

А.А. Тарабрина, Л.М. Огородова, О.С. Фёдорова

Сибирский государственный медицинский университет, Томск, Российская Федерация

Висцеральное ожирение: терминология, измерение и связь с воспалением

Контактная информация:

Тарабрина Анна Александровна, аспирант кафедры факультетской педиатрии с курсом детских болезней лечебного факультета Сибирского государственного медицинского университета

Адрес: 634050, Томск, ул. Московский тракт, 2, тел.: +7 (923) 449-72-80, e-mail: Aa.tarabrina@mail.ru

Статья поступила: 09.02.2022, принята к печати: 26.08.2022

Распространенность детского ожирения в мире значительна и является большой проблемой ввиду высокого риска развития хронических неинфекционных заболеваний. В статье представлен анализ патогенетической роли висцерального ожирения, приведено описание современных методов измерения висцеральной жировой ткани, обсуждаются вопросы терминологии по теме ожирения. Суммированы современные данные о воспалении, индуцированном избыточной висцеральной жировой тканью, и роли инфламмосом в этом процессе. Полученные сведения необходимы для разработки инструментов профилактики неблагоприятных последствий ожирения у детей.

Ключевые слова: висцеральное ожирение, воспаление, висцеральная жировая ткань, инфламмосома

Для цитирования: Тарабрина А.А., Огородова Л.М., Фёдорова О.С. Висцеральное ожирение: терминология, измерение и связь с воспалением. *Вопросы современной педиатрии*. 2022;21(4):293–297. doi: <https://doi.org/10.15690/vsp.v21i4.2433>

293

ВВЕДЕНИЕ

Детское ожирение является серьезной проблемой общественного здравоохранения во всем мире, поскольку оно связано с высоким риском возникновения в старшем возрасте хронических неинфекционных заболеваний (артериальная гипертензия, сахарный диабет 2-го типа, бронхиальная астма), а также патологических синдромов (инсулинорезистентность, метаболический синдром, синдром поликистозных яичников, синдром обструктивного апноэ во сне) [1–3]. Известно, например, что в 2015 г. высокий индекс массы тела (ИМТ) стал причиной 4 млн смертей во всем мире, почти 40% из которых произошли среди людей, не страдающих ожирением [4].

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), в 2016 г. более 1,9 млрд взрослых старше 18 лет имели избыточную массу тела, из них свыше 650 млн страдали ожирением [5]. Среди детей в странах

европейского региона до 30 млн имеют избыточную массу тела, 15 млн — ожирение [6]. При этом одной из самых негативных тенденций является увеличение количества детей дошкольного возраста с избыточной массой тела [7]. По оценке ВОЗ, существующие тенденции могут привести к ожирению у 70 млн детей в возрасте до 5 лет уже к 2025 г. [5]. Исследование Global Burden of Disease, проведенное в период с 1980 по 2015 г., включавшее 67,8 млн человек по всему миру, подтвердило, что распространенность ожирения удвоилась за указанный период более чем в 70 странах и постоянно растет в большинстве стран мира [4]. Хотя распространенность ожирения среди детей ниже, чем среди взрослых, темпы роста детского ожирения во многих странах выше, чем во взрослой популяции [5].

В 2007 г. Европейское региональное бюро ВОЗ объявило инициативу по эпидемиологическому надзору

Anna A. Tarabrina, Lyudmila M. Ogorodova, Olga S. Fedorova

Siberian State Medical University, Tomsk, Russian Federation

Visceral Obesity: Terminology, Measurement, and Its Correlation with Inflammation

The prevalence of childhood obesity in the world is significant and it is topical issue due to the high risk of chronic non-communicable diseases development. This article presents the analysis of pathogenetic role of visceral obesity, describes modern methods for measuring visceral adipose tissue, discusses major terminology on obesity. The current data on inflammation induced by excess of visceral adipose tissue and inflammasome's role in this process are summed up. All the findings are crucial for the development of tools for prevention any obesity associated adverse effects in children.

