

DOI: 10.52727/2078-256X-2026-22-2-198-209

Индекс триглицериды – глюкоза (ТyG) и его производные у женщин репродуктивного возраста с разными метаболическими фенотипами

В.И. Алфёрова, С.В. Мустафина, О.Д. Рымар, Л.В. Щербакова, Д.В. Денисова

*Научно-исследовательский институт терапии и профилактической медицины – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук»
Россия, 630089, г. Новосибирск, ул. Бориса Богаткова, 175/1*

Аннотация

В последние годы активно изучается теория метаболического фенотипирования, в основе которой лежит выделение метаболически здорового и нездорового фенотипов (МЗФ, МНЗФ) у лиц с разным индексом массы тела (ИМТ). По данным литературы, в основе формирования МНЗФ лежит инсулинорезистентность (ИР). Одним из наиболее доступных в практической деятельности инструментов для оценки ИР является индекс триглицериды–глюкоза ТyG и его производные. Однако до сих пор недостаточно информации об особенностях показателей ИР у лиц с различными метаболическими фенотипами. Цель – изучить показатели индексов инсулинорезистентности, основанных на индексе ТyG, в выборке женщин 25–44 лет г. Новосибирска. **Материал и методы.** Обследована репрезентативная выборка женщин в возрасте 25–44 лет, проживающих в г. Новосибирске, в итоговую выборку вошли показатели 651 женщины. Дизайн исследования: одномоментное популяционное исследование. Проведено антропометрическое и лабораторное обследование. В качестве дефиниций метаболически нездорового фенотипа учитывали критерии метаболического синдрома IDF, 2005. Статистическую обработку результатов проводили в программе SPSS for Windows. **Результаты.** Молодые женщины с МНЗФ имели достоверно более высокие индексы ТyG, ТyG-ИМТ, ТyG-ОТ, ТyG-ОТ/рост, чем лица с МЗФ как во всей выборке, так и при разделении на группы по ИМТ ($p < 0,05$). При повышении ИМТ от нормальной массы тела к ожирению выявлено значимое повышение ТyG-ИМТ, ТyG-ОТ, ТyG-ОТ/рост ($p < 0,0001$), но не индекса ТyG. При оценке способности изучаемых индексов распознавать наличие МНЗФ для всех индексов получены модели хорошего (ТyG) и отличного качества (ТyG-ИМТ, ТyG-ОТ, ТyG-ОТ/рост). Наиболее высокое качество модели получено для индекса ТyG-ОТ (AUC = 0,930, $p < 0,0001$), пороговое значение для распознавания МНЗФ – 368,3 (Se = 93,8 %, Sp = 79,1 %). **Заключение.** Выявлены более высокие индексы инсулинорезистентности, основанные на ТyG, у женщин с МНЗФ по сравнению с МЗФ при любом значении индекса массы тела. Индекс ТyG-ОТ показал наибольшую способность к распознаванию МНЗФ у молодых женщин.

Ключевые слова: ожирение, метаболически нездоровый фенотип, метаболический синдром, индекс ТyG.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов, связанных с публикацией данной статьи.

Финансирование. Статья подготовлена в рамках бюджетной темы «Совершенствование методов диагностики метаболических нарушений у пациентов с неиммунными формами сахарного диабета, проживающих в Сибири, и оптимизация лекарственной терапии, улучшающей прогноз», 2026–2028 гг. (FWNR-2026-0035).

Вклад авторов. Алфёрова В.И. – отбор, формирование выборки обследованных, обзор публикаций по теме статьи, анализ и интерпретация данных, написание текста рукописи; Муста-

фина С.В. — разработка дизайна исследования, проверка критически важного содержания; Шербакова Л.В. — формирование базы данных, статистическая обработка, анализ и интерпретация данных; Рымар О.Д. — коррекция текста рукописи, проверка критически важного интеллектуального содержания, утверждение рукописи для публикации; Денисова Д.В. — организация скрининга 2013–2017 гг.

Автор для переписки. Мустафина С.В., e-mail: svetlana3548@gmail.com

Для цитирования. Алфёрова В.И., Мустафина С.В., Рымар О.Д., Шербакова Л.В., Денисова Д.В. Индекс триглицериды–глюкоза (TyG) и его производные у женщин репродуктивного возраста с разными метаболическими фенотипами. *Атеросклероз*. 2026; 22 (2): 198–209. doi: 10.52727/2078-256X-2026-22-2-198-209

Triglyceride–glucose index and its derivatives in women of reproductive age with different metabolic phenotypes

V.I. Alferova, S.V. Mustafina, O.D. Rymar, L.V. Shcherbakova, D.V. Denisova

*Research Institute of Internal and Preventive Medicine –
Branch of the Institute of Cytology and Genetics,
Siberian Branch of the Russia Academy of Sciences
175/1, Boris Bogatkov st., Novosibirsk, 630089, Russia*

Abstract

In recent years, the theory of metabolic phenotyping has been actively studied, which is based on the identification of metabolically healthy (MHP) and unhealthy phenotypes (MUHP) people with different body mass index (BMI). According to the literature, the basis for the formation of MUHP is insulin resistance (IR). One of the most practically accessible tools for assessing IR is the TyG index and its derivatives. However, there is still insufficient information about the features of IR indicators in individuals with different metabolic phenotypes. Aim is to study the indices of insulin resistance based on the TyG index in a sample of women aged 25–44 in Novosibirsk. Material and methods. A representative sample of women aged 25–44 years living in Novosibirsk was examined, the final sample included 651 women. Study design: a single-stage population-based study. An anthropometric and laboratory examination was performed. The criteria of metabolic syndrome IDF, 2005, were considered as definitions of a metabolically unhealthy phenotype. Statistical processing of the results was carried out in the SPSS for Windows program. Results. Young women with MUHP had significantly higher TyG, TyG-BMI, TyG-WC, TyG-WC/height indices than those with MHP both in the entire sample and when divided into groups by BMI ($p < 0.05$). With an increase in BMI from normal body weight to obesity, a significant increase in TyG-BMI, TyG-WC, TyG-WC/height ($p < 0.0001$) was revealed, but not the TyG index. When evaluating the ability of the studied indices to recognize the presence of MUHP, models of good (TyG) and excellent quality (TyG-BMI, TyG-WC, TyG-WC/height) were obtained for all indices. The highest quality of the model was obtained for the TyG-WC index (AUC = 0.930, $p < 0.0001$), the cut-off value for MUHP recognition was 368.3 (Se = 93.8 %, Sp = 79.1 %). Conclusions. Higher TyG-based insulin resistance indices were found in women with MUHP compared with MHP at any body mass index value, the TyG-WC index showed the greatest ability to recognize MUHP in young women.

Keywords: obesity, metabolically unhealthy phenotype, metabolic syndrome, young women, TyG index.

