glucose monitoring (flash GM) system in individuals with type 1 diabetes: A secondary outcome analysis of a randomized crossover trial. *Diabetes, Obes Metab*. 2019;21(11):2505-2512. doi: <https://doi.org/10.1111/dom.13835>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ [AUTHORS INFO]:

***Титова Виктория Викторовна [Victoria V. Titova, MD]**; адрес: Россия, 117997, г. Москва, ул. Островитянова, д. 1 [address: 1 Ostrovitynova street, 117997 Moscow, Russia]; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8684-6095>; eLibrary SPIN: 7864-2910; e-mail: meteora-vica@mail.ru

Демидова Татьяна Юльевна, д.м.н., профессор [Tatyana Yu. Demidova, MD, PhD, Professor]; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9500-5813>; eLibrary SPIN: 9600-9796; e-mail: t.y.demidova@gmail.com

*Автор, ответственный за переписку / Corresponding author.

ЦИТИРОВАТЬ:

Демидова Т.Ю., Титова В.В. Преимущества физических нагрузок различной интенсивности для пациентов с сахарным диабетом 1 типа и их влияние на углеводный обмен // Ожирение и метаболизм. — 2020. — Т. 17. — №4. — С. 385-392. doi: <https://doi.org/10.14341/omet12394>

TO CITE THIS ARTICLE:

Demidova TY, Titova VV. Advantages of physical activity of varying intensity for patients with type 1 diabetes and its influence on glucose metabolism. *Obesity and metabolism*. 2020;17(4):385-392. doi: <https://doi.org/10.14341/omet12394>