Keywords: visceral obesity, inflammation, visceral adipose tissue, inflammasome

For citation: Tarabrina Anna A., Ogorodova Lyudmila M., Fedorova Olga S. Visceral Obesity: Terminology, Measurement, and Its Correlation with Inflammation. *Voprosy sovremennoi pediatrii — Current Pediatrics*. 2022;21(4):293–297. (In Russ). doi: <https://doi.org/10.15690/vsp.v21i4.2433>

за детским ожирением (Childhood Obesity Surveillance Initiative; COSI) с целью определения причин избыточной массы тела, а также разработки и внедрения норм питания и физической активности для детей школьного возраста. В рамках проекта было обследовано около 250 тыс. детей младшего (7–9 лет) школьного возраста из 36 стран европейского региона. В отчете инициативы от 2021 г. показано, что распространенность избыточной массы тела составляет около 27% среди девочек и около 29% — среди мальчиков, ожирения — около 9 и 13% соответственно. Отмечены также значительные различия распространенности избыточной массы тела и ожирения между странами: максимальные значения показателей зарегистрированы в странах Средиземноморья, самые низкие — в странах Центральной Азии [8].

Одномоментное ретроспективное исследование, проведенное в девяти федеральных округах России среди 1911 детей в возрасте 11 и 15 лет с 2016 по 2018 г., показало связь между уровнями массы тела и показателями систолического и диастолического давления, при этом самое большое значение корреляции определялось у детей в возрасте 11 лет [9].

Исследование, проведенное в восьми федеральных округах России в 2017 г. среди более 2 тыс. детей, показало, что частота ожирения у мальчиков в возрасте 11 и 15 лет составила 18,6 и 10%, а избытка массы тела — 15,4, и 11,5%. Среди девочек 11 и 15 лет ожирение было установлено в 9,2 и 3,6%, избыточная масса — в 14,3 и 10,5% [10].

Среди проблем, связанных с ожирением, особый интерес вызывает тема так называемых «худых толстых» пациентов — лиц с избыточным объемом жировой ткани в области внутренних органов (висцеральная жировая ткань; ВЖТ) при нормальном ИМТ [11]. Подобный фенотип описан также и у детей [12]. Популяционное исследование, проведенное в Нидерландах, подтвердило, что, так же как и у взрослых, доля жировой массы и показатели массы брюшного жира (соотношение андроидного/геноидного жира, площадь предбрюшинной жировой массы длиной 2 см) у детей школьного возраста связаны с факторами риска сердечно-сосудистых заболеваний (гипертония, гиперхолестеринемия, кластеризация факторов риска) независимо от ИМТ [13]. В связи с этим висцеральное ожирение представляет исследовательский интерес, поскольку «худые толстые» пациенты не попадают в поле зрения врачей клинических специальностей, а ведь именно висцеральный жир и связанное с ним воспаление рассматриваются как ключевой механизм развития хронических неинфекционных заболеваний.

ТЕРМИНОЛОГИЯ

В настоящее время используются разные термины для описания избыточного накопления жировой ткани в организме. В клинической практике, как правило, используют термины «ожирение» и «избыточная масса тела» [1]. Для разграничения этих состояний применяются перцентильные таблицы или величины стандартного отклонения ИМТ (standard deviation score; SDS), учитывающие рост, массу тела, пол и возраст ребенка [1]. С учетом рекомендаций ВОЗ [5] избыточная масса тела может быть диагностирована, если ИМТ в соответствующем возрасте превышает медианное значение для популяции на величину от одного до двух стандартных отклонений, а ожирение — более чем на два стандартных отклонения. «Ожирение» является самостоятельным диагнозом и включено в международную классификацию болезней десятого пересмотра (МКБ-10).