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

Funding. This article was prepared within the framework of the budget theme «Improving diagnostic methods for metabolic disorders in patients with non-immune forms of diabetes mellitus living in Siberia and optimizing drug therapy to improve prognosis» 2026–2028 (FWNR-2026-0035).

Contribution of the authors. Alferova V.I. – selection, formation of the sample of subjects, review of publications on the topic of the article, analysis and interpretation of data, writing the manuscript, Mustafina S.V. – development of the study design, checking of critically important content, Shcherbakova L.V. –

database formation, statistical processing, analysis and interpretation of data, Rymar O.D. – correction of the manuscript text, checking of critically important intellectual content, approval of the manuscript for publication; Denisova D.V. – organization of screening 2013–2017.

Correspondence. Mustafina S.V., e-mail: svetlana3548@gmail.com

Citation. Alferova V.I., Mustafina S.V., Rymar O.D., Shcherbakova L.V., Denisova D.V. Triglyceride – glucose index and its derivatives in women of reproductive age with different metabolic phenotypes. *Atherosclerоз.* 2026; 22 (2): 198–209. doi: 10.52727/2078-256X-2026-22-2-198-209

Введение

В последние годы все активнее изучается теория метаболического фенотипирования, в основе которой лежит выделение метаболически здорового и нездорового фенотипов (МЗФ, МНЗФ) [1]. Исходно в основе этой концепции лежат наблюдения, согласно которым в некоторых клинических ситуациях при возникновении острых сердечно-сосудистых событий пациенты с ожирением демонстрировали более высокую выживаемость, чем лица с нормальной массой тела [2]. По современным литературным данным, одним из ключевых отличий между МЗФ и МНЗФ, не только при ожирении, но и при нормальной и избыточной массе тела, является специфическое перераспределение жировой ткани в абдоминальной области и изменение ее секреторной активности, приводящее к развитию инсулинорезистентности (ИР) [3].

Многочисленные исследования по всему миру свидетельствуют о том, что ИР лежит в основе развития сахарного диабета 2 типа, а также других хронических заболеваний, в том числе инфарктов, инсультов и иной атеросклеротической патологии [4].

«Золотым стандартом» определения ИР во всем мире признан метод гиперинсулинемического эугликемического клэмп, предложенного в 1979 г. R.A. DeFronzo [5]. Однако инвазивность, времязатратность и высокая финансовая стоимость существенно ограничивают применение этой методики в рутинной клинической практике. Поэтому для диагностики ИР предложено большое количество суррогатных показателей. Так, например, индекс НОМА-IR (гомеостатическая модель с расчетом по данным инсулинемии и гликемии натощак) показал результаты по оценке чувствительности к инсулину, сопоставимые с данными клэмпа [6]. Вместе с тем, хотя НОМА-IR и является полезным в исследовательской практике маркером ИР, его высокая стоимость делает этот индекс малоприменимым на практике.

В настоящее время одним из наиболее качественных и доступных суррогатных маркеров ИР является индекс TyG (логарифмическое соотношение уровней триглицеридов и глюкозы) [7], причем он показал значимую положительную корреляцию как с НОМА-IR [8], так и с клэмп-тестом [9].

Поскольку TyG зарекомендовал себя как информативный и доступный маркер ИР, были предложены его производные (TyG-ИМТ (индекс массы тела), TyG-ОТ (окружность талии), TyG-ОТ/рост), которые также показали высокую способность к распознаванию ИР, а кроме этого доказана прогностическая способность этих индексов в отношении развития ишемической болезни сердца и сердечно-сосудистой смертности [10]. Однако до сих пор в литературе недостаточно информации об особенностях показателей ИР у лиц с различными метаболическими фенотипами. Цель исследования – изучить показатели индексов инсулинорезистентности, основанных на индексе TyG, в выборке женщин 25–44 лет г. Новосибирска.

Материал и методы

Исследование проведено на базе научно-исследовательского института терапии и профилактической медицины – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук» (НИИТПМ – филиал ИЦиГ СО РАН) с 2013 по 2017 г. Обследована репрезентативная выборка женщин в возрасте 25–44 лет, проживающих в г. Новосибирске – крупнейшем индустриальном городе Сибири. Для построения выборки использовалась база Территориального фонда обязательного медицинского страхования по Октябрьскому району г. Новосибирска (типичный район города по его административным, социально-демографическим и этническим характеристикам). С помощью генератора случайных чисел была сформирована

репрезентативная выборка в объеме 2500 человек. Всего обследовано 1513 человек, из них 840 женщин. После исключения участниц, не соответствующих критериям отбора, итоговую выборку составила 651 женщина.

Критерии включения в анализ: женский пол, возраст 25–44 года, наличие подписанного добровольного информированного согласия на участие в исследовании. Критерии исключения из анализа: беременность и лактация на момент проведения исследования, отказ от забора венозной крови для проведения гормонального и биохимического исследования. Дизайн исследования: одномоментное популяционное исследование.

В рамках обследования всем участницам проводились антропометрические измерения (вес и рост с последующим расчетом индекса массы тела (ИМТ) по формуле: масса тела (кг)/рост (м²), окружность талии (ОТ)). Рост измеряли в положении стоя, без обуви и верхней одежды, на стандартном ростомере (погрешность измерения ± 0,5 см). Вес измерялся в положении стоя, без обуви и верхней одежды, на стандартных медицинских рычажных весах, прошедших метрологическую поверку (погрешность измерения ± 0,1 кг). ОТ измеряли при помощи гибкой сантиметровой ленты на середине расстояния между краем нижнего ребра и верхнем краем гребня подвздошной кости (погрешность измерения ± 1 см). Артериальное давление (АД) измеряли трехкратно с интервалом в две минуты на правой руке в положении сидя с помощью автоматического тонометра Omron M5-I (Япония). Для проведения биохимического и гормонального исследования проводился забор венозной крови из локтевой вены утром натощак, через 12 часов после последнего приема пищи. Пробирки с кровью центрифугировались, после чего сыворотку замораживали и хранили в низкотемпературной камере (–70 °С).

Проведена оценка биохимических показателей (глюкоза плазмы натощак (ГПН), холестерин липопротеинов высокой плотности (ХС ЛПВП), триглицериды (ТГ)). Определение уровней ХС ЛПВП, ТГ, глюкозы сыворотки проведено на автоматическом биохимическом анализаторе KoneLab 30i (Финляндия) с использованием стандартных наборов Thermo Fisher (Финляндия). Перевод показателей ХС ЛПВП и ТГ из мг/дл в ммоль/л осуществлялся по формуле: ХС (ммоль/л) = ХС (мг/дл) × 0,0113. Показатели глюкозы сыворотки в показатели ГПН переводили по формуле:

ГПН (ммоль/л) = $-0,137 + 1,047 \times$ глюкоза сыворотки (ммоль/л).

