

ВОССТАНОВИТЕЛЬНАЯ МЕДИЦИНА, СПОРТИВНАЯ МЕДИЦИНА, ЛЕЧЕБНАЯ ФИЗКУЛЬТУРА, КУРОРТОЛОГИЯ И ФИЗИОТЕРАПИЯ, МЕДИКО-СОЦИАЛЬНАЯ РЕАБИЛИТАЦИЯ

УДК 616-008.9

Сверчков В. В., Быков Е. В.

Уральский государственный университет физической культуры

Россия, г. Челябинск

Vadim.sverchkov@yandex.ru

СООТНОШЕНИЕ БЕЗЖИРОВОЙ МАССЫ ТЕЛА К ОБЛАСТИ ВИСЦЕРАЛЬНОЙ ЖИРОВОЙ ТКАНИ И ТЯЖЕСТЬ МЕТАБОЛИЧЕСКОГО СИНДРОМА: КРОСС-СЕКЦИОННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Актуальность. Метаболический синдром представляет собой глобальную проблему здравоохранения, ассоциированную с высоким риском сердечно-сосудистых заболеваний и смертности. Несмотря на известную роль ожирения в развитии МС, данные о влиянии безжировой массы тела на метаболический профиль остаются противоречивыми. Некоторые исследования указывают на протективную роль мышечной ткани, в то время как другие демонстрируют прямую связь безжировой массы тела с резистентности к инсулину. Это обуславливает необходимость поиска новых интегративных показателей композиционного состава тела для оценки тяжести метаболических нарушений. **Методы исследования.** Проведено кросс-секционное исследо-

вание с участием 216 мужчин в возрасте 25–50 лет. Всем участникам выполняли оценку композиционного состава тела (анализатор InBody 720) с определением абсолютной безжировой массы тела и области висцерального жира. Рассчитывалось соотношение $\text{Log}_{10}(\text{БЖМТ}/\text{ОВЖ})$. Тяжесть метаболического синдрома оценивали по z-показателю, включающем показатели обхвата талии, артериального давления, уровня триглицеридов, глюкозы и липопротеидов высокой плотности в плазме натошак. Статистический анализ включал корреляционный анализ Пирсона, однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) с post-hoc тестом Тьюки и построение моделей линейной регрессии.

Результаты исследования. Выявлена статистически значимая отрицательная корреляционная связь между Log_{10} (БЖМТ/ОВЖ) и z-показателем тяжести метаболического синдрома ($r = -0,69$; $p < 0,05$). Регрессионный анализ показал, что увеличение соотношения Log_{10} (БЖМТ/ОВЖ) на 0,01 ассоциировано со снижением показателя тяжести метаболического синдрома на 0,04 балла. При этом абсолютная безжировая масса тела продемонстрировала умеренную положительную корреляцию с тяжестью метаболического синдрома ($r = 0,62$; $p < 0,05$). При сравнении крайних квартилей (Q1 и Q4) выявлено, что снижение показателя Log_{10} (БЖМТ/ОВЖ) сопровождается

статистически значимым ($p < 0,01$) ухудшением всех компонентов метаболического синдрома. **Заключение.** Соотношение безжировой массы тела к области висцерального жира является более чувствительным предиктором тяжести метаболического синдрома, чем изолированная оценка БЖМТ. Полученные данные подчеркивают важность учета качества мышечной ткани и характера распределения жира в контексте кардиометаболического риска, что требует дальнейшего изучения в проспективных исследованиях.

Ключевые слова: *безжировая масса тела, висцеральное ожирение, метаболический синдром, миостеатоз.*

*Sverchkov V. V., Bykov E. V.
Ural State University of Physical Culture,
Russia, Chelyabinsk*

THE RATIO OF FAT-FREE MASS TO VISCERAL FAT AREA AND THE SEVERITY OF METABOLIC SYNDROME: A CROSS-SECTIONAL STUDY

Abstract. Metabolic syndrome is a global health issue associated with an increased risk of cardiovascular disease and mortality. While the role of obesity in metabolic syndrome development is well-established, data on the influence of fat-free mass on the metabolic profile remain contradictory. Some studies suggest a protective role of muscle tissue, while others demonstrate a direct association between fat free mass and insulin resistance. This highlights the need to explore new integrative body composition indices for assessing the severity of metabolic disorders. **Methods.** This cross-sectional study involved 216 men aged 25–50 years. Body composition was assessed using an In-Body 720 analyzer to determine absolute fat-free mass and visceral fat area. The ra-

tio Log_{10} (FFM/VFA) was calculated. Metabolic syndrome severity (MetS z-score) was evaluated using a standardized score incorporating waist circumference, blood pressure, and fasting levels of triglycerides, glucose, and high-density lipoprotein cholesterol. Statistical analysis included Pearson's correlation, one-way ANOVA with Tukey's post-hoc test, and linear regression models. **Results.** A significant negative correlation was found between Log_{10} (FFM/VFA) and the MetS z-score ($r = -0.69$; $p < 0.05$). Regression analysis showed that a 0.01 increase in Log_{10} (FFM/VFA) was associated with a 0.04-point decrease in the MetS z-score. In contrast, absolute FPM demonstrated a moderate positive correlation with MetS severity ($r = 0.62$; $p < 0.05$). Comparison

of the extreme quartiles (Q1 and Q4) revealed that a decrease in $\text{Log}_{10}(\text{FFM}/\text{VFA})$ was accompanied by a statistically significant ($p < 0.01$) worsening of all individual MetS components. **Conclusions.** The ratio of fat-free mass to visceral fat area is a more sensitive predictor of metabolic syndrome severity than the isolated assessment of fat-free mass.

These findings underscore the importance of considering muscle quality and fat distribution in the context of cardiometabolic risk, warranting further investigation in prospective studies.

Keywords: *fat-free mass, visceral obesity, metabolic syndrome, myosteatorsis.*

Введение. Метаболические заболевания, такие как сахарный диабет 2 типа (СД2), метаболический синдром (МС), ожирение представляют собой серьезную угрозу общественному здоровью и продолжают создавать значительную нагрузку на системы здравоохранения во всем мире [1; 2]. Глобальная распространенность критериев МС составляет: 45,1% для абдоминального ожирения (в зависимости от используемых диагностических критериев), 42,6 % – для систолического артериального давления (САД) ≥ 130 мм рт.ст. и/или диастолического артериального давления (ДАД) ≥ 85 мм рт.ст., 40,2 % – для липопротеидов высокой плотности (ЛПВП) $< 1,03$ для мужчин или $< 1,29$ ммоль/л для женщин, 28,9 % – для триглицеридов (ТГ) сыворотки $\geq 1,7$ ммоль/л и 24,5 % – для глюкозы в плазме натощак $\geq 5,6$ ммоль/л [2]. Помимо повышенного риска сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ), критерии МС также ассоциированы с повышенным риском онкологической и общей смертности [3; 4].

