

Влияние интервальных гипоксических тренировок на показатели пищевого статуса при морбидном ожирении

Т.С. Залетова¹, З.М. Зайнудинов¹, Т.Б. Феофанова¹, Ф.М. Монисов^{1, 2} ✉

¹ ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания и биотехнологии»; Россия, г. Москва

² ФГБУ «Центральный научно-исследовательский институт организации и информатизации здравоохранения» Минздрава России; Россия, г. Москва

РЕЗЮМЕ

Цель. Проанализировать влияние интервальных гипоксически-гипероксических тренировок (ИГГТ) на показатели пищевого статуса у лиц с морбидным ожирением.

Дизайн. Проспективное одноцентровое нерандомизированное исследование.

Материалы и методы. В исследование были включены 40 пациентов с морбидным ожирением, которых распределили на две группы: 1-я группа (контрольная) — 20 человек (10 мужчин и 10 женщин), придерживавшихся варианта диеты с повышенным количеством белка (ВБД) и общих рекомендации по оптимальной физической нагрузке; 2-я группа (основная) — 20 человек (10 мужчин и 10 женщин), которым была назначена ВБД в сочетании с ИГГТ. Всем пациентам проводилась оценка клинического статуса, определение состава тела (биоимпедансометрия), биохимических маркеров белкового, липидного, углеводного обмена в плазме крови.

Результаты. На фоне ИГГТ у обследованных наблюдалось значимое снижение уровня липопротеинов низкой плотности и более выраженное уменьшение содержания глюкозы (5,25 и 5,63 ммоль/л соответственно; $p = 0,021$), меньшее снижение процента жировой ткани (45,6 и 53,5% соответственно; $p = 0,012$) и увеличение основного обмена (2314 и 1804 соответственно; $p = 0,001$) по сравнению с пациентами, которым была назначена только ВБД. Кроме того, в контрольной группе выявлено значимое увеличение уровней мочевой кислоты, эритроцитов и гемоглобина ($p < 0,05$), чего не наблюдалось в основной группе ($p > 0,05$).

Заключение. Добавление ИГГТ к ВБД в курс терапии пациентов с морбидным ожирением безопасно и способствует более выраженному улучшению биохимических параметров крови, показателей биоимпедансометрии и увеличению основного обмена по сравнению с изолированной ВБД.

Ключевые слова: морбидное ожирение, интервальная гипоксическая тренировка, диета с повышенным количеством белка, биоимпедансометрия, состав тела.

Для цитирования: Залетова Т.С., Зайнудинов З.М., Феофанова Т.Б., Монисов Ф.М. Влияние интервальных гипоксических тренировок на показатели пищевого статуса при морбидном ожирении. Доктор.Ру. 2025;24(4):51–57. DOI: 10.31550/1727-2378-2025-24-4-51-57

Influence of Interval Hypoxic Training on Indicators of Nutritional Status in Morbid Obesity

T.S. Zaletova¹, Z.M. Zainudinov¹, T.B. Feofanova¹, F.M. Monisov^{1, 2} ✉

¹ Federal Research Center of Nutrition, Biotechnology and Food Safety; Moscow, Russian Federation

² Russian Research Institute of Health; Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Aim. To analyze the effect of intermittent hypoxic-hyperoxic training (IHHT) on nutritional status indicators in individuals with morbid obesity.

Design. Prospective, single-center, non-randomized study.

Materials and methods. The study included 40 patients with morbid obesity, who were divided into two groups: Group 1 (control) — 20 individuals (10 men and 10 women) adhering to a high-protein diet (HPD) variant and general recommendations for optimal physical activity; Group 2 (main) — 20 individuals (10 men and 10 women) who were prescribed HPD in combination with IHHT. All patients underwent an assessment of clinical status, body composition analysis (bioimpedance analysis), and determination of biochemical markers of protein, lipid, and carbohydrate metabolism in blood plasma.

Results. IHHT was associated with a significant decrease in low-density lipoprotein levels and a more pronounced reduction in glucose levels (5.25 and 5.63 mmol/L, respectively; $p = 0.021$), a smaller decrease in the percentage of body fat (45.6 and 53.5%, respectively; $p = 0.012$), and an increase in basal metabolic rate (2314 and 1804, respectively; $p = 0.001$) compared to patients prescribed HPD alone. In addition, the control group showed a significant increase in uric acid, erythrocyte, and hemoglobin levels ($p < 0.05$), which was not observed in the main group ($p > 0.05$).

Conclusions. The addition of IGHT to HPD in the course of therapy of patients with morbid obesity is safe and promotes a more pronounced improvement of blood biochemical parameters, bioimpedanceometry indices and increase in basal metabolism, compared to isolated HPD.

Keywords: morbid obesity, interval hypoxic training, high-protein diet, bioimpedanceometry, body composition.