Индекс TyG и его производные рассчитывались по следующим формулам: $TyG = Ln$ [триглицериды натощак (мг/дл) × ГПН (мг/дл)]/2 [11]; TyG -ИМТ = $TyG \times$ ИМТ; TyG -ОТ = $TyG \times$ ОТ; TyG -ОТ/рост = $TyG \times$ ОТ/рост [12].

Необходимо отметить, что в литературе широко распространена ошибочная формула расчета TyG : Ln [триглицериды натощак (мг/дл) × ГПН (мг/дл)/2], что признают сами авторы исходной формулы [11]. Однако, учитывая крайне широкое распространение этого индекса в литературных данных, мы сочли уместным рассчитать TyG и по этой формуле и представить его в виде индекса TyG_2 . При этом все производные индексы (TyG -ИМТ, TyG -ОТ, TyG -ОТ/рост) рассчитывались на основе обеих формул.

Анализ проведен в группах с МЗФ и МНЗФ при нормальной, избыточной массе тела и ожирении. В качестве дефиниций метаболически нездорового фенотипа учитывали критерии метаболического синдрома IDF, 2005 [13]: основной критерий – ОТ ≥ 80 см, дополнительные критерии: ТГ ≥ 1,7 ммоль/л; ХС ЛПВП < 1,3 ммоль/л; АД ≥ 130/85 мм рт. ст.; ГПН ≥ 5,6 ммоль/л.

Лица, имеющие сочетание ОТ ≥ 80 см и двух и более дополнительных критериев, считались метаболически нездоровыми, а лица, не имеющие метаболического синдрома по критериям IDF, отнесены к группе условно метаболически здоровых.

Исследование имеет некоторые ограничения по данным анамнеза: не фиксировались артериальная гипертензия и другие ассоциированные заболевания, не проводилось опроса по получению гипотензивной, сахароснижающей и гиполипидемической терапии, не оценивались вредные привычки (курение и употребление алкоголя).

Статистическую обработку результатов проводили в программе SPSS for Windows (v.13), проведены автоматизированная проверка базы данных и статистический анализ. Характер распределения непрерывных показателей оценивался по тесту Колмогорова – Смирнова. Проведенная оценка указывает на наличие у всех непрерывных показателей ненормального распределения ($p > 0,05$). Данные представлены как абсолютные (n) и относительные (%) величины, а также как $M \pm SD$, где M – среднее арифметическое значение; SD – стандартное отклонение; Me (25; 75), где Me – медиана, 25-й и 75-й процентиля.

Для анализа чувствительности и специфичности диагностического теста и определения оптимальной точки отсечения (cut-off value) уровня индексов TyG , TyG -ИМТ, TyG -ОТ, TyG -ОТ/рост для идентификации МНЗФ проведен ROC-анализ с определением площади под ROC-кривой (area under curve, AUC) – показателя, используемого для получения численного значения клинической значимости теста, где значения AUC 0,9–1,0 рассматриваются как отличное качество модели, 0,8–0,9 – очень хорошее, 0,7–0,8 – хорошее, 0,6–0,7 – удовлетворительное, 0,5–0,6 – неудовлетворительное.

Сравнение двух независимых групп по количественным признакам с ненормальным распределением проведено с помощью непараметрического критерия Манна–Уитни. Для сравнения трех и более независимых групп применялся непараметрический метод – критерий Краскела–Уоллиса. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты

Всего в рамках исследовательской работы проанализированы показатели 651 женщины, из них с МЗФ – 77,9 % (507 человек), с МНЗФ – 22,1 % (144 человека). Данные клинико-лабораторных характеристик представлены в табл. 1.

По данным опроса у шести женщин (1 % всей выборки) был сахарный диабет (у трех че-

ловек – гестационный сахарный диабет в анамнезе, у трех человек – сахарный диабет 2 типа). Артериальная гипертензия по данным измерения АД выявлена у 61 человека – 9,4 %, другие ассоциированные заболевания по данным анамнеза не фиксировались.

При разделении всей выборки на подгруппы с МЗФ и МНЗФ установлено, что лица с МНЗФ имели достоверно более высокие индексы TyG , TyG -ИМТ, TyG -ОТ, TyG -ОТ/рост, чем лица с МЗФ ($p < 0,0001$) (табл. 2).

Далее нами изучены индексы инсулинорезистентности в группах с МЗФ и МНЗФ при разных значениях ИМТ (табл. 3). Установлено, что лица с МНЗФ при любом ИМТ имели более высокие индексы TyG , TyG -ИМТ, TyG -ОТ, TyG -ОТ/рост, чем лица с МЗФ ($p < 0,05$).

При анализе трендов индексов инсулинорезистентности при повышении ИМТ от нормальной массы тела к ожирению выявлено значимое повышение TyG -ИМТ, TyG -ОТ, TyG -ОТ/рост ($p < 0,0001$), тогда как индекс TyG не менялся ($p > 0,05$) (табл. 4).

Далее для оценки способности индекса TyG и его производных прогнозировать наличие МНЗФ у молодых женщин нами проведен ROC-анализ с оценкой AUC. Для индексов TyG , TyG_2 получена модель хорошего качества (AUC = 0,773, SE = 0,023, $p < 0,0001$), пороговое значение TyG для распознавания МНЗФ составило 4,5, TyG_2 – 8,3 (Se = 76,4 %, Sp = 66,3 %) (рис. 1).

Таблица 1

Клинико-лабораторные характеристики выборки женщин 25–44 лет с метаболически здоровым и нездоровым фенотипами

Table 1

Clinical and laboratory characteristics of a sample of women aged 25–44 years with metabolically healthy and unhealthy phenotypes

Показатель / Indicators	МЗФ / MHF $M \pm m$ Me [25;75]	МНЗФ / MNHF $M \pm m$ Me [25;75]	p
Рост, см / Height, cm	164,51 ± 0,27 164,00 [160;168]	164,3 ± 0,27 164,25 [159;168]	< 0,719
Вес, кг / Weight, kg	62,81 ± 0,52 60,80 [54,80;69,00]	83,3 ± 1,36 80,55 [70,97;93,00]	< 0,0001
ИМТ, кг/м ² / BMI, kg/m ²	23,21 ± 0,18 22,4 [20,39;24,99]	30,91 ± 0,51 29,72 [26,24;33,23]	< 0,0001
ОТ, см / WC, cm	75,53 ± 0,42 74,00 [69,00;80,00]	94,41 ± 0,97 91,00 [85,28;101,75]	< 0,0001
Глюкоза плазмы, ммоль/л / Plasma glucose, mmol/L	5,43 ± 0,02 5,41 [5,09;3,73]	5,94 ± 0,05 5,94 [5,62;6,15]	< 0,0001
Триглицериды, ммоль/л / Triglycerides, mmol/L	0,85 ± 0,02 0,76 [0,55;1,06]	1,43 ± 0,09 1,10 [0,87;1,82]	< 0,0001