Жировая ткань представляет собой разновидность соединительной ткани, основу которой на клеточном уровне составляют адипоциты, на молекулярном — липиды [2]. Согласно анатомической локализации, жировая ткань делится на подкожную и висцеральную [14]. К ВЖТ относят сальниковую, мезентериальную, а также экстраперитонеальную жировую ткань, т.е. расположенную в абдоминальной области. Анатомически и функционально ВЖТ связана с печенью через портальную вену. В сравнении с подкожной жировой клетчаткой в ВЖТ выше доля крупных адипоцитов, степень васкуляризации и иннервации, концентрация провоспалительных цитокинов и иммунных клеток и вместе с тем ниже способность преадипоцитов к дифференцировке [14]. Интерес к ВЖТ обусловлен ее связью с риском развития инсулинорезистентности, нарушением углеводного и липидного обменов, изменением цитокинового профиля в сторону Th1, активацией фибринолиза, дисфункцией эндотелия, формированием атеросклероза сосудов и артериальной гипертензии [15].

Висцеральным ожирением считают избыток ВЖТ, оцениваемый на основании превышения референсных показателей, измеренных инструментальными методами [12, 14, 16]. При определении групп пациентов с висцеральным ожирением в большинстве исследований используют показатель площади ВЖТ [16, 17]. У взрослых критерием висцерального ожирения является площадь ВЖТ более 130 см² [18], хотя в ряде исследований использовали и более низкие значения, но всегда более 100 см² [19, 20]. Показатель площади ВЖТ часто применяют и в педиатрической практике [12]. В работе Д.А. Подчиной для диагностики висцерального ожирения предлагают использовать значения показателя для девочек в возрасте до 10 лет 35,9 см², с 10 лет — 67,5 см², для мальчиков — 37,3 и 45,9 см² соответственно [21, 22]. В настоящее время термин «висцеральное ожирение» используется только в исследованиях и не включен в МКБ-10.

ИЗМЕРЕНИЕ ВИСЦЕРАЛЬНОЙ ЖИРОВОЙ ТКАНИ

Для оценки состава тела используются как простые косвенные показатели, например отношение размера окружности талии к окружности бедер, так и сложные — с измерением количественных характеристик жировой ткани, например методами трехмерной визуализации. Лишь некоторые методы применимы для измерения количества ВЖТ у детей [12, 16].

Эталонными методами являются компьютерная (КТ) и магнитно-резонансная томография (МРТ) [12, 17, 23]. Оба позволяют измерить площадь ВЖТ, определить общий объем жировой ткани и объемы ее различных депо путем многоуровневого сканирования [17, 12, 24]. Применение КТ в детской практике ограничено ввиду ионизирующего излучения [17], в связи с чем предпочтительной является процедура МРТ, которая к тому же осуществляется при свободном дыхании [12, 25]. Однако МРТ является дорогостоящим методом, чем обусловлена его низкая доступность [26].

Двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия (ДРА) позволяет получить достаточно точную информацию о массе ВЖТ либо ее объеме [12]. Так, A.S. Cheung и соавт. показали, что масса ВЖТ по данным ДРА коррелирует с объемом ВЖТ, измеренным с помощью МРТ ($r = 0,902$; $p < 0,0001$), и площадью ВЖТ, измеренной с помощью КТ ($r = 0,83$; $p < 0,0001$) [17, 23, 27]. Исследования, посвященные применению данного метода в педиатрической практике, немногочисленны, а качество их невы-

соко, поэтому достоверных данных по его использованию у детей нет [12]. Диагностические возможности ДРА ограничены рядом недостатков метода: отсутствием функции 3D-моделирования и возможности измерения доли жира во внутренних органах (печень, мышцы), а также наличием ионизирующего излучения (1 мкЗв) [12].

Ультразвуковое исследование (УЗИ), широко распространенное в клинической практике, больше применимо для оценки подкожной жировой ткани, а не ВЖТ. Так, A. Bazzocchi и соавт. продемонстрировали, что толщина подкожного жира по данным УЗИ коррелирует с площадью подкожной клетчатки по данным МРТ и КТ [28].