For citation: Zaletova T.S., Zainudinov Z.M., Feofanova T.B., Monisov F.M. Influence of interval hypoxic training on indicators of nutritional status in morbid obesity. Doctor.Ru. 2025;24(4):51–57. (in Russian). DOI: 10.31550/1727-2378-2025-24-4-51-57

✉ Монисов Филипп Михайлович / Monisov F.M. — E-mail: dr.monisov@gmail.com

ВВЕДЕНИЕ

Распространенность ожирения резко возросла за последние десятилетия: почти треть населения мира страдает этим заболеванием или имеет избыточную массу тела [1]. Ожирение — многофакторное заболевание, характеризующееся избыточной массой жировой ткани (ЖТ), которая является метаболически активным эндокринным органом, играющим центральную роль в иммунных реакциях, поддержании гомеостаза глюкозы и липидов, ангиогенезе, коагуляции, поддержании нормальной эндотелиальной функции, регуляции аппетита и контроле массы тела [2]. Таким образом, дисфункция ЖТ тесно связана с повышенным риском кардиометаболических осложнений [3] и, как следствие, со смертностью [4].

Как было показано в работе I.G. Lempesis и соавт. (2020), уровень напряжения кислорода в жировой ткани (pO_2 в ЖТ) коррелирует с ее дисфункцией. Хотя гипоксия ЖТ продемонстрирована на моделях ожирения на грызунах, в отношении людей были получены противоречивые данные [5]. Ранее установлено, что у лиц, страдающих ожирением, по сравнению с людьми с нормальной массой тела наблюдается более высокий уровень pO_2 в ЖТ и его снижение после потери массы тела в результате соблюдения диеты [6], а также продемонстрирована положительная связь между уровнем pO_2 в ЖТ и инсулинорезистентностью независимо от ожирения [7].

Интервальная гипоксическая терапия — неинвазивный метод, основанный на повторяющихся кратковременных воздействиях на организм человека, находящегося в состоянии покоя, газовой смеси с дефицитом кислорода (до 14–10% O_2), чередующейся с нормоксической (21% O_2) или гипероксической (30–35% O_2) газовой смесью [8]. Данный метод терапии включает два подхода: интервальную гипоксически-нормоксическую тренировку (ИГНТ) и интервальную гипоксически-гипероксическую тренировку (ИГГТ). Методика ИГНТ/ИГГТ обладает множеством полезных эффектов, таких как предотвращение реакций, связанных с избыточной генерацией активных форм кислорода в митохондриях, и стимуляция выработки эндотелиального оксида азота, что обеспечивает вазодилатацию и усиление пролиферации эндотелия; ее применение способствует оптимизации митохондриального метаболизма [9, 10]. В предварительных исследованиях физической работоспособности у спортсменов с синдромом перетренированности и пожилых пациентов с ишемической болезнью сердца замена нормоксии гипероксией с интервальным воздействием гипоксии показала значительную эффективность [11].

Было также продемонстрировано, что ИГГТ по сравнению с ИГНТ более эффективны в повышении стабильности мембран кардиомиоцитов, гепатоцитов и клеток головного мозга [12]; при данном виде тренировок наблюдались более высокие показатели многих физиологических адаптивных реакций, в том числе улучшение эндотелиальной функции и общей антиоксидантной способности и снижение симпатической активности [13].

Имеются данные, что физические упражнения в сочетании с ИГГТ положительно воздействуют на процесс выведения метаболитов, оказывающих негативное влияние на нейроны, и улучшают функции нервной ткани у пациентов с ее дисфункцией [14].

Так, в 2022 г. А. Bestavashvili с соавт. опубликовали исследование, посвященное влиянию ИГГТ на липидный профиль и маркеры воспаления, в которое были включены

65 пациентов с метаболическим синдромом в возрасте от 29 до 74 лет. Обследованные были разделены на группу ИГГТ ($n = 32$) и контрольную группу ($n = 33$). Пациенты группы ИГГТ получали гипоксическую (12–11% O_2) газовую смесь в течение 4–7 мин и гипероксическую (30–35% O_2) газовую смесь в течение 2–4 мин. В контрольной группе было назначено аналогичное интермиттирующее лечение, но применялись ингаляции нормоксической газовой смесью (комнатным воздухом). Курс лечения составил 15 сеансов — по 5 раз в неделю с двумя выходными днями в течение 3 недель. Уменьшение системного воспаления и улучшение липидного профиля, выявляемые по уровню снижения соответствующих маркеров, свидетельствовали об эффективности терапии в группе ИГГТ [15].