Индексы инсулинорезистентности у женщин 25–44 лет

Insulin resistance index in women 25–44 years with metabolically healthy and unhealthy phenotypes

Индекс / Index	МЗФ / MHF M±m Me [25;75]	МНЗФ / MNHF M±m Me[25;75]	<i>p</i>
TyG	4,4±0,2 4,4 [4,2; 4,6]	4,7±0,3 4,7 [4,5; 4,9]	< 0,0001
TyG ₂	8,1±0,5 8,1 [7,8; 8,5]	8,7±0,6 8,6 [8,3; 9,1]	< 0,0001
TyG-ИМТ / TyG-BMI	102,3±19,7 99,9 [88,6; 113,2]	144,7±30,6 139,7 [122,8; 155,8]	< 0,0001
TyG ₂ -ИМТ / TyG ₂ -BMI	188,6±36,6 183,8 [162,9; 209,4]	267,9±57,1 258,2 [227,5; 288,8]	< 0,0001
TyG-ОТ / TyG-WC	333,0±48,2 327,7 [298,6; 362,5]	441,8±64,0 431,7 [397,8; 467,3]	< 0,0001
TyG ₂ -ОТ / TyG ₂ -WC	613,7±90,2 604,3 [547,7; 667,6]	818,2±120,6 799,7 [734,6; 868,4]	< 0,0001
TyG-ОТ/рост / TyG-WC/ Height	2,0±0,3 2,0 [1,8; 2,2]	2,7±0,4 2,6 [2,4; 2,9]	< 0,0001
TyG ₂ -ОТ/рост / TyG ₂ -WC/ Height	3,7±0,6 3,7 [3,3; 4,1]	5,0±0,8 4,8 [4,4; 5,4]	< 0,0001

Для индексов TyG-ИМТ, TyG₂-ИМТ получена модель отличного качества (AUC = 0,908, SE = 0,013, *p* < 0,0001), пороговое значение TyG-ИМТ для распознавания МНЗФ составило 117,45, TyG₂-ИМТ – 211,9 (Se = 87,5 %, Sp = 79,3 %) (рис. 2).

Для индексов TyG-ОТ, TyG₂-ОТ получена модель отличного качества (AUC = 0,930, SE = 0,010, *p* < 0,0001), пороговое значение TyG-ОТ для распознавания МНЗФ составило 368,3, TyG₂-ОТ – 679,8 (Se = 93,8 %, Sp = 79,1 %) (рис. 3).

Для индексов TyG-ОТ/рост, TyG₂-ОТ/рост получена модель отличного качества (AUC = 0,925, SE = 0,011, *p* < 0,0001), пороговое значение TyG-ОТ/рост для распознавания МНЗФ составило 2,3 (Se = 88,2 %, Sp = 82,6 %), TyG₂-ОТ/рост – 4,3 (Se = 84,7 %, Sp = 84,4 %) (рис. 4).

Таким образом, в данной работе индексы инсулинорезистентности, основанные на использовании логарифмического отношения уровней триглицеридов и глюкозы, продемонстрировали значимые отличия у лиц с МЗФ и МНЗФ при любом значении ИМТ. В отношении предсказательной способности наличия МНЗФ у молодых женщин лучше всего показал себя индекс TyG-ОТ.

Обсуждение

Индекс TyG – суррогатный биомаркер ИР, предложенный в 2008 г. Он показал способность с высокой чувствительностью и специфичностью распознавать наличие ИР [9], благодаря чему может рассматриваться как информативный и доступный в реальной клинической практике показатель ИР [14]. Сообщалось, что по данным многомерного логистического регрессионного анализа TyG является независимым фактором риска развития ИР (отношение шансов (ОШ) = 2,69; 95 % доверительный интервал (ДИ) 2,21–3,28; *p* < 0,001) [15]. TyG также предложен в качестве одного из маркеров адекватности гликемического контроля у пациентов СД2 [16]; сообщалось о независимой связи TyG с развитием осложненных СД2, в том числе нефропатии [17], сердечно-сосудистых заболеваний [18]. Кроме того, в литературе представлены данные, согласно которым в молодой популяции TyG является независимым предиктором развития в будущем ССЗ (ОШ = 1,96; 95 % ДИ 1,44–2,66, *p* < 0,05), а его повышение на 1 единицу повышает риск смерти от всех причин на 85 % (ОШ = 1,85; 95 % ДИ 1,45–2,36, *p* < 0,05) [19]. Показана положительная

Таблица 3

Table 3

Индексы инсулинорезистентности у женщин 25–44 лет с метаболически здоровым и нездоровым фенотипами при разных значениях индекса массы тела
 Insulin resistance index in women 25–44 years with metabolically healthy and unhealthy phenotypes at different body mass index values