В настоящее время наиболее технически простым и одновременно достоверным является биоэлектрический импедансный анализ (БИА) [29]. БИА позволяет измерить жировую ткань в области внутренних органов и оценить ее площадь [30, 31]. Н. Zamrazilova и соавт. обнаружили корреляцию между площадью ВЖТ, измеренной с помощью БИА, и объемом висцерального жира по данным МРТ у детей ($r = 0,791$; $p < 0,001$) [32]. Учитывая результаты этого исследования, можно считать, что БИА характеризуется приемлемой точностью, удобством автоматической обработки данных, а также портативностью диагностической аппаратуры. Дополнительным преимуществом является возможность выполнения процедуры при свободном дыхании. В связи с этим БИА используется в педиатрии при проведении клинических исследований [33, 34].

ВИСЦЕРАЛЬНАЯ ЖИРОВАЯ ТКАНЬ И ВОСПАЛЕНИЕ

Общеизвестно, что ожирение связано с высоким риском возникновения ряда хронических неинфекционных заболеваний и патологических синдромов [1–3]. Новые данные о метаболических процессах и иммунных механизмах позволили сформулировать гипотезу о важной роли избытка ВЖТ в патогенезе этих заболеваний и синдромов, которая пока не подтверждена результатами крупных эпидемиологических исследований [35–37]. Между тем доступны результаты отдельных исследований о воспалении, связанном с висцеральным ожирением, в том числе и у детей [37–39].

Установлено, что в условиях положительного энергетического баланса и истощения емкости подкожной жировой ткани накопление триглицеридов осуществляется в ВЖТ [35]. Данное депо не обладает большой емкостью, что приводит к гипертрофии адипоцитов ВЖТ, их гибели и, как следствие, дифференцировке мигрировавших в ВЖТ моноцитов в макрофаги М1 [40, 41]. Результаты ряда работ подтверждают участие этих клеток в развитии воспаления посредством синтезируемых ими цитокинов — интерлейкинов (IL) 6, 1 β , фактора некроза опухоли альфа (TNF- α), моноцитарного хемотаксического белка (MCP-1) и рецептора β хемокинов (CCR2), молекул клеточной адгезии ICAM, VCAM, P- и E-селектинов [42–44]. В исследовании R. Mijkis и соавт., проведенном с участием мальчиков в возрасте от 2 до 16 лет с избыточной жировой тканью и ожирением, показано, что количество макрофагов было выше в ВЖТ, нежели в подкожной жировой клетчатке [45].

Цитокины IL-6 и TNF- α , синтезируемые макрофагами, играют важную роль в развитии инсулинорезистентности [40, 42]. Способствуя высвобождению из адипоцитов свободных жирных кислот, они также опосредуют синтез цитокинов, хемокинов, церамидов, сфингозин-1-фосфата (S1P), что влечет за собой нарушение передачи сигналов инсулина к клеткам [41, 46, 47].

Синтез IL-1 β , одного из ключевых провоспалительных цитокинов, осуществляется в результате активации митохондриального олигомерного комплекса — инфламмасомы NLRP3 — в макрофагах [48]. Сборке инфламмасомы способствуют цитокины (например, TNF- α), насыщенные жирные кислоты, церамиды, липополисахариды, глюкоза [48, 49]. Исследования с участием взрослых продемонстрировали, что активность инфламмасомы NLRP3 в клетках жировой ткани ассоциирована с ожирением и его метаболическими осложнениями, а лечение с использованием антител к IL-1 β позволяет повысить контроль гликемии у пациентов с диабетом 2-го типа [49]. Роль инфламмасомы при воспалении у детей с висцеральным ожирением остается неизученной.

Воспаление, индуцированное ВЖТ, способствует онкогенезу и прогрессированию злокачественных новообразований [50]. Отдельные исследования указывают на важную роль повышения секреции IL-1, IL-6 и TNF- α в связи с риском развития и неблагоприятным исходом злокачественных новообразований (рак молочной железы и др.) [50–52]. TNF- α участвует во всех стадиях онкогенеза, включая клеточную пролиферацию, трансформацию, ангиогенез, инвазию и метастазирование раковых клеток [50, 51]. Этот цитокин также стимулирует образование активных форм кислорода, что потенциально может вызвать патологические изменения ДНК в близлежащих клетках [50, 51].