Одним из ключевых факторов риска развития метаболических заболеваний является ожирение [5]. Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что накопление жира в абдоминальной области ассоциируется с более выраженными метаболическими нарушениями по сравнению с накоплением подкожного жира [6; 7]. Безжировая масса тела (БЖМТ), напротив, может выполнять протективную функцию в отношении метаболических нарушений, поскольку мышечная ткань, составляющая основную часть БЖМТ, является одной из главных тканей, утилизирующих глюкозу и ТГ. Так, T. Takamura et al. [8] установили, что БЖМТ скорректированная по отношению к массе тела обратно пропорционально коррелировала с резистентностью к инсулину, САД, гликированным гемоглобином, уровнем ТГ и глюкозы в плазме. Аналогично, Y. Shao et al. [9] выявили, что мышечная масса тела обратно пропорциональна связана с резистентностью к инсулину. С другой стороны, J. Lagacé et al. [10] выявили, что как абсолютная, так относительная БЖМТ прямо пропорционально связаны с МС. A. Ghachem et al. [11] также установили, что индекс аппендикулярных мышц прямо пропорционально коррелировал с резистентностью к инсулину. Таким образом, полученные в литературе данные остаются противоречивыми, что подчеркивает актуальность поиска новых прогностических моделей неблагоприятных метаболических состояний, основанных на показателях безжировой и жировой массы тела. Предполагается, что одновременный учет мышечной массы и патогенного (висцерального) жирового депо позволит нивелировать противоречия, связанные с оценкой абсолютной БЖМТ и позволит более корректно диагностировать кардиометаболические риски. К тому же комплексные показатели, учитывающие баланс между мышечной тканью и висцеральным ожирением, изучены недостаточно, особенно в контексте тяжести МС (тМС).

Цель исследования. Изучить корреляцию между соотношением безжировой массы тела к области висцерального жира (БЖМТ/ОВЖ) и z-показателем тМС.

Материалы и методы. Исследование проводилось на базе НИИ олимпийского спорта при Уральском государственном университете физической культуры, сети фитнес-клубов «Территория спорта» г. Челябинск, медицинской клиники «Источник» г. Челябинск в период с сентября 2020 г. по апрель 2022 г. В исследовании приняло участие 216 мужчин в возрасте от 25 до 50 лет. С целью минимизации влияния уровня физической активности на безжировую массу тела, уровень висцерального жира, индекс качества мышц и метаболический профиль из выборки были исключены мужчины, которые в течение последних 6 месяцев регулярно выполняли более 150 минут в неделю аэробных упражнений умеренной/высокой интенсивности и более 1 силовой тренировки в неделю. Исследование проведено в соответствии с рекомендациями STROBE (Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology) для кросс-секционных исследований, согласно чек-листу, включающему 22 пункта [12]. Работа выполнена в соответствии с принципами Хельсинкской декларации, у всех участников было получено письменное информированное согласие. На проведение настоящего исследования получено одобрение локального этического комитета ФБГОУ ВО «УралГУФК», выписка из заседания от 24.09.2019 г. №1.

Критерии включения: здоровые мужчины в возрасте от 25 до 50 лет. Критерии исключения: регулярная физическая активность (более 150 минут аэробных упражнений умеренной/высокой интенсивности и/или более 1 силовой тренировки в неделю) в течение последних 6 месяцев; наличие диагностированных хронических заболеваний (сердечно-сосудистых, онкологических), прием лекарств, влияющих на метаболизм.

У обследуемых мужчин оценивали состав тела и критерии МС (уровень глюкозы, ТГ и ЛПВП в плазме натощак, САД, обхват талии [ОТ]).

Блок-схема проведения исследования представлена на рисунке 1.

Критерии метаболического синдрома. У всех участников проводили забор венозной крови в утренние часы после 8–12-часового периода голодания. В плазме крови оценивали концентрацию уровня глюкозы, ТГ, ЛПВП. Артериальное давление оценивали с утра после 5-минутного отдыха в положении сидя с использованием автоматического тонометра Omron M2 Basic, Япония. Обхват талии (ОТ) измеряли сантиметровой лентой на уровне верхнего края подвздошного гребня.

Оценка тяжести метаболического синдрома. Тяжесть метаболического синдрома (тМС) оценивали по формуле, предложенной DeVoer M. et al. [13]:

$$\text{тМС} = -5,4473 + 0,0125 \times \text{ОТ} - 0,0251 \times \text{ЛПВП} + 0,0047 \times \text{САД} + 0,8244 \times \ln(\text{ТГ}) + 0,0106 \times \text{глюкоза},$$

где ОТ – обхват талии в сантиметрах, ЛПВП – липопротеиды высокой плотности в мг/дл, САД – систолическое артериальное давление в мм рт.ст., $\ln(\text{ТГ})$ – натуральный логарифм триглицеридов плазмы натощак в мг/дл, глюкоза плазмы натощак в мг/дл. Более высокое значение тМС свидетельствует о более неблагоприятном метаболическом профиле.