Индекс / Index	ИМТ, кг/м ² / BMI (kg/m ²) M±m Me[25;75]											
	< 25,0					25,0–29,9					≥ 30,0	
	МЗФ (n = 382)	МНЗФ (n = 16)	p	МЗФ (n = 97)	МНЗФ (n = 58)	p	МЗФ (n = 28)	МНЗФ (n = 70)	p			
TyG	4,4±0,2 4,4 [4,2; 4,6]	4,6±0,2 4,6 [4,4; 4,8]	0,006	4,4±0,2 4,5 [4,2; 4,6]	4,7±0,3 4,7 [4,5; 4,9]	<0,0001	4,4±0,2 4,5 [4,2; 4,6]	4,7±0,3 4,6 [4,5; 4,9]	<0,0001			
TyG ₂	8,1±0,5 8,1 [7,8; 8,4]	8,5±0,5 8,5 [8,1; 8,8]	0,006	8,2±0,5 8,3 [7,8; 8,5]	8,7±0,6 8,7 [8,4; 9,1]	<0,0001	8,2±0,4 8,3 [7,8; 8,5]	8,6±0,5 8,5 [8,3; 9,1]	<0,0001			
TyG-ИМТ / TyG-BMI	94,2±11,1 93,7 [85,8; 103,0]	107,3±8,6 108,1 [102,9; 113,0]	<0,0001	119,9±8,7 119,1 [114,1; 124,6]	128,8±11,6 127,5 [120,7; 137,7]	<0,0001	153,1±23,3 144,9 [137,0; 165,7]	166,4±28,3 155,7 [145,8; 181,0]	0,013			
TyG ₂ -ИМТ / TyG ₂ -BMI	173,5±21,0 172,3 [157,7; 189,9]	198,3±16,6 199,9 [189,9; 209,0]	<0,0001	221,0±16,8 220,2 [210,3; 230,1]	238,6±22,4 236,7 [223,2; 255,4]	<0,0001	282,3±43,2 267,3 [253,2; 306,5]	308,1±53,0 288,4 [269,3; 336,2]	0,009			
TyG-OT / TyG-WC	316,6±35,6 311,6 [290,8; 340,4]	381,5±24,4 376,6 [364,4; 400,9]	<0,0001	368,0±33,2 367,5 [343,0; 389,6]	412,8±40,0 410,5 [386,1; 434,1]	<0,0001	436,4±48,6 428,6 [405,7; 464,0]	479,6±63,5 460,8 [440,3; 520,7]	0,001			
TyG ₂ -OT / TyG ₂ -WC	583,3±67,4 573,3 [534,3; 627,8]	705,1±47,8 696,8 [669,9; 743,3]	<0,0001	678,6±62,8 676,0 [630,8; 719,7]	765,0±77,2 758,9 [714,2; 805,9]	<0,0001	804,6±91,1 789,1 [747,6; 852,4]	888,1±120,1 852,9 [808,3; 968,3]	0,001			
TyG-OT/рост / TyG-WC/ Height	1,9±0,2 1,9 [1,8; 2,1]	2,3±0,2 2,3 [2,1; 2,5]	<0,0001	2,2±0,2 2,2 [2,1; 2,4]	2,5±0,2 2,5 [2,4; 2,6]	<0,0001	2,7±0,3 2,6 [2,5; 2,7]	2,9±0,4 2,8 [2,6; 3,2]	0,001			
TyG ₂ -OT/рост / TyG ₂ -WC/ Height	3,5±0,4 3,5 [3,2; 3,9]	4,3±0,4 4,2 [4,0; 4,6]	<0,0001	4,1±0,4 4,1 [3,9; 4,4]	4,6±0,5 4,6 [4,4; 4,9]	<0,0001	4,9±0,6 4,9 [4,6; 5,1]	5,4±0,8 5,2 [4,9; 6,0]	0,001			

Таблица 4

Table 4

Тренды индексов инсулинорезистентности у женщин 25–44 лет с метаболически здоровым и нездоровым фенотипами при переходе от нормальной массы тела к ожирению

Trends in insulin resistance index in women 25–44 years with metabolically healthy and unhealthy phenotypes during the transition from normal body weight to obesity

Индекс / Index	МЗФ / MHF $M \pm m$ Me[25;75]			$P_{\text{тренда}} / P_{\text{trend}}$	МНЗФ / MNHF $M \pm m$ Me[25;75]			$P_{\text{тренда}} / P_{\text{trend}}$
	ИМТ, кг/м ² BMI (kg/m ²)				ИМТ, кг/м ² BMI (kg/m ²)			
	< 25,0 (n = 382)	25,0 – 29,9 (n = 97)	≥ 30,0 (n = 28)		< 25,0 (n = 16)	25,0 – 29,9 (n = 58)	≥ 30,0 (n = 70)	
TyG	4,4±0,2 4,4 [4,2; 4,6]	4,4±0,2 4,5 [4,2; 4,6]	4,4±0,2 4,5 [4,2; 4,6]	0,087	4,6±0,2 4,6 [4,4; 4,8]	4,7±0,3 4,7 [4,5; 4,9]	4,7±0,3 4,6 [4,5; 4,9]	0,178
TyG ₂	8,1±0,5 8,1 [7,8; 8,4]	8,2±0,5 8,3 [7,8; 8,5]	8,2±0,4 8,3 [7,8; 8,5]	0,087	8,5±0,5 8,5 [8,1; 8,8]	8,7±0,6 8,7 [8,4; 9,1]	8,6±0,5 8,5 [8,3; 9,1]	0,178
TyG-ИМТ / TyG-BMI	94,2±11,1 93,7 [85,8; 103,0]	119,9±8,7 119,1 [114,1; 124,6]	153,1±23,3 144,9 [137,0; 165,7]	< 0,0001	107,3±8,6 108,1 [102,9; 113,0]	128,8±11,6 127,5 [120,7; 137,7]	166,4±28,3 155,7 [145,8; 181,0]	< 0,0001
TyG ₂ -ИМТ / TyG ₂ -BMI	173,5±21,0 172,3 [157,7; 189,9]	221,0±16,8 220,2 [210,3; 230,1]	282,3±43,2 267,3 [253,2; 306,5]	< 0,0001	198,3±16,6 199,9 [189,9; 209,0]	238,6±22,4 236,7 [223,2; 255,4]	308,1±53,0 288,4 [269,3; 336,2]	< 0,0001
TyG-ОТ / TyG-WC	316,6±35,6 311,6 [290,8; 340,4]	368,0±33,2 367,5 [343,0; 389,6]	436,4±48,6 428,6 [405,7; 464,0]	< 0,0001	381,5±24,4 376,6 [364,4; 400,9]	412,8±40,0 410,5 [386,1; 434,1]	479,6±63,5 460,8 [440,3; 520,7]	< 0,0001
TyG ₂ -ОТ / TyG ₂ -WC	583,3±67,4 573,3 [534,3; 627,8]	678,6±62,8 676,0 [630,8; 719,7]	804,6±91,1 789,1 [747,6; 852,4]	< 0,0001	705,1±47,8 696,8 [669,9; 743,3]	765,0±77,2 758,9 [714,2; 805,9]	888,1±120,1 852,9 [808,3; 968,3]	< 0,0001
TyG-ОТ / рост / TyG-WC / Height	1,9±0,2 1,9 [1,8; 2,1]	2,2±0,2 2,2 [2,1; 2,4]	2,7±0,3 2,6 [2,5; 2,7]	< 0,0001	2,3±0,2 2,3 [2,1; 2,5]	2,5±0,2 2,5 [2,4; 2,6]	2,9±0,4 2,8 [2,6; 3,2]	< 0,0001
TyG ₂ -ОТ / рост / TyG ₂ -WC / Height	3,5±0,4 3,5 [3,2; 3,9]	4,1±0,4 4,1 [3,9; 4,4]	4,9±0,6 4,9 [4,6; 5,1]	< 0,0001	4,3±0,4 4,2 [4,0; 4,6]	4,6±0,5 4,6 [4,4; 4,9]	5,4±0,8 5,2 [4,9; 6,0]	< 0,0001

связь TyG и его производных ($TyG-OT$, $TyG-OT/$ рост, $TyG-ИМТ$) со смертностью от ССЗ, застойной сердечной недостаточностью и ишемической болезнью сердца [10].