Наряду с макрофагами в реализации системного воспаления и, как следствие, в развитии хронических неинфекционных заболеваний задействованы и другие клеточные популяции. В работе H.S. Schipper и соавт. показано увеличение в крови количества моноцитов CD14⁺⁺, активация которых ассоциирована с высоким риском развития атеросклероза у взрослых и у детей с ожирением [39].

Участие провоспалительных субпопуляций лимфоцитов, таких как Treg и Th17, продемонстрировано в нескольких исследованиях. Установлено, что их дисбаланс в сторону Th17 ассоциирован не только с развитием системного воспаления, типичного для ожирения, но и таких его последствий, как инсулинорезистентность, сахарный диабет 2-го типа, повышение артериального давления, атеросклероз, неалкогольная жировая болезнь печени [53–55]. IL-17, секретируемый Th17, относится к провоспалительным цитокинам, способным стимулировать синтез IL-6, TNF- α , гранулоцитарно-макрофагального колониестимулирующего фактора (ГМ-КСФ) [56].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Доступные научные данные подтверждают, что ВЖТ способствует развитию системного воспаления не только у взрослых, но и у детей. Исследования, проведенные в детской популяции, немногочисленны. В связи с этим остается открытым вопрос, в каком возрасте преимущественно формируется избыток ВЖТ, с помощью каких методов исследования можно обеспечить раннюю диагностику этого состояния и какой возраст ребенка соответствует «окну возможностей» для начала профилактики развития хронических неинфекционных заболеваний в будущем.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Не указан.

FINANCING SOURCE

Not specified.

РАСКРЫТИЕ ИНТЕРЕСОВ

Авторы статьи подтвердили отсутствие конфликта интересов, о котором необходимо сообщить.

DISCLOSURE OF INTEREST

Not declared.