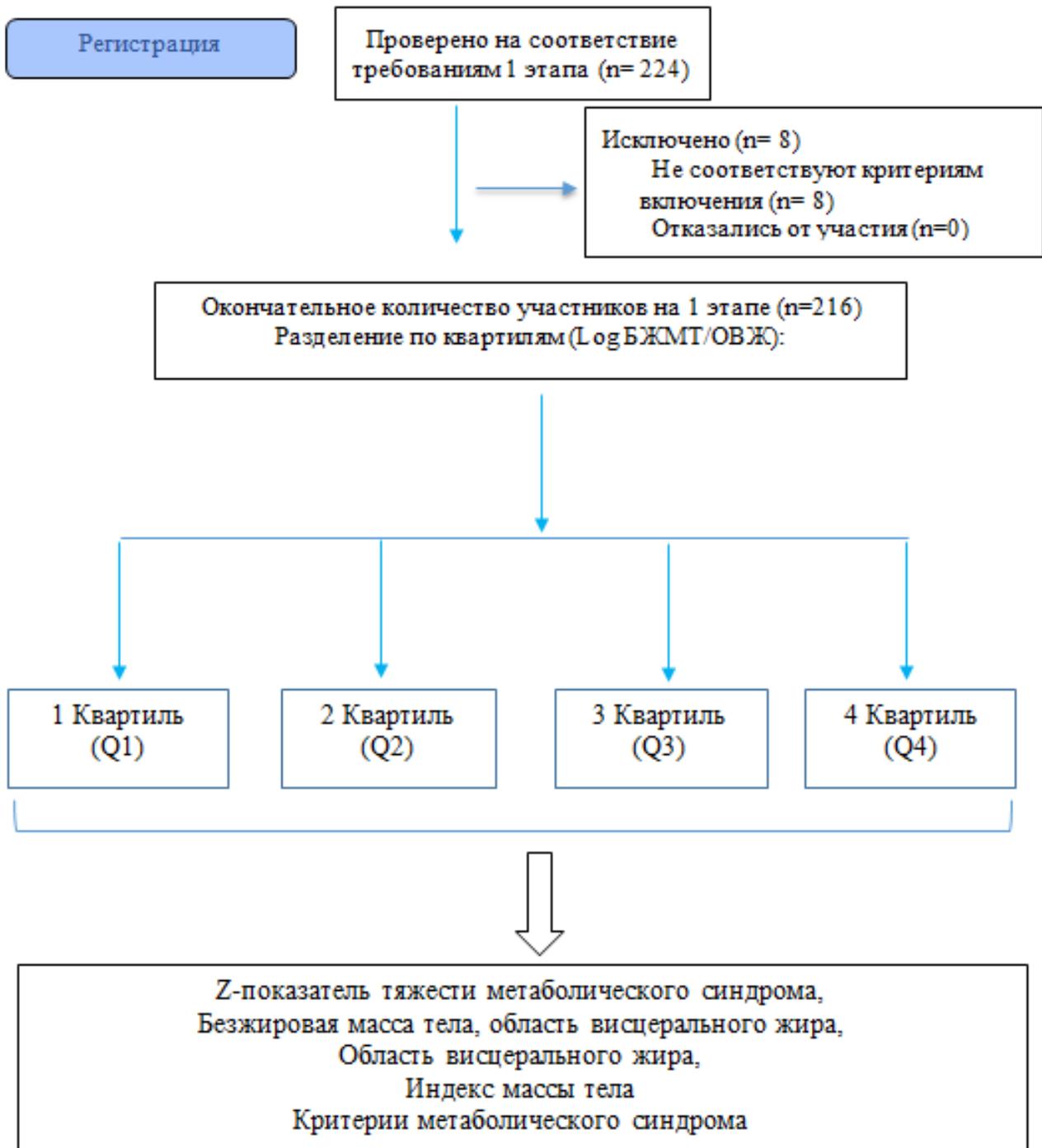


Рисунок 1– Блок-схема проведения исследования

Состав тела. Состав тела оценивали с помощью анализатора In Body 720. Измерения проводились в утренние часы натощак. Перед процедурой испытуемых просили снять верхнюю одежду и металлические предметы. Во время измерения участники стояли босиком на платформе анализатора, удерживая ручные электроды, отведённые в стороны; продолжительность процедуры составляла около одной минуты. За сутки до проведения исследования испытуемым рекомендовалось воздержаться от употребления кофе и алкогольных напитков, а также от выполнения интенсивных физических нагрузок. Для анализа использовались показатели БЖМТ (Fat Free Mass, FFM) и ОВЖ (Visceral Fat Area, VFA). Соотношение БЖМТ к ОВЖ рассчитывали по формуле:

$$\text{Log}_{10} (\text{БЖМТ}/\text{ОВЖ}) = \text{Log}_{10} \frac{\text{БЖМТ (кг)}}{\text{ОВЖ (см}^2\text{)}},$$

где БЖМТ – безжировая масса тела (кг), ОВЖ – область висцерального жира (см²). После расчёта логарифмированного показателя Log_{10} БЖМТ/ОВЖ все участники были разделены на квартили от наибольшего значения показателя (квартиль 1, Q1) к наименьшему значению (квартиль 4, Q4).

Статистическая обработка результатов. Размер выборки определялся априорно (до начала исследования) исходя из возможности обнаружения корреляции средней силы ($r=0,2$) с мощностью 80 % ($\beta = 0,2$) и двусторонним уровнем значимости ($p = 0,05$). На основании этих параметров минимально необходимый размер выборки составил не менее 193 человек. С учетом возможных потерь в ходе исследования (dropouts) было включено 216 участников. Статистический анализ проводили с использованием языка R (версия 4.3.1, R Foundation for Statistical Computing, Вена, Австрия). Нормальность распределения проверяли с помощью критерия Шапиро-Уилка (Shapiro-Wilk test). Для множественных сравнений использовали однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) с апостериорным критерием Тьюки (Tukey HSD). Корреляционный анализ выполняли с использованием коэффициента Пирсона r . Анализ взаимосвязи переменных осуществляли методом простой линейной регрессии. Для построения регрессионной модели использовали уравнение:

$$y = b_0 + b_1x,$$

где y – предсказанное значение зависимой переменной, x – значение независимой переменной, b_0 – свободный член (intercept), точка пересечения линии регрессии с осью ординат (ось y), b_1 – коэффициент наклона линии регрессии, характеризующий силу и направление связи между x и y .

Параметры регрессии оценивали методом наименьших квадратов, минимизируя сумму квадратов отклонений наблюдаемых значений зависимой переменной от предсказанных моделью значений. Для оценки качества аппроксимации полученных моделей использовали коэффициент детерминации (R^2), выражающего долю дисперсии зависимой переменной, объясняемой независимой переменной. Чем ближе значение R^2 к единице, тем точнее построенная модель описывает зависимость исследуемых величин. Для оценки качества модели линейной регрессии и проверки выполнения предпосылок регрессионного анализа был проведен анализ остатков. Для проверки выполнения предпосылок линейной регрессии был проведён анализ остатков. Он включал: визуальную оценку графика остатков (scatter plot), проверку нормальности распределения остатков с использованием Q–Q plot, тестирование на гетероскедастичность и автокорреляцию остатков. Данные процедуры позволили оценить адекватность построенной модели и корректность статистических выводов. Кроме того, для выявления возможных выбросов данных был проведен тест Граббса (Grubbs' test), позволяющий определить, являются ли экстремальные значения выборки статистически значимыми выбросами, что важно для исключения искажающего влияния аномальных наблюдений на результаты регрессионного анализа. Значения переменных представлены в виде $M \pm SD$, где M – среднее арифметическое, SD – стандартное (среднее квадратичное) отклонение. Уровень статистической значимости принимался равным 0,05 и 0,01. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты исследования. Показатели Log_{10} (БЖМТ/ОВЖ), БЖМТ, ОВЖ, тМС, а также критерии МС распределенные по квартилям соотношения Log_{10} (БЖМТ/ОВЖ) представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика участников исследования по квартилям соотношения безжировой массы тела к области висцерального жира ($M \pm SD$)