Е. Dudnik и соавт. (2018) продемонстрировали результаты работы, целью которой было изучение влияния ИГГТ на кардиореспираторную подготовленность (CRF) у пожилых пациентов с сопутствующими заболеваниями по сравнению с традиционной реабилитационной программой, основанной на физических упражнениях. В общей сложности 29 пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями и различными сопутствующими патологиями, такими как сахарный диабет 2 типа, артериальная гипертензия, хроническая обструктивная болезнь легких, дислипидемия и ожирение 1–2 степени, были случайным образом распределены либо в группу ИГГТ, либо в контрольную группу. Пациенты группы ИГГТ проходили 5-недельную программу воздействия гипоксической (11–12% O_2) и гипероксической (30–33% O_2) газовыми смесями в состоянии покоя. Тренировка состояла из трех занятий в неделю, включавших 5–7 периодов гипоксии по 4–6 мин, затем период гипероксии длительностью 3 мин. Всего было осуществлено 15 сеансов тренировки. Пациенты контрольной группы выполняли индивидуальную программу кардиореспираторных упражнений в течение 8 недель. Кроме того, они подвергались 15 сеансам имитации гипоксии в течение 8 недель (ингаляциям комнатным воздухом) два раза в неделю. Авторы пришли к выводу, что ИГГТ может быть эффективным вариантом для пожилых людей, которые не в состоянии заниматься физическими упражнениями, и является безопасной альтернативой для этих лиц. ИГГТ в течение 5 недель оказалась настолько же эффективна с точки зрения улучшения CRF без гематологических изменений, как и 8-недельная программа физических упражнений [16].

В 2014 г. R. Wang и соавт. разработали протокол исследования, в котором планировалось наблюдение за снижением массы тела у подростков, страдающих ожирением, при воздействии ИГГТ в течение 4 недель в сочетании с физическими тренировками и диетой. Результаты данной работы могут привести к потенциальной возможности использования интервальной гипоксической тренировки в составе программы по снижению веса у детей и подростков, имеющих ожирение [17].

Таким образом, у пациентов, которые не в состоянии заниматься физическими упражнениями из-за сердечно-сосудистых заболеваний (например, хронической сердечной недостаточности), реабилитационные методы являются основным вариантом лечения; тем не менее ИГГТ/ИГНТ могут быть потенциально эффективны [10], в том числе и для пациентов с морбидным ожирением.

Цель — проанализировать влияние ИГГТ на показатели пищевого статуса у лиц с морбидным ожирением.

Дизайн: проспективное одноцентровое нерандомизированное исследование.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследование, проведенное в отделении персонализированной диетотерапии ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» в 2023–2024 гг., вошли 40 человек (20 мужчин и 20 женщин) с морбидным ожирением в возрасте от 30 до 79 лет, которых распределили на две группы:

- 1-я группа (контрольная) — 20 человек (10 мужчин и 10 женщин), придерживавшихся варианта диеты с повышенным количеством белка (ВБД) и общих рекомендаций по оптимальной физической нагрузке;
- 2-я группа (основная) — 20 человек (10 мужчин и 10 женщин), которым была назначена ВБД в сочетании с ИГГТ.

Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (протокол № 3 от 15.04.2021).

ИГГТ проводили в течение 14 дней по 5 дней с перерывами 2 дня (12 тренировок), по одной процедуре в день с использованием нормобарической установки для получения гипоксических и гипероксических газовых смесей на основе обратной связи ReOxy Cardio (Aimediq S. A., Люксембург). Перед началом курса процедур определяли индивидуальную чувствительность пациентов к гипоксии путем 10-минутного гипоксического теста: дыхание через маску газовой смесью с 12% содержанием O_2 с ежеминутным мониторингом частоты сердечных сокращений (ЧСС) и насыщения гемоглобина артериальной крови кислородом (SpO_2). При отпуске процедур длительность подачи газовых гипоксической (11–12% O_2) и гипероксической (35% O_2) смесей регулировали с учетом результатов гипоксического теста по принципу мониторингирования индивидуальных значений SpO_2 и ЧСС. Длительность одной процедуры составляла 40 мин, каждого гипоксического периода — в среднем 4–6 мин, гипероксического периода — 1–2 мин в зависимости от скорости восстановления SpO_2 у конкретного пациента.

Критерии включения в исследование: наличие морбидного ожирения (индекс массы тела (ИМТ) ≥ 50 кг/м²), информированное согласие на участие в исследовании. Критериями исключения являлись пищевая аллергия, скорость клубочковой фильтрации менее 50 мл/мин/1,73 м² по формуле СКД-ЕПІ, сахарный диабет 1 типа, сахарный диабет 2 типа с необходимостью инсулинотерапии, наличие заболеваний щитовидной железы (гипо-/гипертиреоз) в стадии декомпенсации, легочные заболевания, требующие медикаментозной терапии.

Всем пациентам проводилась оценка клинического и пищевого статуса, включавшая клинический осмотр с измерением артериального давления (АД) и ЧСС, определение состава тела методом биоимпедансометрии, исследование основного обмена методом непрямой калориметрии, определение биохимических маркеров белкового, липидного, углеводного обмена в плазме крови, оценку уровня инсулина.

У всех пациентов были измерены рост, масса тела с расчетом ИМТ по индексу Кетле (кг/м²) = масса (кг) / рост² (м²).