ORCID

А.А. Тарабрина

<http://orcid.org/0000-0003-1945-3600>

Л.М. Огородова

<http://orcid.org/0000-0002-2962-1076>

О.С. Фёдорова

<http://orcid.org/0000-0002-7130-9609>

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Васюкова О.В. Федеральные клинические рекомендации по диагностике и лечению ожирения у детей и подростков. — М.: Российская ассоциация эндокринологов; 2013. — С. 5–8. [Vasyukova OV. *Federal'nye klinicheskie rekomendatsii po diagnostike i lecheniyu ozhireniya u detei i podrostkov*. Moscow: Russian Association of Endocrinologists; 2013. pp. 5–8. (In Russ).]
2. Suliga E. Visceral adipose tissue in children and adolescents: A review. *Nutr Res Rev*. 2009;22(2):137–147. doi: <https://doi.org/10.1017/S0954422409990096>
3. Gaines J, Vgontzas AN, Fernandez-Mendoza J, et al. Increased inflammation from childhood to adolescence predicts sleep apnea in boys: A preliminary study. *Brain Behav Immun*. 2017;64:259–265. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2017.04.011>
4. Afshin A, Forouzanfar MH, Reitsma MB, et al. Health Effects of Overweight and Obesity in 195 Countries over 25 Years. *N Engl J Med*. 2017;377(1):13–27. doi: <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1614362>
5. Ожирение и избыточный вес // Информационный бюллетень ВОЗ. — 09 июня 2021. [Obesity and overweight. In: *WHO Fact sheets*. 09 June 2021. (In Russ).] Доступно по: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/ru>. Ссылка активна на 12.08.2022.
6. Mladovsky P, Allin S, Masseria C, et al. *Health in the European Union. Trends and analysis*. World Health Organization; 2009. 164 p.
7. Ожирение у детей: клинические рекомендации. — Российская ассоциация эндокринологов; 2021. — С. 11–12. [Ozhireniye u detei: Clinical guidelines. Russian Association of Endocrinologists; 2021. pp. 11–12. (In Russ).]
8. WHO European Childhood Obesity Surveillance Initiative (COSI): report on the fourth round of data collection, 2015–2017. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2021.
9. Елецкая К.А., Намазова-Баранова Л.С., Кайтукова Е.В. и др. Связь массы тела и артериального давления у детей в возрасте 11 и 15 лет: ретроспективное одномоментное исследование // *Педиатрическая фармакология*. — 2019. — Т. 16. — № 4. — С. 211–215. — doi: <https://doi.org/10.15690/pf.v16i4.2050> [Eletsckaya KA, Namazova-Baranova LS, Kaytukova EV, et al. The Correlation Between Body Weight and Arterial Blood Pressure in 11 and 15 Years Old Children: Retrospective Cross-Sectional Study. *Pediatric pharmacology*. 2019;16(4):211–215. (In Russ). doi: <https://doi.org/10.15690/pf.v16i4.2050>]
10. Намазова-Баранова Л.С., Елецкая К.А., Кайтукова Е.В. и др. Оценка физического развития детей среднего и старшего школьного возраста: анализ результатов одномоментного исследования // *Педиатрическая фармакология*. — 2018. — Т. 15. — № 4. — С. 333–342. — doi: <https://doi.org/10.15690/pf.v15i4.1948> [Namazova-Baranova LS, Yeletsckaya KA, Kaytukova EV, et al. Evaluation of the Physical Development of Children of Secondary School Age: an Analysis of the Results of a Cross-Sectional Study. *Pediatric pharmacology*. 2018;15(4):333–342. (In Russ). doi: <https://doi.org/10.15690/pf.v15i4.1948>]
11. Xia L, Dong F, Gong H, et al. Association between Indices of Body Composition and Abnormal Metabolic Phenotype in Normal-Weight Chinese Adults. *Int J Environ Res Public Health*. 2017;14(4):391. doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph14040391>
12. Simoni P, Guglielmi R, Aparisi Gómez MP. Imaging of body composition in children. *Quant Imaging Med Surg*. 2020;10(8):1661–1671. doi: <https://doi.org/10.21037/qims.2020.04.06>
13. Gishti O, Gaillard R, Durmus B, et al. BMI, total and abdominal fat distribution, and cardiovascular risk factors in school-age children. *Pediatr Res*. 2015;77(5):710–718. doi: <https://doi.org/10.1038/pr.2015.29>