Параметр	Общий показатель (n=216)	Q1 (n=54)	Q2 (n=54)	Q3 (n=54)	Q4 (n=54)	p-value
Log_{10} (БЖМТ/ОВЖ)	-0,12± 0,06	-0,06± 0,05	-0,10± 0,02	-0,13± 0,03	-0,18± 0,05	0,004*
Безжировая масса тела, кг	69,78± 7,14	63,82± 5,89	68,06± 6,59	71,66± 5,67	75,61± 4,82	0,001*
Область висцерального жира, см ²	93,11± 17,16	74,83± 8,86	85,84± 8,95	96,73± 7,33	115,03± 13,58	0,000*
z-показатель тМС, балл	-0,05± 0,57	-0,49± 0,23	-0,29± 0,19	0,05± 0,26	0,41± 0,27	0,000*
Возраст, лет	35,12± 9,97	34,21± 5,15	35,49± 5,72	34,61± 5,89	36,15± 6,61	0,231
Масса тела, кг	86,06± 10,67	75,42± 6,26	80,29± 5,14	84,92± 6,83	93,16± 7,14	0,000*
Длина тела, см	179,82± 4,56	178,12± 5,19	179,17± 5,83	178,93± 4,84	180,68± 5,12	0,421
Индекс массы тела, кг/м ²	26,63± 3,33	23,87± 1,49	25,21± 1,69	26,11± 2,23	27,92± 1,77	0,000*
Обхват талии, см	94,76± 8,43	85,85± 4,76	90,42± 5,52	94,28± 5,96	98,85± 4,52	0,004*
Систолическое артериальное давление, мм рт.ст.	129,36± 9,37	120,57± 4,64	123,14± 5,24	128,71± 6,21	133,43± 4,82	0,002*
Триглицериды, мг/дл	110,91± 26,59	85,14± 12,39	102,64± 18,77	115,61± 18,14	131,59± 20,79	0,003*
Глюкоза плазмы, мг/дл	98,01± 6,69	92,71± 2,56	96,06± 3,93	99,93± 4,07	102,21± 3,34	0,004*
Липопротеиды высокой плотности, мг/дл	47,21± 8,24	55,43± 3,57	50,47± 4,19	46,77± 5,31	42,71± 4,61	0,006*

Примечание: *p-value – статистические различия показателей между Q1 и Q4 (апостериорный анализ проведен с помощью критерия Тьюки).

Были выявлены статистически значимые различия между Q1 и Q4 по показателям БЖМТ ($p=0,001$), ОВЖ ($p=0,000$), z-показателю тМС ($p=0,000$), массе тела ($p=0,000$), ИМТ ($p=0,000$), ОТ ($p=0,004$), САД ($p=0,002$), ТГ плазмы ($p=0,003$), глюкозы плазмы ($p=0,004$), ЛПВП плазмы ($p=0,006$). Таким образом, по мере снижения показателя $\text{Log}_{10}(\text{БЖМТ}/\text{ОВЖ})$ наблюдалось статистически значимое ухудшение большинства метаболических параметров.

Анализ показал, что среднее значение $\text{Log}_{10}(\text{БЖМТ}/\text{ОВЖ})$ в исследуемой области составило $-0,12 \pm 0,06$, тогда как средний z-показатель тМС был равен $-0,05 \pm 0,57$. У мужчин была выявлена статистически значимая отрицательная корреляция между $\text{Log}_{10}(\text{БЖМТ}/\text{ОВЖ})$ и z-показателем тМС ($r = -0,69$; $p < 0,05$) (рис. 2). Величина коэффициента детерминации ($R^2 = 0,49$) свидетельствует о том, что $\text{Log}_{10}(\text{БЖМТ}/\text{ОВЖ})$ обуславливает около 49 % дисперсии показателя тМС.

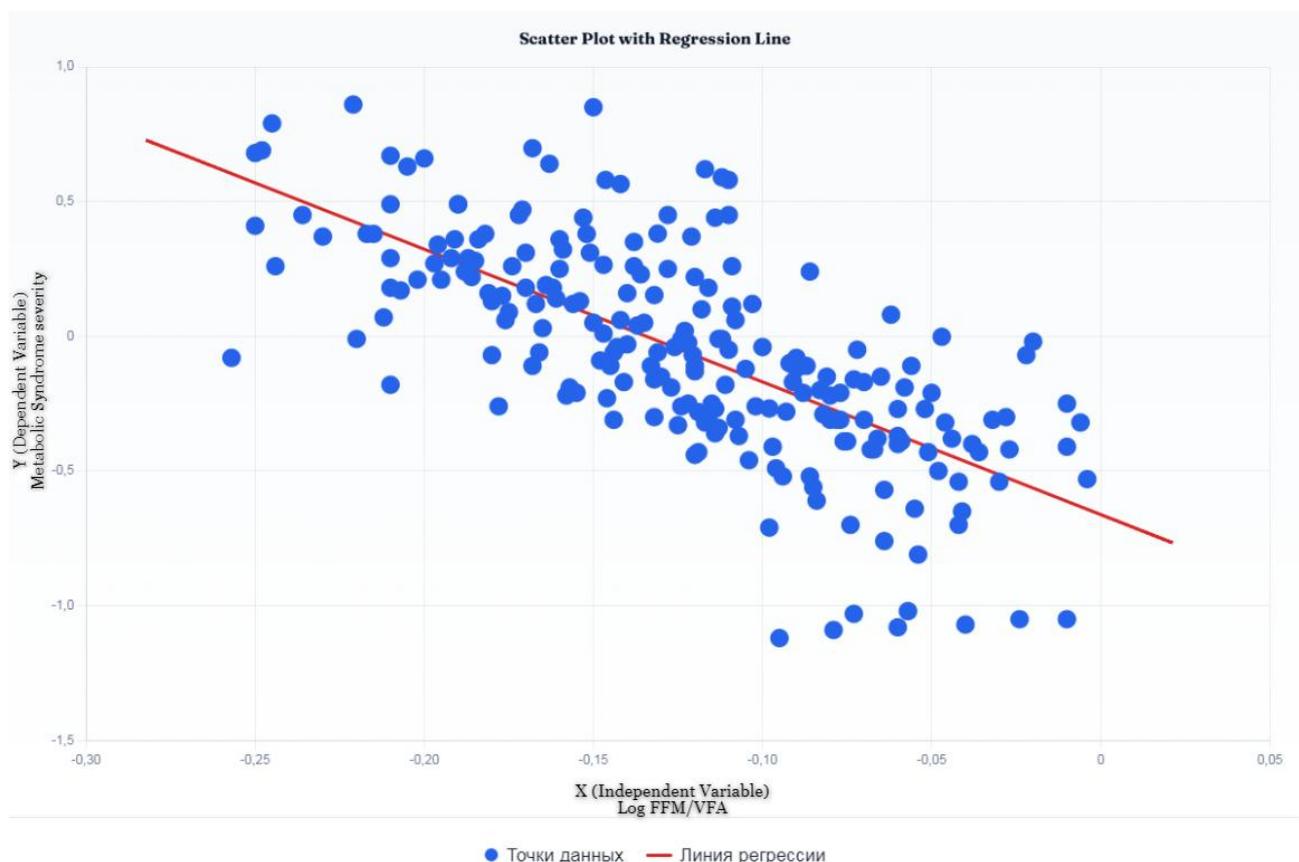


Рисунок 2 – Диаграмма рассеивания с линией регрессии между соотношением $\text{Log}_{10}(\text{БЖМТ}/\text{ОВЖ})$ и тяжестью метаболического синдрома у мужчин