Анализ показателей биохимического анализа крови проводился на автоматическом анализаторе AU 680 компании Beckman Coulter (США). В сыворотке венозной крови определяли содержание общего холестерина, холестерина липопротеинов высокой плотности (ХС ЛПВП), холестерина липопротеинов низкой плотности (ХС ЛПНП), триглицеридов, глюкозы, креатинина, мочевины, мочевой кислоты, общего билирубина, активность аланинаминотрансферазы

(АЛТ), аспартатаминотрансферазы, калия (K+). Показатели общего анализа крови оценивали с помощью анализатора LH 750 Beckman Coulter (США). Изучали содержание эритроцитов, гемоглобина, тромбоцитов, скорость оседания эритроцитов. Оценка уровня инсулина проводилась на автоматическом анализаторе Immulite Xp 2000i Siemens Healthcare Diagnostics (Германия).

Исследование состава тела выполнялось методом биоимпедансометрии с использованием программного обеспечения Looking'Body при помощи анализатора InBody 720 (Biospace, Южная Корея) натошак в положении стоя босиком на весах и держась обеими руками за рукоятки анализатора. Оценивали следующие показатели: содержание жировой массы, тощей массы, массы скелетной мускулатуры, общей жидкости.

Исследование основного обмена осуществляли методом непрямой калориметрии с помощью стационарного метабологафа Quark RMR (COSMED, Италия) с использованием купола.

Статистический анализ производился с использованием программы StatTech v. 2.7.1 (ООО «Статтех», Россия). Количественные показатели, имеющие нормальное распределение, представлены в виде средних арифметических величин (М) и стандартных отклонений (SD), границ 95% доверительного интервала (95% ДИ); сравнение двух групп выполнялось с помощью t-критерия Стьюдента. При распределении, отличном от нормального, количественные данные описывались с помощью медианы (Me) и нижнего и верхнего квартилей (Q1–Q3); сравнение двух групп выполнялось с помощью U-критерия Манна — Уитни. Категориальные данные описывались с указанием абсолютных значений и процентных долей. Сравнение процентных долей при анализе четырехпольных таблиц сопряженности выполнялось с помощью критерия χ^2 Пирсона (при значениях ожидаемого явления более 10), точного критерия Фишера (при значениях ожидаемого явления менее 10). Значение p менее 0,05 считалось статистически значимым.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На фоне проводимой терапии у пациентов обеих групп наблюдалась статистически значимая положительная динамика по таким показателям, как масса тела, ИМТ, уровни систолического и диастолического АД, а также ЧСС (p < 0,001); при этом между группами не было выявлено различий по этим параметрам (p > 0,05) (табл. 1).

При анализе оцениваемых лабораторных данных установлено, что на фоне терапии в обеих группах статистически значимо улучшились показатели общего холестерина, ХС ЛПНП, глюкозы, АЛТ (p < 0,05). Уровень глюкозы у пациентов основной группы был значимо ниже по сравнению с лицами, получавшими только ВБД (p < 0,05). Кроме того, наблюдалось снижение уровня ХС ЛПВП и увеличение содержания креатинина и мочевины в обеих группах (p < 0,05), однако данные показатели находились в пределах референсных значений. При этом уровень ХС ЛПВП после завершения курса терапии был значимо выше в основной группе по сравнению с контрольной (p < 0,05). Кроме того, в группе ВБД отмечалось значимое увеличение содержания эритроцитов и гемоглобина (p = 0,001), чего не наблюдалось в группе, получавшей ИГГТ, где эти показатели также увеличились, но незначимо (p > 0,05) (табл. 2).

После проведения терапии в обеих группах выявлено снижение абсолютных значений жировой, тощей, мышечной массы (p < 0,001). В контрольной группе также отмечались

Таблица 1. Характеристика обследуемых с морбидным ожирением до лечения и через 14 дней после начала терапии**Table 1.** Characteristics of morbidly obese subjects before treatment and 14 days after the start of therapy

Показатели	Динамика	Контрольная группа (n = 20)	Основная группа (n = 20)	p
Возраст, годы, Me [Q1–Q3]		52 [50–55]	56 [54–60]	0,061
Масса тела, кг, M ± SD [95% ДИ]	до	161 ± 20 [152–171]	153 ± 20 [143–162]	0,277
	после	150,1 ± 15,0 [139–159]	144,4 ± 17,5 [136–156]	0,277
	p	< 0,001	< 0,001	–
Индекс массы тела, кг/м ² , Me [Q1–Q3]	до	54 [52–56]	52 [51–57]	0,478
	после	51 [49–54]	50 [49–54]	0,883
	p	< 0,001	< 0,001	–
Систолическое артериальное давление, мм рт. ст., Me [Q1–Q3]	до	158 [150–160]	142 [130–160]	0,072
	после	120 [120–126]	120 [119–125]	0,211
	p	< 0,001	< 0,001	–
Диастолическое артериальное давление, мм рт. ст., Me [Q1–Q3]	до	92 [90–100]	90 [80–95]	0,056
	после	80 [80–80]	80 [75–80]	0,102
	p	< 0,001	< 0,001	–
Частота сердечных сокращений, уд/мин, M ± SD [95% ДИ]	до	87 ± 14 [80–94]	82 ± 15 [75–89]	0,414
	после	73 ± 8,5 [68–77]	69 ± 7 [62–75]	0,192
	p	< 0,001	< 0,001	–