14. Tchernof A, Després JR. Pathophysiology of human visceral obesity: an update. *Physiol Rev*. 2013;93(1):359–404. doi: <https://doi.org/10.1152/physrev.00033.2011>
15. Бородкина Д.А., Груздева О.В., Квиткова Л.В., Барбараш О.Л. Можно ли назвать висцеральное ожирение ключевым фактором парадокса ожирения? // *Проблемы Эндокринологии*. — 2016. — Т. 62. — № 6. — С. 3–39. — doi: <https://doi.org/10.14341/probl201662633-39> [Borodkina DA, Gruzdeva OV, Kvitkova LV, Barbarash OL. Is visceral obesity the cause of obesity paradox? *Problems of Endocrinology*. 2016;62(6):33-39. (In Russ). doi: <https://doi.org/10.14341/probl201662633-39>]
16. Borga M, West J, Bell JD, et al. Advanced body composition assessment: From body mass index to body composition profiling. *J Investig Med*. 2018;66(5):1–9. doi: <https://doi.org/10.1136/jim-2018-000722>
17. Fang H, Berg E, Cheng X, et al. How to best assess abdominal obesity. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2018;21(5):360–365. doi: <https://doi.org/10.1097/MCO.0000000000000485>
18. Брель Н.К., Коков А.Н., Груздева О.В. Достоинства и ограничения различных методов диагностики висцерального ожирения // *Ожирение и метаболизм*. — 2018. — Т. 15. — № 4. — С. 3–8. — doi: <https://doi.org/10.14341/omet9510> [Brel NK, Kokov AN, Gruzdeva OV. Advantages and disadvantages of different methods for diagnosis of visceral obesity. *Obesity and metabolism*. 2018;15(4):3–8. (In Russ). doi: <https://doi.org/10.14341/omet9510>]
19. Сусляева Н.М. Возможности лучевых методов исследования в диагностике висцерального ожирения // *Бюллетень сибирской медицины*. — 2010. — Т. 9. — № 5. — С. 121–128. — doi: <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2010-5-121-128> [Suslyayeva NM. Possibility radiological methods in diagnostics of visceral adiposity. *Bulletin of Siberian Medicine*. 2010;9(5):121–128. (In Russ). doi: <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2010-5-121-128>]
20. Messina C, Albano D, Gitto S, et al. Body composition with dual energy X-ray absorptiometry: from basics to new tools. *Quant Imaging Med Surg*. 2020;10(8):1687–1698. doi: <https://doi.org/10.21037/qims.2020.03.02>
21. Подчиненова Д.В. Оптимизация стратегии профилактики метаболического синдрома в педиатрической практике: дис. ... канд. мед. наук. — Томск; 2019. — 153 с. [Podchinenova D.V. *Optimizatsiya strategii profilaktiki metabolicheskogo sindroma v pediatricheskoj praktike*. [dissertation]. Tomsk; 2019. 153 p. (In Russ).]
22. Патент № 2734336 Российская Федерация, МПК А61В 5/00 (2006.01), А61В 5/053 (2006.01). Способ ранней неинвазивной диагностики метаболических нарушений у детей и подростков: № 2020112469: заявл. 27.03.2020: опубл. 15.10.2020 / Кобякова О.С., Подчиненова Д.В., Самойлова Ю.Г. и др. — 8 с. [Patent № 2734336 Russian Federation, IPC A61B 5/00 (2006.01), A61B 5/053 (2006.01). *Method for Early Non-Invasive Diagnosis of Metabolic Disorders in Children and Adolescents*: № 2020112469: declare 27.03.2020: publ. 15.10.2020. Kobayakova OS, Podchinenova DV, Samojlova YuG, et al. 8 p. (In Russ).]
23. Soileau L, Bautista D, Johnson C, et al. Automated anthropometric phenotyping with novel Kinect-based three-dimensional imaging method: comparison with a reference laser imaging system. *Eur J Clin Nutr*. 2016;70(4):475–481. doi: <https://doi.org/10.1038/ejcn.2015.132>
24. Чумакова Г.А., Веселовская Н.Г. Методы оценки висцерального ожирения в клинической практике // *Российский кардиологический журнал*. — 2016. — № 4. — С. 89–96. — doi: <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2016-4-89-96> [Chumakova GA, Veselovskaya NG. Methods of visceral obesity assessment in clinical practice. *Russian Journal of Cardiology*. 2016;4(4):89–96. (In Russ). doi: <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2016-4-89-96>]