В результате регрессионного анализа было получено уравнение, описывающее взаимосвязь между изучаемыми параметрами: $y = -4,92x - 0,66$, где y – показатель тМС, а x – $\text{Log}_{10}(\text{БЖМТ}/\text{ОВЖ})$. Коэффициент регрессии ($b_1 = -4,92$; $p < 0,05$) свидетельствует о статистически значимой отрицательной связи между переменными. Это означает, что увеличение соотношения $\text{Log}_{10}(\text{БЖМТ}/\text{ОВЖ})$ на 0,01 ассоциировано со снижением показателя тМС приблизительно на 0,04 балла у обследованных мужчин молодого и среднего возраста.

Проверка адекватности построенной модели подтвердила правомерность использования линейной регрессии. Графический анализ остатков (рис. 3) продемонстрировал их случайный характер и отсутствие выраженных систематических отклонений,

что свидетельствует о гомоскедастичности распределения и линейности изучаемой связи. Дополнительно с целью выявления экстремальных значений был проведен тест Граббса, который не выявил статистически значимых выбросов ($p > 0,05$): все наблюдения находились в пределах нормального распределения и были оставлены для дальнейшего анализа. Таким образом, построенная регрессионная модель адекватно описывает взаимосвязь между $\text{Log}_{10}(\text{БЖМТ}/\text{ОВЖ})$ и тМС в данной выборке.

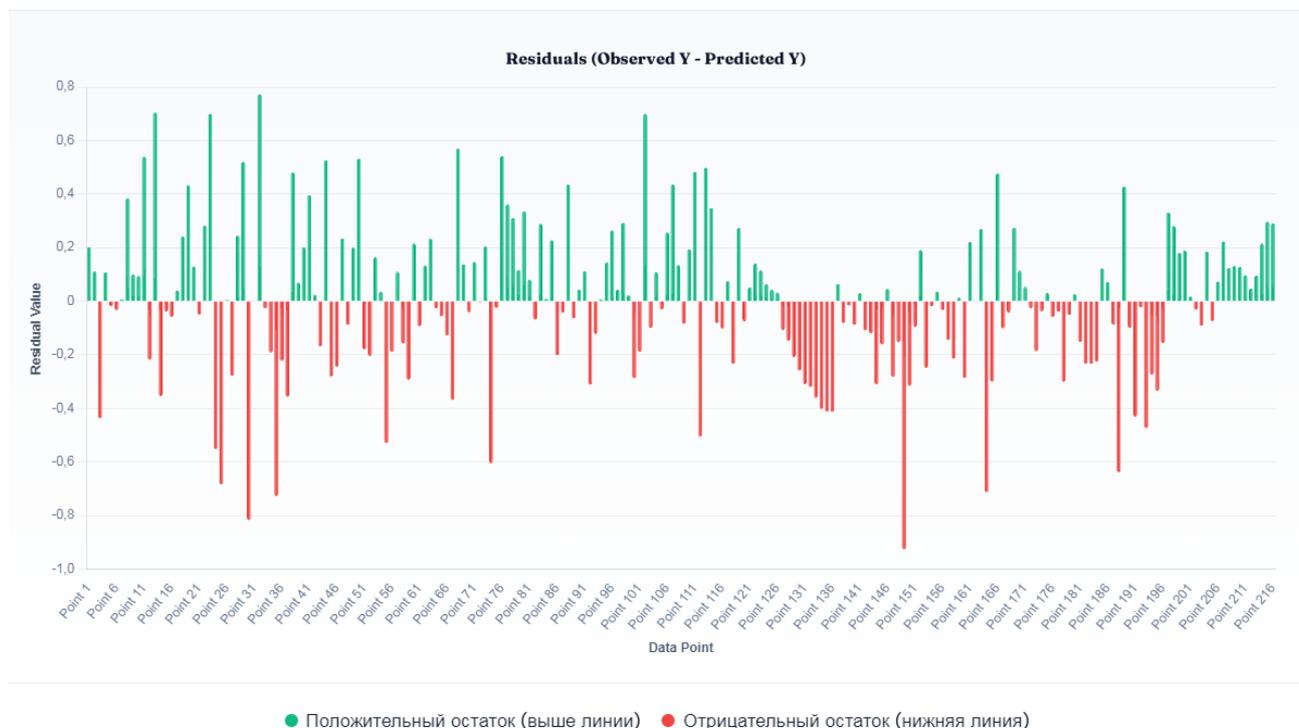


Рисунок 3 – График остатков линейной регрессии тяжести метаболического синдрома относительно Log_{10} (БЖМТ/ОВЖ) у мужчин

В исследуемой группе мужчин среднее значение абсолютной БЖМТ составило $69,78 \pm 7,14$ кг, а средний z-показатель тМС – $-0,05 \pm 0,57$. Корреляционный анализ выявил статистически значимую умеренную прямо пропорциональную корреляцию между данными показателями ($r = 0,62$; $p < 0,05$) (рис. 4). Коэффициент детерминации ($R^2 = 0,39$) свидетельствует о том, что вариабельность БЖМТ обуславливает примерно 39 % изменчивости z-показателя тМС.

Для количественного описания выявленной взаимосвязи была построена модель линейной регрессии, которая имеет следующий вид:

$$y = 0,039x - 2,824,$$

где y – z-показатель тМС, а x – абсолютная БЖМТ (кг). Коэффициент регрессии ($b_1 = 0,039$; $p < 0,05$) указывает на то, что увеличение абсолютной БЖМТ на 1 кг ассоциировано с повышением z-показателя тМС в среднем на 0,039 балла у здоровых мужчин молодого и среднего возраста.