Таблица 2. Динамика показателей биохимического и клинического анализов крови до лечения и через 14 дней после начала терапии**Table 2.** Changes in biochemical and clinical blood test parameters before treatment and 14 days after the start of therapy

Показатели	Динамика	Контрольная группа (n = 20)	Основная группа (n = 20)	p
Общий холестерин, ммоль/л, Me [Q1–Q3]	до	4,94 [4,61–5,37]	4,96 [4,35–5,63]	0,947
	после	4,56 [4,25–4,86]	4,38 [3,85–5,0]	0,495
	p	0,030	< 0,001	
Холестерин липопротеинов высокой плотности, ммоль/л, M ± SD [95% ДИ]	до	0,95 ± 0,30 [0,81–1,10]	1,10 ± 0,31 [0,96–1,25]	0,149
	после	0,84 ± 0,21 [0,74–0,94]	1,05 ± 0,30 [0,91–1,19]	0,021
	p	0,011	0,030	–
Холестерин липопротеинов низкой плотности, ммоль/л, M ± SD [95% ДИ]	до	2,85 ± 0,58 [2,57–3,12]	2,89 ± 0,84 [2,49–3,28]	0,678
	после	2,83 ± 0,49 [2,60–3,05]	2,45 ± 0,86 [2,05–2,85]	0,242
	p	0,892	< 0,001	–
Глюкоза, ммоль/л, Me [Q1–Q3]	до	6,0 [5,49–7,17]	5,27 [4,84–5,98]	0,063
	после	5,63 [5,05–6,21]	5,25 [4,52–5,57]	0,021
	p	0,012	0,038	–
Аспартатаминотранс- фераза, ЕД/л, Me [Q1–Q3]	до	23,65 [18,98–30,02]	18,35 [16,5–25,15]	0,149
	после	26,45 [21,95–37,90]	22,10 [19,75–28,38]	0,265
	p	0,114	0,498	–
Аланинаминотранс- фераза, ЕД/л, Me [Q1–Q3]	до	19,5 [15,75–30,0]	20,0 [14,75–26,50]	0,799
	после	29,0 [17,75–47,75]	27,0 [23,75–32,25]	0,758
	p	0,005	0,024	–
Общий билирубин, мкмоль/л, Me [Q1–Q3]	до	11,91 [9,09–19,57]	12,79 [11,45–17,59]	0,512
	после	12,14 [8,88–15,93]	11,09 [9,50–15,39]	0,738
	p	0,701	0,002	–

Показатели	Динамика	Контрольная группа (n = 20)	Основная группа (n = 20)	p
Креатинин, мкмоль/л, Me [Q1–Q3]	до	62,70 [57,48–75,83]	62,50 [54,75–72,25]	0,529
	после	71,05 [61,15–83,47]	72,50 [67,75–87,50]	0,174
	p	0,027	0,002	–
Мочевина, ммоль/л, Me [Q1–Q3]	до	4,39 [3,45–5,19]	5,04 [4,32–5,98]	0,091
	после	5,30 [4,23–9,73]	6,67 [5,38–8,62]	0,242
	p	0,002	0,011	–
Мочевая кислота, мкмоль/л, M ± SD [95% ДИ]	до	501,3 ± 151,8 [430,3– 572,4]	420,50 ± 102,17 [372,7– 468,3]	0,114
	после	593,3 ± 120,54 [536,9– 649,7]	470,7 ± 140,52 [404,9– 536,5]	0,005
	p	0,025	0,089	–
K ⁺ , ммоль/л, Me [Q1–Q3]	до	4,05 [4,00–4,22]	4,30 [4,1–4,65]	0,054
	после	4,40 [4,10–4,65]	4,50 [4,15–4,7]	0,620
	p	0,043	0,389	–
Эритроциты, 10 ¹² /л, Me [Q1–Q3]	до	4,82 [4,33–5,41]	4,96 [4,64–5,39]	0,698
	после	5,02 [4,56–5,47]	5,03 [4,60–5,32]	0,799
	p	0,001	0,981	–
Гемоглобин, г/л, Me [Q1–Q3]	до	144,50 [137,5–155,8]	150,0 [139,8–162,8]	0,547
	после	148,50 [137,8–64,25]	145,50 [141,05–167,3]	0,947
	p	0,001	0,616	–
Тромбоциты, 10 ⁹ /л, Me [Q1–Q3]	до	199,50 [174,8–251,8]	196,50 [168,0–220,3]	0,445
	после	212,50 [168,8–267,3]	188,50 [167,5–212,3]	0,127
	p	0,528	0,061	–
Скорость оседания эритроцитов, мм/ч, Me [Q1–Q3]	до	10,0 [7,0–20,0]	18,0 [12,75–26,25]	0,068
	после	11,50 [8,0–17,0]	18,0 [10,75–23,25]	0,060
	p	0,717	0,534	–