Концепция метаболического фенотипирования лиц с различной массой тела является спорной, во-первых, ввиду отсутствия единых диагностических критериев, во-вторых, потому что существуют исследования, согласно которым лица с метаболически здоровым фенотипом ожирения (МЗФО) имеют риск развития ССЗ ниже, чем при метаболически нездоровом ожирении (МНЗФО), но при этом выше, чем лица с МЗФ про нормальном весе [20]. Впрочем, на наш взгляд, подобные данные не умаляют научного интереса к изучению МЗФ и МНЗФ при разных значениях массы тела, а лишь способствуют углубленному поиску фундаментальных различий метаболических фенотипов и усовершенствованию имеющейся кластеризации факторов сердечно-сосудистого риска.

В контексте метаболического фенотипирования в мировой литературе анализ TyG и его производных индексов представлен ограниченно. Так, Y. Weyman-Vela et al. отмечали более высокие показатели TyG у лиц с МНЗФО по срав-

нению с МЗФО (4,88 vs 4,55, $p < 0,001$) [21], что согласуется с результатами, полученными в нашем исследовании. По данным 20-летнего проспективного когортного исследования, ИР является ключевой причиной перехода МЗФО в МНЗФО [22], поэтому TyG как высокоспецифичный маркер ИР может быть полезен в оценке риска трансформации МЗФ в МНЗФ.

M. Zakerkish et al. представили данные о том, что лица с МНЗФО имеют более высокие показатели индексов TyG , $TyG-OT$, $TyG-ИМТ$, чем лица с МЗФО, а также с МЗФ/МНЗФ при нормальной массе тела [23].

В нашем исследовании установлено, что индекс TyG и его производные могут служить для распознавания наличия МНЗФ у молодых женщин, а наиболее качественная ROC-кривая получена для индекса $TyG-OT$ ($AUC = 0,930$, $SE = 0,010$, $p < 0,0001$), пороговое значение $TyG-OT$ для распознавания МНЗФ – 368,3 ($Se = 93,8\%$, $Sp = 79,1\%$).

Y. Li et al. сообщали о способности индекса TyG и его производных распознавать наличие метаболического нездоровья в китайской популяции. Так, в крупном кросс-секционном исследовании с участием 9457 человек (54,1 %

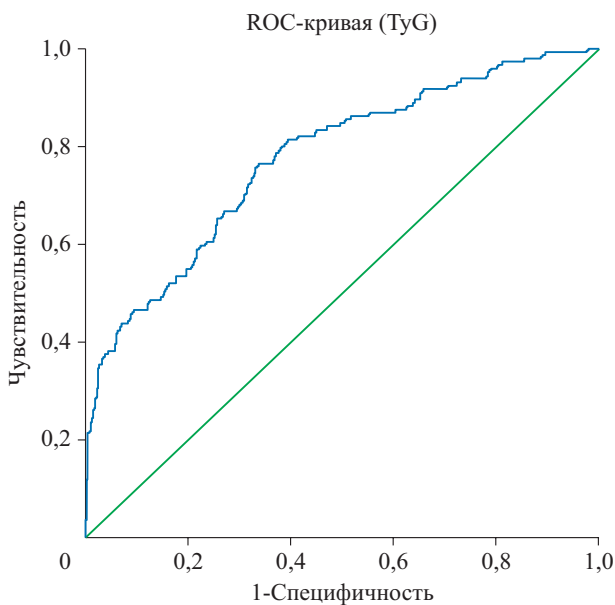


Рис. 1. ROC-кривая: связь метаболически нездорового фенотипа и индексов TyG , TyG_2 женщин 25–44 лет
Fig. 1. ROC curve: association between metabolically unhealthy phenotype and TyG , TyG_2 index in women 25–44 years

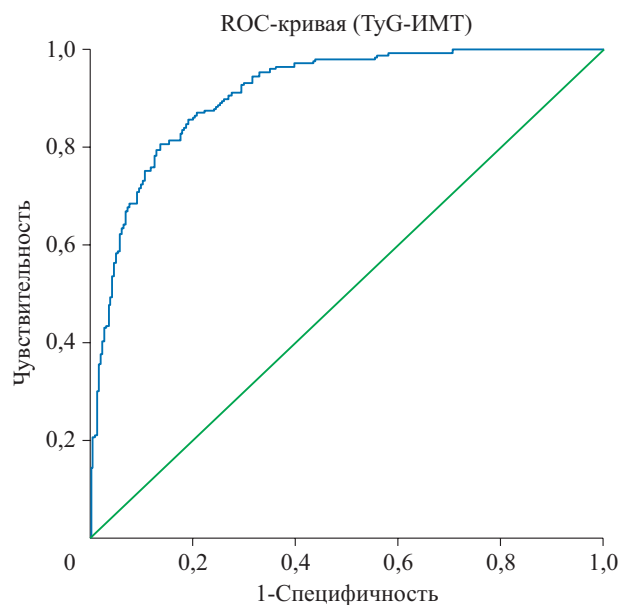


Рис. 2. ROC-кривая: связь метаболически нездорового фенотипа и индексов $TyG-ИМТ$, $TyG_2-ИМТ$ у женщин 25–44 лет
Fig. 2. ROC curve: association between metabolically unhealthy phenotype and $TyG-BMI$, TyG_2-BMI index in women 25–44 years

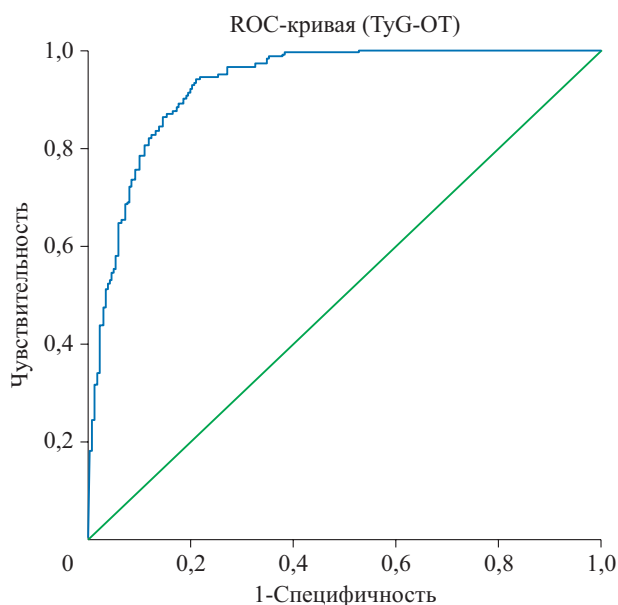


Рис. 3. ROC-кривая: связь метаболически нездорового фенотипа и индексов TyG-OT, TyG₂-OT у женщин 25–44 лет

Fig. 3. ROC curve: association between metabolically unhealthy phenotype and TyG-WC, TyG₂-WC index in women 25–44 years

женщин; средний возраст 59 лет) в подвыборке женщин в ходе ROC-анализа для всех обсуждаемых здесь индексов получена модель очень хорошего качества, при этом наилучшее качество модели получено для индекса TyG-OT (AUC = 0,873, $p < 0,001$) [24], что согласуется с полученными нами данными.