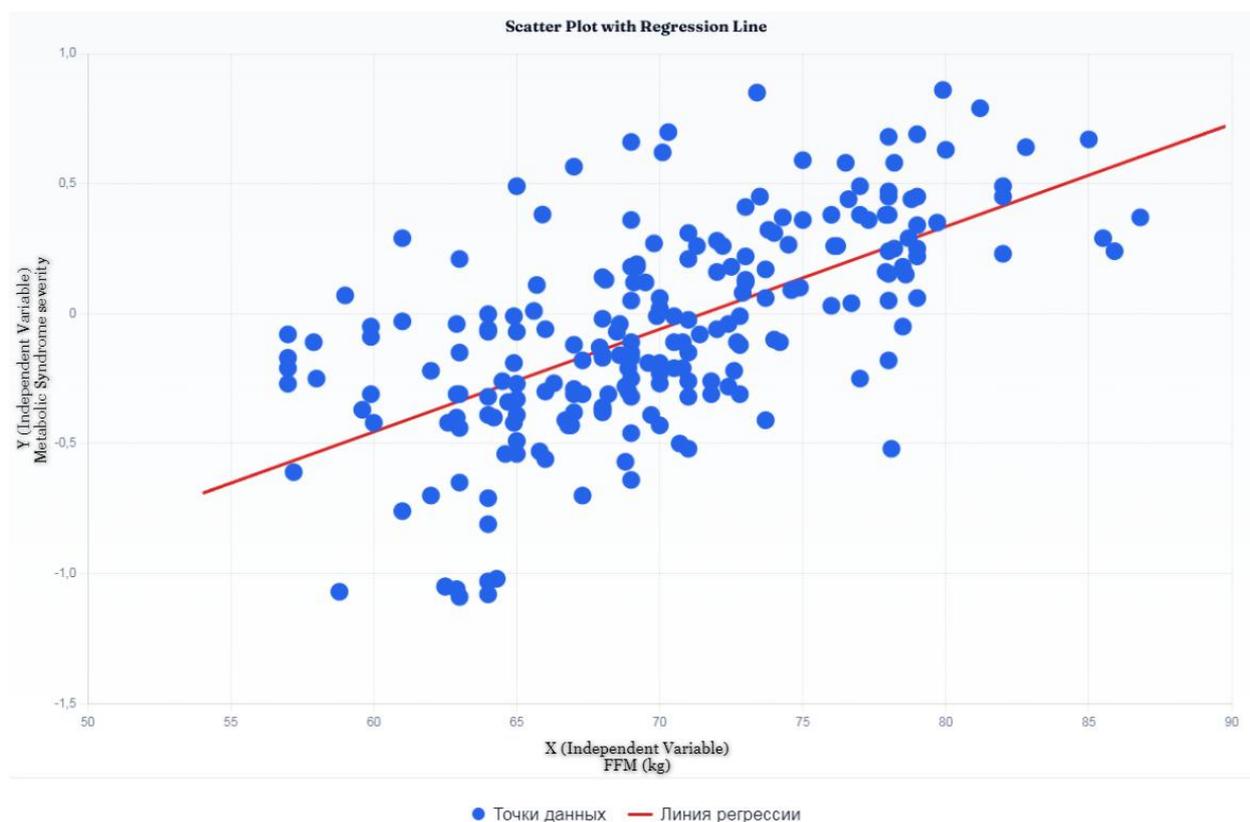
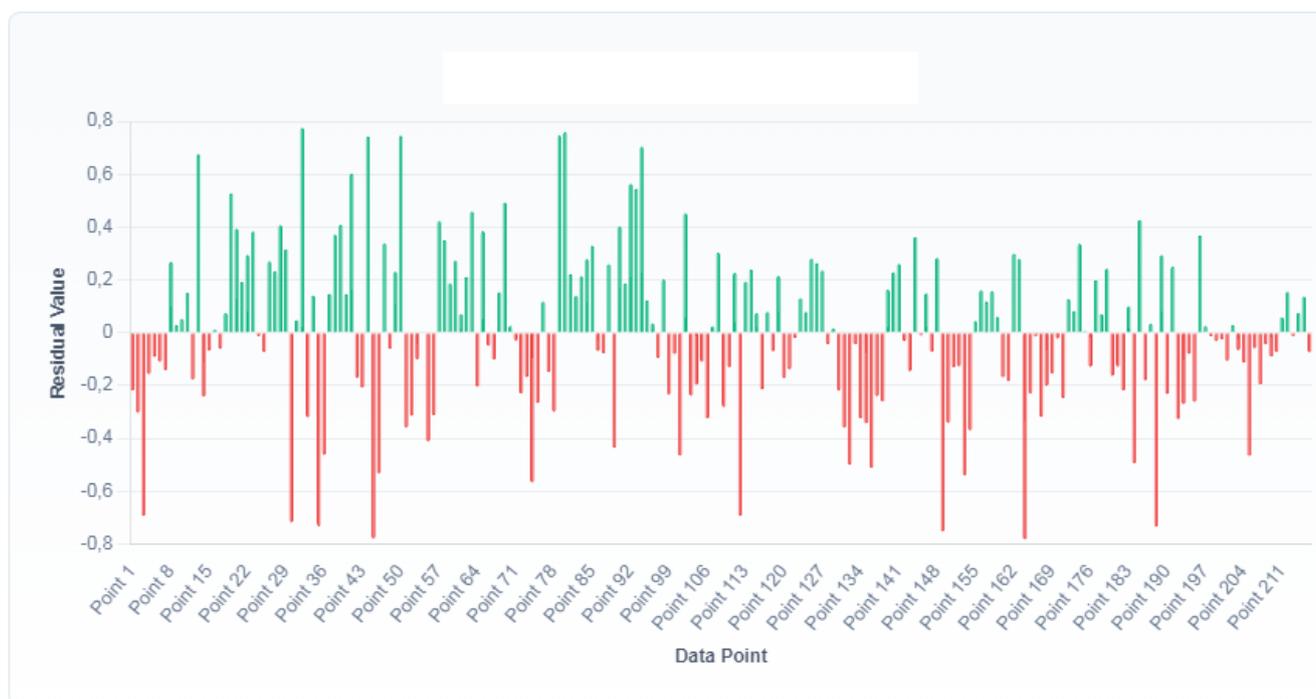


Рисунок 4 – Диаграмма рассеивания с линией регрессии между БЖМТ и тяжестью метаболического синдрома у мужчин

Анализ остатков регрессионной модели (рис. 5) подтвердил ее адекватность: визуальная оценка графиков не выявила признаков гетероскедастичности или автокорреляции, что свидетельствует о равномерном распределении дисперсии остатков на всем диапазоне предсказанных значений. Дополнительная проверка с помощью теста Граббса не идентифицировала статистически значимых выбросов ($p > 0,05$), все наблюдения были оставлены в анализе как часть нормального распределения.

Обсуждение. Основным результатом настоящего исследования является выявление разнонаправленных связей между показателями композиционного состава тела и метаболическим статусом у мужчин. С одной стороны, была обнаружена положительная корреляция между абсолютной БЖМТ и z-показателем тМС, с другой стороны, при анализе отношения БЖМТ к ОВЖ ($\text{Log}_{10}[\text{БЖМТ}/\text{ОВЖ}]$) была выявлена отрицательная корреляция с z-показателем тМС. Последующий регрессионный анализ показал, что увеличение $\text{Log}_{10}(\text{БЖМТ}/\text{ОВЖ})$ на 0,01 ассоциировано со снижением тМС на 0,04 балла.