Таблица 3. Показатели биоимпедансометрии и непрямой калориметрии у больных морбидным ожирением до лечения и через 14 дней после начала терапии

Table 3. Bioimpedance analysis and indirect calorimetry parameters in patients with morbid obesity before treatment and 14 days after the start of therapy

Показатели	Динамика	Контрольная группа (n = 20)	Основная группа (n = 20)	p
Жировая масса, кг, M ± SD [95% ДИ]	до	79,2 ± 5,3 [76,7–81,7]	72,6 ± 18,0 [64,2–81,1]	0,052
	после	76,3 ± 4,9 [74,0–78,6]	68,6 ± 17,8 [60,3–77,0]	0,012
	p	< 0,001	< 0,001	–
Процент жировой ткани, Me [Q1–Q3]	до	52,1 [50,6–55,1]	49,7 [44,1–53,0]	0,183
	после	53,5 [51,3–55,8]	45,6 [41,1–53,1]	0,012
	p	0,127	0,097	–
Тощая масса, кг, M ± SD [95% ДИ]	до	78,7 ± 13,3 [72,5–84,9]	72,8 ± 15,4 [65,6–80,0]	0,157
	после	72,3 ± 11,6 [66,8–77,7]	68,8 ± 12,6 [62,9–74,7]	0,429
	p	< 0,001	< 0,001	–
Процент тощей массы, Me [Q1–Q3]	до	47,9 [44,9–49,9]	49,5 [46,6–54,7]	0,383
	после	46,1 [44,2–48,7]	46,5 [42,8–50,4]	0,841
	p	< 0,001	0,006	–
Мышечная масса, кг, Me [Q1–Q3]	до	43,2 [37,4–49,1]	36,9 [34,4–40,9]	0,069
	после	39,8 [35,4–45,0]	34,9 [32,9–38,3]	0,027
	p	< 0,001	< 0,001	–

Показатели	Динамика	Контрольная группа (n = 20)	Основная группа (n = 20)	p
Процент мышечной массы, Me [Q1–Q3]	до	27,7 [26,3–29,1]	26,6 [25,3–28,7]	0,192
	после	23,3 [21,0–25,2]	26,2 [24,0–28,4]	0,009
	p	< 0,001	0,261	–
Общая жидкость, кг, M ± SD [95% ДИ]	до	58,5 ± 9,7 [53,9–63,0]	54,2 ± 11,4 [48,9–59,6]	0,192
	после	53,8 ± 8,9 [49,7–58,0]	49,9 ± 9,0 [45,7–54,1]	0,165
	p	< 0,001	< 0,001	–
Основной обмен, Me [Q1–Q3]	до	2055 [1722–2312]	2071 [1837–2885]	0,265
	после	1804 [1652–2141]	2314 [1939–2760]	0,001
	p	0,021	0,261	–

значимое уменьшение процента мышечной ткани и тенденция к снижению основного обмена, чего не зафиксировано в группе, получавшей ИГГТ ($p > 0,05$). Интересно отметить, что у пациентов, которые помимо ВБД также прошли курс ИГГТ, установлено увеличение показателей основного обмена (табл. 3).

На фоне терапии не было выявлено нежелательных явлений в виде объективного или субъективного ухудшения самочувствия.

ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенное исследование продемонстрировало эффективность ВБД в сочетании с ИГГТ, что отражалось в виде значимого снижения уровней глюкозы крови, мочевой кислоты у пациентов, получавших ИГГТ, по сравнению с показателями лиц, которым была назначена только ВБД. Кроме того, отмечено более интенсивное снижение процента ЖТ и сохранения процента мышечной массы. Несмотря на отсутствие различий между группами по таким параметрам, как ИМТ, уровни систолического и диастолического АД, а также ЧСС, наблюдалась тенденция к более низким показателям в группе, где применялись ВБД и ИГГТ, по сравнению с группой с изолированной ВБД, а отсутствие статистически значимых различий может быть связано с небольшим размером анализируемой выборки. В целом полученные результаты согласуются с данными других авторов [11, 13], анализирующих лабораторные и инструментальные показатели у пациентов с различными заболеваниями, получающими ИГГТ.

ИГГТ могут положительно воздействовать на деформируемость эритроцитов, что облегчает их прохождение через капилляры и доставку кислорода к тканям, стимулировать биогенез митохондрий (образование новых митохондрий) в клетках мышц и других тканей. Это увеличивает способность клеток производить энергию аденозинтрифосфата (АТФ) в условиях недостатка кислорода, что может обуславливать увеличение показателей основного обмена.