Таким образом, полученные нами данные о более высоких значениях индексов ИР у лиц с МНЗФ по сравнению с МЗФ согласуются с данными мировой литературы.

Заключение

В данном исследовании выявлены более высокие индексы инсулинорезистентности, основанные на TyG, у женщин с МНЗФ по сравнению с МЗФ при любом значении индекса массы тела, что свидетельствует о ключевой роли инсулинорезистентности в развитии метаболического нездоровья независимо от массы тела. Индекс TyG-OT показал наибольшую способность к распознаванию МНЗФ у молодых женщин.

Учитывая, что МЗФО не следует рассматривать как безопасное состояние для здоровья, у лиц с абдоминальным ожирением и повышенным индексом TyG и его производными необхо-

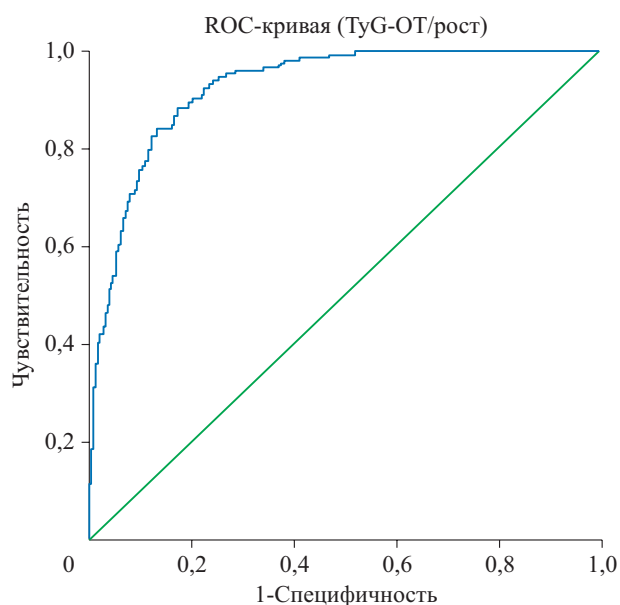


Рис. 4. ROC-кривая: связь метаболически нездорового фенотипа и индексов TyG-OT/рост, TyG₂-OT/рост у женщин 25–44 лет

Fig. 4. ROC curve: association between metabolically unhealthy phenotype and TyG-WC/height, TyG₂-WC/height index in women 25–44 years

димо выявлять и контролировать несколько метаболически связанных факторов риска.

Представленные индексы инсулинорезистентности могут быть полезны для выявления лиц с высоким риском развития ССЗ, а также в качестве возможного ориентира для принятия решений о необходимости фармакологического лечения лиц с МЗФО.

Список литературы / References

1. Алфёрова В.И., Мустафина С.В. Адипоцитокины сквозь призму метаболических фенотипов человека. *Доктор. Ру.* 2023; 22 (4): 18–23. [Alferova V.I., Mustafina S.V. Adipocytokines through the prism of human metabolic phenotypes. *Doctor.Ru.* 2023; 22 (4): 18–23 (in Russ.).] doi: 10.31550/1727-2378-2023-22-4-18-23
2. Kishore B.K. Reverse epidemiology of obesity paradox: Fact or fiction? *Physiol. Rep.* 2024 Nov; 12 (21): e70107. doi: 10.14814/phy2.70107
3. Elías-López D., Vargas-Vázquez A., Mehta R., et al. Metabolic Syndrome Study Group. Natural course of metabolically healthy phenotype and risk of developing cardiometabolic diseases: a three years follow-up study. *BMC Endocr. Disord.* 2021 Apr 28; 21 (1): 85. doi: 10.1186/s12902-021-00754-1
4. Janus A., Szahidewicz-Krupska E., Mazur G., Doroszko A. Insulin Resistance and Endothelial Dysfunction Constitute a Common Therapeutic Target in Cardiometabolic