● Положительный остаток (выше линии) ● Отрицательный остаток (нижняя линия)

Рисунок 5 – График остатков линейной регрессии тяжести метаболического синдрома относительно безжировой массы тела у мужчин

Полученные данные вносят вклад в дискуссию о роли мышечной ткани в метаболическом здоровье. В литературе накоплены противоречивые сведения о характере связи БЖМТ с кардиометаболическими исходами. Результаты исследований с применением Менделевской рандомизации свидетельствуют о протективной роли мышечной массы в отношении СД2 и диабетической нефропатии, а также о ее положительной связи с толерантностью к глюкозе и уровнем ЛПВП [14]. Аналогичные данные были получены в кросс-секционном исследовании NHANES, где абсолютная и относительная БЖМТ отрицательно коррелировали с резистентностью к инсулину [9]. Однако существуют работы, демонстрирующие противоположные тенденции. Так, S. Rehunen et al. [15] выявили положительную корреляцию БЖМТ с уровнем глюкозы плазмы натощак, а J. Lagacé et al. [10] – с наличием МС. Обнаруженное нами противоречие (положительная связь абсолютной БЖМТ с тМС, но отрицательная связь отношения БЖМТ/ОВЖ с тМС) может быть объяснено различиями в качественных характеристиках мышечной ткани, которые не учитываются при оценке только количественных показателей. Ключевую роль здесь играют композиция мышечных волокон и феномен эктопического накопления жира. [16]. Мышечные волокна I типа (окислительные) характеризуются высокой плотностью капилляров и способностью к утилизации жирных кислот, тогда как волокна IIx (гликолитические) имеют низкую плотность митохондрий и в меньшей степени способны к окислению глюкозы и жирных кислот. Эктопическое накопление жира в волокнах IIx на фоне их сниженной окислительной способности играет центральную роль в резистентности к инсулину [17]. Кроме того, снижение мышечной силы при сохранении мышечной массы также может служить маркером метаболически неблагоприятного фенотипа [18]. Таким образом, именно качество скелетных мышц, определяемое соотношением

волокон, степенью миостеатоза и относительной силой мышц, является более важным предиктором метаболического здоровья, чем абсолютная мышечная масса.

Дополнительным фактором, определяющим метаболический риск, является распределение жировой ткани. Установлено, что глутеофemorальное жировое депо ассоциировано с благоприятным метаболическим профилем, тогда как висцеральное ожирение – с повышенным риском СД2, дислипидемией и резистентностью к инсулину [19]. Таким образом, увеличение жира в разных жировых депо обладают различной метаболической активностью [20]. Исследования установили, что глутеофemorальное жировое депо имеет другой секреторный профиль относительно висцерального жирового депо [21; 22]. Висцеральные адипоциты характеризуются более высокой β -адренергической липолитической активностью, что способствует высвобождению свободных жирных кислот в портальный кровоток [23]. Кроме того, висцеральные депо более склонны к гипертрофии, тогда как глутеофemorальные – к гиперплазии, что обеспечивает большую емкость для безопасного хранения липидов [24].

Интеграция этих двух линий доказательств позволяет предположить, что комбинированная оценка мышечной и жировой ткани (в частности, соотношения БЖМТ и висцерального ожирения) является более информативной, чем изолированная оценка БЖМТ. Вероятно, накопление висцерального жира на фоне высокой БЖМТ может указывать на неблагоприятную перестройку мышечного компартмента: преобладание гликолитических волокон, развитие миостеатоза и снижение окислительного потенциала. И напротив, увеличение БЖМТ в сочетании с низким уровнем висцерального жира может отражать улучшение качества мышц и повышение чувствительности к инсулину. Полученное нами уравнение регрессии, демонстрирующее снижение тМС при росте соотношения БЖМТ/ОВЖ, подтверждает гипотезу о том, что для поддержания метаболического здоровья важен не столько прирост мышечной массы сам по себе, сколько ее «качество» в контексте общего распределения тканей в организме.

Ограничения исследования

Настоящее исследование имеет ряд ограничений. Во-первых, относительно небольшой объем выборки ограничивает генерализацию полученных выводов на всю популяцию. Во-вторых, включение в исследование только мужчин (средний возраст $35,12 \pm 9,97$ года) не позволяет экстраполировать результаты на женщин и другие возрастные группы. В-третьих, отсутствие данных о характере питания, уровне физической активности, режиме сна и потреблении алкоголя могло повлиять на конечные результаты ввиду наличия неучтенных конфаундеров. В-четвертых, дизайн исследования (поперечный срез) не позволяет установить причинно-следственные связи между изучаемыми параметрами. В-пятых, мы не проводили прямую оценку качества скелетных мышц, что могло бы дать дополнительное объяснение выявленным взаимосвязям.

Клиническая значимость. Полученные данные подчеркивают, что в клинической практике и эпидемиологических исследованиях недостаточно оценивать только ИМТ или абсолютную мышечную массу. Мониторинг соотношения мышечной мас-

сы и висцерального жира может помочь выделить группу высокого риска среди лиц с нормальной или избыточной массой тела и разработать более персонализированные рекомендации по физическим тренировкам, направленным на набор мышечной массы, но и на улучшение качества мышц и снижение висцерального жира.

Выводы. У мужчин молодого и среднего возраста абсолютная БЖМТ положительно коррелирует с z-показателем тМС, тогда как соотношение $\text{Log}_{10}(\text{БЖМТ}/\text{ОВЖ})$ демонстрирует сильную отрицательную корреляцию с тМС. Комбинированная оценка безжировой массы тела и висцеральной жировой ткани (через отношение БЖМТ/ОВЖ) является более чувствительным предиктором неблагоприятных метаболических изменений, чем изолированная оценка БЖМТ. Полученные данные подчеркивают важность оценки качества мышечной ткани (композиции волокон, миостеатоза) в контексте кардиометаболического риска и обосновывают необходимость дальнейших проспективных исследований для разработки терапевтических стратегий, направленных на коррекцию состава тела.