В результате применения ИГГТ отмечается рост активности ферментов, участвующих в окислительном фосфорилировании, процессе производства АТФ в митохондриях, и улучшение способности клеток извлекать и использовать кислород из крови.

ИГГТ стимулируют образование новых кровеносных сосудов (ангиогенез) в тканях, что повышает их кровоснабжение, улучшает способность сосудов расширяться и сужаться в ответ на изменения в потребностях тканей в кислороде, а это немаловажно для пациентов с сопутствующими сердечно-сосудистыми заболеваниями [16].

Активация симпатической нервной системы в ответ на гипоксический стресс может активизировать выработку катехоламинов, которые оказывают влияние на метаболизм, а повторное воздействие гипоксии повышает устойчивость организма к стрессу.

Применение ИГГТ представляет собой перспективный метод, позволяющий оказывать положительное влияние на здоровье. Несомненно, необходима индивидуализация протокола ИГГТ с учетом возраста, состояния здоровья, уровня физической подготовки и целей тренировки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Добавление ИГГТ к ВБД в курс терапии пациентов с морбидным ожирением безопасно и способствует более выраженному снижению уровня глюкозы крови при отсутствии значимого увеличения концентраций мочевой кислоты по сравнению с изолированной ВБД, а также уменьшению процента жировой ткани, менее выраженному снижению мышечной массы и увеличению основного обмена. Однако необходимы дополнительные исследования для уточнения механизмов действия и определения оптимальных протоколов применения ИГГТ. Требуется проведение дальнейших рандомизированных исследований с целью подтверждения полученных результатов и включения ИГГТ в курс терапии пациентов с морбидным ожирением.

Вклад авторов / Contributions

Все авторы внесли существенный вклад в подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией. Вклад каждого из авторов: Залетова Т.С. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, статистическая обработка данных, написание текста; Зайнудинов З.М. — концепция и дизайн исследования, редактирование текста, утверждение рукописи для публикации; Феофанова Т.Б. — сбор и обработка материала, написание текста; Монисов Ф.М. — статистическая обработка данных, написание и редактирование текста статьи.

All authors made a significant contribution to the preparation of the article, read and approved the final version before publication. Special contribution: Zaletova, T.S. — study concept and design, data collection and processing, statistical analysis, manuscript writing; Zainudinov, Z.M. — study concept and design, manuscript editing, approving the manuscript for publication; Feofanova, T.B. — data collection and processing, manuscript writing; Monisov, F.M. — statistical analysis, manuscript writing and editing.

Конфликт интересов / Disclosure

Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.
The authors declare no conflict of interest.

Финансирование / Funding source

Публикация подготовлена в рамках выполнения фундаментальной научно-исследовательской работы ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» № FGMF-2022-0005.

The study publication was prepared as part of the implementation of fundamental research work No. FGMF-2022-0005 by the Federal Research Center of Nutrition, Biotechnology and Food Safety.

Этическое утверждение и информированное согласие / Ethics approval and consent for publication

Протокол исследования одобрен этическим комитетом ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (протокол № 3 от 15.04.2021 г.). Все пациенты подписали информированное согласие на участие в исследовании.

The study protocol was approved by the ethics committee of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety (protocol No. 3 dated April 15, 2021). All patients signed informed consent to participate in the study.

Об авторах / About the authors

Залетова Татьяна Сергеевна / Zaletova, T.S. — заведующая дневным стационаром ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии». eLIBRARY.RU SPIN: 6492-1290. <https://orcid.org/0000-0002-3492-1778>. E-mail: dr@zaletova.ru

Зайнудинов Зайнудин Мусаевич / Zainudinov, Z.M. — главный врач ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии». eLIBRARY.RU SPIN: 8913-0269. <https://orcid.org/0000-0002-4367-2232>. E-mail: zain_z@mail.ru

Феофанова Татьяна Борисовна / Feofanova, T.B. — к. м. н., научный сотрудник отделения персонализированной диетотерапии ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии». eLIBRARY.RU SPIN: 5705-5495. <https://orcid.org/0000-0002-2349-2218>. E-mail: dr-tanya@yandex.ru

Монисов Филипп Михайлович / Monisov, F.M. — соискатель кандидатской степени ФГБУ «ЦНИИОИЗ» Минздрава России; врач-ординатор ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии». eLIBRARY.RU SPIN: 6098-8469. <https://orcid.org/0000-0002-9650-3758>. E-mail: dr.monisov@gmail.com