- Disorders. *Mediators Inflamm.* 2016; 2016: 3634948. doi: 10.1155/2016/3634948.
5. DeFronzo R.A., Tobin J.D., Andres R. Glucose clamp technique: a method for quantifying insulin secretion and resistance. *Am. J. Physiol.* 1979 Sep; 237 (3): E214–223. doi: 10.1152/ajpendo.1979.237.3.E214
 6. Bonora E., Targher G., Alberiche M., Bonadonna R.C., Saggiani F., Zenere M.B., Monauni T., Muggeo M. Homeostasis model assessment closely mirrors the glucose clamp technique in the assessment of insulin sensitivity: studies in subjects with various degrees of glucose tolerance and insulin sensitivity. *Diabetes Care.* 2000 Jan; 23 (1): 57–63. doi: 10.2337/diacare.23.1.57
 7. Руюткина Л.А., Руюткин Д.С., Исхакова И.С. Возможности и варианты суррогатной оценки инсулинорезистентности. *Ожирение и метаболизм.* 2019; 16 (1): 27–32. [Ruyatkina L.A., Ruyatkin D.S., Iskhakova I.S. Opportunities and options for surrogate assessment of insulin resistance. *Obesity and Metabolism.* 2019; 16 (1): 27–32 (in Russ.).] doi: 10.14341/omet10082
 8. Huang R., Cheng Z., Jin X. et al. Usefulness of four surrogate indexes of insulin resistance in middle-aged population in Hefei, China. *Ann. Med.* 2022 Dec; 54 (1): 622–632. doi: 10.1080/07853890.2022.2039956
 9. Guerrero-Romero F., Simental-Mendía L.E., González-Ortiz M., Martínez-Abundis E., Ramos-Zavala M.G., Hernández-González S.O., Jacques-Camarena O., Rodríguez-Morán M. The Product of Triglycerides and Glucose, a Simple Measure of Insulin Sensitivity. Comparison with the Euglycemic-Hyperinsulinemic Clamp. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 2010; 95 (7): 3347–3351. doi: 10.1210/jc.2010-0288
 10. Wang X., Feng C., Zhang B., Jiang G. The association between triglyceride-glucose index and its combination with obesity indicators and cardiovascular disease: NHANES 2003–2018. *Cardiovasc. Diabetol.* 2024 Jan 6; 23 (1): 8. doi: 10.1186/s12933-023-02115-9
 11. Simental-Mendía L.E., Guerrero-Romero F. The correct formula for the triglycerides and glucose index. *Eur. J. Pediatr.* 2020 Jul; 179 (7): 1171. doi: 10.1007/s00431-020-03644-1
 12. Hwang Y., Son Y., Lee K. et al. Association between triglyceride glucose-body mass index and early-onset hypertension in South Korea: a nationwide cross-sectional study (2007–2023). *Endocrine.* 2026 May 4; 91 (1): 168. doi: 10.1007/s12020-026-04639-y
 13. Alberti K.G.M.M., Zimmet P., Shaw J. Metabolic syndrome – a new world-wide definition. A Consensus Statement from the International Diabetes Federation. *Diabet. Med.* 2006; 23 (5): 469–480.
 14. Sun Y., Ji H., Sun W., An X., Lian F. Triglyceride glucose (TyG) index: A promising biomarker for diagnosis and treatment of different diseases. *Eur. J. Intern. Med.* 2025 Jan; 131: 3–14. doi: 10.1016/j.ejim.2024.08.026 Epub 2024 Oct 29, PMID: 39510865
 15. Yu L., Li Y., Ma R., Guo H., Zhang X., Yan Y., He J., Wang X., Niu Q., Guo S. Construction of a Personalized Insulin Resistance Risk Assessment Tool in Xinjiang Kazakhs Based on Lipid- and Obesity-Related Indices. *Risk Manag. Healthc. Policy.* 2022 Apr 13; 15: 631–641. doi: 10.2147/RMHP.S352401
 16. Selvi N.M.K., Nandhini S., Sakthivadivel V., Lokesh S., Srinivasan A.R., Sumathi S. Association of Triglyceride-Glucose Index (TyG index) with HbA1c and Insulin Resistance in Type 2 Diabetes Mellitus. *Maedica (Bucur).* 2021 Sep; 16 (3): 375–381. doi: 10.26574/maedica.2021.16.3.375
 17. Yan H., Zhou Q., Wang Y., Tu Y., Zhao Y., Yu J., Chen K., Hu Y., Zhou Q., Zhang W., Zheng C. Associations between cardiometabolic indices and the risk of diabetic kidney disease in patients with type 2 diabetes. *Cardiovasc. Diabetol.* 2024 Apr 25; 23 (1): 142. doi: 10.1186/s12933-024-02228-9
 18. Tang Q., Guo X.G., Sun Q., Ma J. The pre-ablation triglyceride-glucose index predicts late recurrence of atrial fibrillation after radiofrequency ablation in non-diabetic adults. *BMC Cardiovasc. Disord.* 2022 May 14; 22 (1): 219. doi: 10.1186/s12872-022-02657-y
 19. Xu X., Huang R., Lin Y., Guo Y., Xiong Z., Zhong X., Ye X., Li M., Zhuang X., Liao X. High triglyceride-glucose index in young adulthood is associated with incident cardiovascular disease and mortality in later life: insight from the CARDIA study. *Cardiovasc. Diabetol.* 2022 Aug 12; 21 (1): 155. doi: 10.1186/s12933-022-01593-7
 20. Hoddy K.K., Axelrod C.L., Mey J.T., Hari A., Beyl R.A., Blair J.B., Dantas W.S., Kirwan J.P. Insulin resistance persists despite a metabolically healthy obesity phenotype. *Obesity (Silver Spring).* 2022 Jan; 30 (1): 39–44. doi: 10.1002/oby.23312
 21. Weyman-Vela Y., Guerrero-Romero F., Simental-Mendía L.E. The triglycerides and glucose index is more strongly associated with metabolically healthy obesity phenotype than the lipid and obesity indices. *J. Endocrinol. Invest.* 2024 Apr; 47 (4): 865–871. doi: 10.1007/s40618-023-02201-5
 22. Bell J.A., Hamer M., Batty G.D., Singh-Manoux A., Sabia S., Kivimäki M. Incidence of Metabolic Risk Factors Among Healthy Obese Adults: 20-Year Follow-Up. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2015 Aug 18; 66 (7): 871–873. doi: 10.1016/j.jacc.2015.06.014
 23. Zakerkish M., Hoseinian A., Alipour M., Payami S.P. The Association between Cardio-metabolic and hepatic indices and anthropometric measures with metabolically obesity phenotypes: a cross-sectional study from the Hoveyzeh Cohort Study. *BMC Endocr. Disord.* 2023 May 29; 23 (1): 122. doi: 10.1186/s12902-023-01372-9
 24. Li Y., Gui J., Liu H., Guo L.L., Li J., Lei Y., Li X., Sun L., Yang L., Yuan T., Wang C., Zhang D., Wei H., Li J., Liu M., Hua Y., Zhang L. Predicting metabolic syndrome by obesity- and lipid-related indices in mid-aged and elderly Chinese: a population-based cross-sectional study. *Front. Endocrinol (Lausanne).* 2023 Jul 28; 14: 1201132. doi: 10.3389/fendo.2023.1201132

Информация об авторах:

Алфёрова Влада Игоревна, канд. мед. наук, Новосибирск, Россия, ORCID: 0000-0002-1645-5523, eLibrary SPIN: 1129-0599, e-mail: lady.alfyorova2009@yandex.ru

Мустафина Светлана Владимировна, д-р мед. наук, Новосибирск, Россия, ORCID: 0000-0003-4716-876X, eLibrary SPIN: 8395-1395; e-mail: svetlana3548@gmail.com

Рымар Оксана Дмитриевна, д-р мед. наук, Новосибирск, Россия, ORCID: 0000-0003-4095-0169, eLibrary SPIN: 8345-9365, e-mail: orymar23@gmail.com

Щербакова Лилия Валерьевна, Новосибирск, Россия, ORCID: 0000-0001-9270-9188, eLibrary SPIN: 5849-7040, e-mail: 9584792@mail.ru

Денисова Диана Вахтанговна, д-р мед. наук, Новосибирск, Россия, ORCID: 0000-0002-2470-2133, eLibrary SPIN: 9829-7692, e-mail: denisovadiana@gmail.com

Information about the authors:

Vlada I. Alferova, candidate of medical sciences, Novosibirsk, Russia, ORCID: 0000-0002-1645-5523, eLibrary SPIN: 1129-0599, e-mail: lady.alfyorova2009@yandex.ru

Svetlana V. Mustafina, doctor of medical sciences, Novosibirsk, Russia, ORCID: 0000-0003-4716-876X, eLibrary SPIN: 8395-1395, e-mail: svetlana3548@gmail.com

Oksana D. Rymar, doctor of medical sciences, Novosibirsk, Russia, ORCID: 0000-0003-4095-0169, eLibrary SPIN: 8345-9365, e-mail: orymar23@gmail.com

Lilia V. Shcherbakova, Novosibirsk, Russia, ORCID: 0000-0001-9270-9188, eLibrary SPIN: 5849-7040, e-mail: 9584792@mail.ru

Diana V. Denisova, doctor of medical sciences, Novosibirsk, Russia, ORCID: 0000-0002-2470-2133, eLibrary SPIN: 9829-7692, e-mail: denisovadiana@gmail.com

Статья поступила 30.03.2026

После доработки 15.04.2026

Принята к печати 15.05.2026

Received 30.03.2026

Revision received 15.04.2026

Accepted 15.05.2026