Список источников

1. GBD 2021 Diabetes Collaborators. Global, regional, and national burden of diabetes from 1990 to 2021, with projections of prevalence to 2050: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021. *Lancet*. 2023;402(10397):203-234. doi: 10.1016/S0140-6736(23)01301-6.
2. Noubiap JJ, Nansseu JR, Lontchi-Yimagou E, et al. Geographic distribution of metabolic syndrome and its components in the general adult population: A meta-analysis of global data from 28 million individuals. *Diabetes Res Clin Pract*. 2022;188:109924. doi: 10.1016/j.diabres.2022.109924.
3. Tomic D, Shaw JE, Magliano DJ. The burden and risks of emerging complications of diabetes mellitus. *Nat Rev Endocrinol*. 2022;18(9):525-539. doi: 10.1038/s41574-022-00690-7.
4. Chen F, Shi Y, Yu M, et al. Joint effect of BMI and metabolic status on mortality among adults: a population-based longitudinal study in United States. *Sci Rep*. 2024;14(1):2775. doi: 10.1038/s41598-024-53229-3.
5. Jiang J, Cai X, Pan Y, et al. Relationship of obesity to adipose tissue insulin resistance. *BMJ Open Diabetes Res Care*. 2020;8(1):e000741. doi: 10.1136/bmjdr-2019-000741.
6. Després JP, Carpentier AC, Tchernof A, Neeland IJ, Poirier P. Management of Obesity in Cardiovascular Practice: JACC Focus Seminar. *J Am Coll Cardiol*. 2021;78(5):513-531. doi: 10.1016/j.jacc.2021.05.035.
7. Wu SE, Chen WL. Not the enemy: potential protective benefits of superficial subcutaneous adipose tissue. *Pol Arch Intern Med*. 2022;132(7-8):16237. doi: 10.20452/pamw.16237.
8. Takamura T, Kita Y, Nakagen M, et al. Weight-adjusted lean body mass and calf circumference are protective against obesity-associated insulin resistance and metabolic abnormalities. *Heliyon*. 2017;3(7):e00347. doi: 10.1016/j.heliyon.2017.e00347.

9. Shao Y, Li L, Zhong H, Wang X, Hua Y, Zhou X. Anticipated correlation between lean body mass to visceral fat mass ratio and insulin resistance: NHANES 2011-2018. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2023;14:1232896. doi: 10.3389/fendo.2023.1232896.
10. Lagacé JC, Marcotte-Chenard A, Paquin J, Tremblay D, Brochu M, Dionne IJ. Increased odds of having the metabolic syndrome with greater fat-free mass: counterintuitive results from the National Health and Nutrition Examination Survey database. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*. 2022;13(1):377-385. doi: 10.1002/jcsm.12856.
11. Ghachem A, Lagacé JC, Brochu M, Dionne IJ. Fat-free mass and glucose homeostasis: is greater fat-free mass an independent predictor of insulin resistance? *Aging Clin Exp Res*. 2019;31(4):447-454. doi: 10.1007/s40520-018-0993-y.
12. von Elm E, Altman D, Egger M, et al. The Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE) statement: guidelines for reporting observational studies. *J Clin Epidemiol*. 2008;61(4):344-349. doi: 10.1016/j.jclinepi.2007.11.008.
13. DeBoer M, Gurka M. Clinical utility of metabolic syndrome severity scores: considerations for practitioners. *Diabetes Metab Syndr Obes*. 2017;10:65-72. doi: 10.2147/DMSO.S101624.
14. Sverchkov VV, Bykov EV. [Influence of appendicular muscle mass on the risk of chronic diseases and mortality: a review of studies with Mendelian randomization]. *Adaptivnaya Fizicheskaya Kultura*. 2024;98(2):17-20. Russian. (In Russ).
15. Rehunen SK, Kautiainen H, Korhonen PE, Eriksson JG. Lean body mass is not beneficial, but may be detrimental for glucose tolerance - Splitting body mass index according to body composition. *Prim Care Diabetes*. 2020;14(6):747-752. doi: 10.1016/j.pcd.2020.05.003.
16. Fisher G, Windham ST, Griffin P, Warren JL, Gower BA, Hunter GR. Associations of human skeletal muscle fiber type and insulin sensitivity, blood lipids, and vascular hemodynamics in a cohort of premenopausal women. *Eur J Appl Physiol*. 2017;117(7):1413-1422. doi: 10.1007/s00421-017-3634-9.
17. Gueugneau M, Coudy-Gandilhon C, Théron L, et al. Skeletal muscle lipid content and oxidative activity in relation to muscle fiber type in aging and metabolic syndrome. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2015;70(5):566-576. doi: 10.1093/gerona/glu086.
18. Poggiogalle E, Lubrano C, Gnessi L, et al. The decline in muscle strength and muscle quality in relation to metabolic derangements in adult women with obesity. *Clin Nutr*. 2019;38(5):2430-2435. doi: 10.1016/j.clnu.2019.01.028.
19. Huang B, DePaolo J, Judy RL, et al. Relationships between body fat distribution and metabolic syndrome traits and outcomes: A mendelian randomization study. *PLoS One*. 2023;18(10):e0293017. doi: 10.1371/journal.pone.0293017.
20. Alser M, Naja K, Elrayess MA. Mechanisms of body fat distribution and gluteal-femoral fat protection against metabolic disorders. *Front Nutr*. 2024;11:1368966. doi: 10.3389/fnut.2024.1368966.
21. Borges MC, Oliveira IO, Freitas DF, et al. Obesity-induced hypoadiponectinaemia: the opposite influences of central and peripheral fat compartments. *Int J Epidemiol*. 2017;46(6):2044-2055. doi: 10.1093/ije/dyx022.
22. Koster A, Stenholm S, Alley DE, et al. Body fat distribution and inflammation among obese older adults with and without metabolic syndrome. *Obesity (Silver Spring)*. 2010;18(12):2354-2361. doi: 10.1038/oby.2010.86.

23. Arner P. Differences in lipolysis between human subcutaneous and omental adipose tissues. *Ann Med.* 1995;27(4):435-438. doi: 10.3109/07853899709002451.

24. Karpe F, Pinnick KE. Biology of upper-body and lower-body adipose tissue--link to whole-body phenotypes. *Nat Rev Endocrinol.* 2015;11(2):90-100. doi: 10.1038/nrendo.2014.185.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Быков Евгений Витальевич – доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры спортивной медицины и физической реабилитации; директор НИИ олимпийского спорта. Уральский государственный университет физической культуры. Челябинск, Россия. E-mail: bev58@yandex.ru

Сверчков Вадим Владимирович – мл. научный сотрудник, НИИ олимпийского спорта, Уральского государственного университета физической культуры (454080, Россия, г. Челябинск, ул. Труда, 168). E-mail: vadim.sverchkov@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Evgenii V. Bykov – Doctor of Medical Sciences, Professor, Professor of the Department of Sports Medicine and Physical Rehabilitation. Director of the Olympic Sports Research Institute. Ural State University of Physical Culture. Chelyabinsk, Russia. E-mail: bev58@yandex.ru

Vadim V. Sverchkov – Junior Researcher, Research Institute of Olympic Sports, Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, e-mail: vadim.sverchkov@yandex.ru