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Sørensen T.I.A., Martinez A.R., Jørgensen T.S.H. Epidemiology of obesity. *Handb. Exp. Pharmacol.* 2022;274:3–27. DOI:10.1007/164_2022_581
2. Anthony S.R., Tranter M. Metabolically stressed adipocytes: mediators of cardioprotection via extracellular vesicle-mediated transport of oxidatively damaged mitochondria. *ExRNA.* 2022;4:3. DOI: 10.21037/exrna-21-31
3. Huang Y.C., Huang J.C., Lin C.I., Chien H.H. et al. Comparison of innovative and traditional cardiometabolic indices in estimating atherosclerotic cardiovascular disease risk in adults. *Diagnostics.* 2021;11(4):603. DOI: 10.3390/diagnostics11040603
4. Dikaoui P., Björck L., Adiels M., Lundberg C.E. et al. Obesity, overweight and risk for cardiovascular disease and mortality in young women. *Eur. J. Prev. Cardiol.* 2021;28(12):1351–9. DOI:10.1177/2047487320908983
5. Lempes I.G., van Meijel R.L.J., Manolopoulos K.N., Goossens G.H. Oxygenation of adipose tissue: a human perspective. *Acta Physiol. (Oxf.)*. 2020;228(1):e13298. DOI: 10.1111/apha.13298
6. Wang R., Sun Q., Wu X., Zhang Y. et al. Hypoxia as a double-edged sword to combat obesity and comorbidities. *Cells.* 2022;11(23):3735. DOI: 10.3390/cells11233735
7. van Hulst V., van Meijel R.L., Goossens G.H. The impact of hypoxia exposure on glucose homeostasis in metabolically compromised humans: a systematic review. *Rev. Endocr. Metab. Disord.* 2021;22(2):471–83 DOI: 10.1007/s11154-021-09654-0
8. Neubauer J.A. Invited review: physiological and pathophysiological responses to intermittent hypoxia. *J. Appl. Physiol.* (1985). 2001;90(4):1593–9. DOI: 10.1152/jap.2001.90.4.1593
9. Ельчанинова С.А., Кореньяк Н.А., Павловская Л.И., Смагина И.В. и др. Вазкулярный эндотелиальный фактор роста и основной фактор роста фибробластов в периферической крови: влияние интервальной гипоксической гипоксии. *Физиология человека.* 2004;30(6):93–5. El'chaniyova S.A., Korenyak N.A., Pavlovskaya L.I., Smagina I.V. et al. The effect of interval hypoxic hypoxia on the vascular endothelial growth factor and basic fibroblast growth factor concentrations in the peripheral blood. *Human Physiology.* 2004;30(6):93–5. (in Russian)
10. Abebe M.S., Asres K., Bekuretsion Y., Abebe A. et al. Sub-chronic toxicity of ethanol leaf extract of *Syzygium guineense* on the biochemical parameters and histopathology of liver and kidney in the rats. *Toxicol. Rep.* 2021;8:822–8. DOI: 10.1016/j.toxrep.2021.03.032
11. Susta D., Dudnik E., Glazachev O.S. A programme based on repeated hypoxia-hyperoxia exposure and light exercise enhances performance in athletes with overtraining syndrome: a pilot study. *Clin. Physiol. Funct. Imaging.* 2017;37(3):276–81. DOI: 10.1111/cpf.12296
12. Glazachev O.S., Kryzhanovskaya S.Y., Zapara M.A., Dudnik E.N. et al. Safety and efficacy of intermittent hypoxia conditioning as a new rehabilitation/ secondary prevention strategy for patients with cardiovascular diseases: a systematic review and meta-analysis. *Curr. Cardiol. Rev.* 2021;17(6):e051121193317. DOI: 10.2174/1573403X17666210514005235
13. Behrendt T., Bielitzki R., Behrens M., Herold F. et al. Effects of intermittent hypoxia-hyperoxia on performance- and health-related outcomes in humans: a systematic review. *Sports Med. Open.* 2022;8(1):70. DOI: 10.1186/s40798-022-00450-x
14. Bestavashvili A.A., Glazachev O.S., Bestavashvili A.A., Dhif I. et al. The effects of intermittent hypoxic-hyperoxic exposures on lipid profile and inflammation in patients with metabolic syndrome. *Front. Cardiovasc. Med.* 2021;8:700826. DOI: 10.3389/fcvm.2021.700826
15. Bestavashvili A., Glazachev O., Bestavashvili A., Suvorov A. et al. Intermittent hypoxic-hyperoxic exposures effects in patients with metabolic syndrome: correction of cardiovascular and metabolic profile. *Biomedicines.* 2022;10(3):566. DOI: 10.3390/biomedicines10030566
16. Dudnik E., Zagaynaya E., Glazachev O.S., Susta D. Intermittent hypoxia-hyperoxia conditioning improves cardiorespiratory fitness in older comorbid cardiac outpatients without hematological changes: a randomized controlled trial. *High Alt. Med. Biol.* 2018;19(4):339–43. DOI: 10.1089/ham.2018.0014
17. Wang R., Liu D., Wang X., Xiao W. et al. The effect of 'sleep high and train low' on weight loss in overweight Chinese adolescents: study protocol for a randomized controlled trial. *Trials.* 2014;15:250. DOI: 10.1186/1745-6215-15-250

Поступила / Received: 23.01.2025

Принята к публикации / Accepted: 01.05.2025