25. Ly KV, Armstrong T, Yeh J, et al. Free-breathing Magnetic Resonance Imaging Assessment of Body Composition in Healthy and Overweight Children: An Observational Study. *J Pediatr Gastroenterol Nutr.* 2019;68(6):782–787. doi: <https://doi.org/10.1097/MPG.0000000000002309>
26. Драпкина О.М., Купрейшвили Л.В., Фомин В.В. Композиционный состав тела и его роль в развитии метаболических нарушений и сердечно-сосудистых заболеваний // *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. — 2017. — Т. 16. — № 5. — С. 81–85. — doi: <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2017-5-81-85> [Drapkina OM, Kupreyshvili LV, Fomin VV. Body composition and its role in development of metabolic disorders and cardiovascular diseases. *Cardiovascular Therapy and Prevention.* 2017;16(5):81–85. (In Russ). doi: <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2017-5-81-85>]
27. Cheung AS, de Rooy C, Hoermann R, et al. Correlation of visceral adipose tissue measured by Lunar Prodigy dual X-ray absorptiometry with MRI and CT in older men. *Int J Obes (Lond).* 2016;40(8):1325–1328. doi: <https://doi.org/10.1038/ijo.2016.50>
28. Bazzocchi A, Filonzi G, Ponti F, et al. Ultrasound: Which role in body composition? *Eur J Radiol.* 2016;85(8):1469–1480. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2016.04.005>
29. Микилишанская С.В., Золозова Е.А., Орловский А.А. и др. Обоснование необходимости создания новой классификации ожирения // *Лечащий Врач*. — 2021. — № 7. — С. 58–62. — doi: <https://doi.org/10.51793/OS.2021.24.7.011> [Miklishanskaya SV, Zolozova EA, Orlovsky AA, et al. Justification of the need to create a new classification of obesity. *Lechaschi Vrach.* 2021;(7):58–62. (In Russ). doi: <https://doi.org/10.51793/OS.2021.24.7.011>]
30. Kyle UG, Bosaeus I, De Lorenzo AD, et al. Bioelectrical impedance analysis-part I: review of principles and methods. *Clin Nutr.* 2004;23(5):1226–1243. doi: <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2004.06.004>
31. Лист результатов INBODY: руководство для профессионалов. [List rezul'tatov INBODY: Guide for professionals. (In Russ.)] Доступно по: <https://inbody-ru.ru/u/www/files/Руководство%20для%20профессионалов.pdf>. Ссылка активна на 12.08.2022.
32. Zamrazilova H, Hlavaty P, Dusatkova L, et al. A new simple method for estimating trunk and visceral fat by bioelectrical impedance: comparison with magnetic resonance imaging and dual X-ray absorptiometry in Czech adolescents. *Cas Lek Cesk.* 2010;149(9):417–422.
33. Christaki EV, Pervanidou P, Papassotiriou I, et al. Stress, Inflammation and Metabolic Biomarkers Are Associated with Body Composition Measures in Lean, Overweight, and Obese Children and Adolescents. *Children (Basel).* 2022;9(2):291. doi: <https://doi.org/10.3390/children9020291>
34. Bhatt SP, Guleria R, Kabra SK. Metabolic alterations and systemic inflammation in overweight/obese children with obstructive sleep apnea. *PLoS One.* 2021;16(6):e0252353. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0252353>
35. Aparecida Silveira E, Vaseghi G, de Carvalho Santos AS, et al. Visceral Obesity and Its Shared Role in Cancer and Cardiovascular Disease: A Scoping Review of the Pathophysiology and Pharmacological Treatments. *Int J Mol Sci.* 2020;21(23):9042. doi: <https://doi.org/10.3390/ijms21239042>
36. Nier A, Brandt A, Baumann A, et al. Metabolic Abnormalities in Normal Weight Children Are Associated with Increased Visceral Fat Accumulation, Elevated Plasma Endotoxin Levels and a Higher Monosaccharide Intake. *Nutrients.* 2019;11(3):652. doi: <https://doi.org/10.3390/nu11030652>
37. Cota BC, Priore SE, Ribeiro SAV, et al. Cardiometabolic risk in adolescents with normal weight obesity. *Eur J Clin Nutr.* 2022;76(6):863–870. doi: <https://doi.org/10.1038/s41430-021-01037-7>
38. Karczewski J, Śledzińska E, Baturo A, et al. Obesity and inflammation. *Eur Cytokine Netw.* 2018;29(3):83–94. doi: <https://doi.org/10.1684/ecn.2018.0415>
39. Schipper HS, Nuboer R, Prop S, et al. Systemic inflammation in childhood obesity: circulating inflammatory mediators and activated CD14⁺⁺ monocytes. *Diabetologia.* 2012;55(10):2800–2810. doi: <https://doi.org/10.1007/s00125-012-2641-y>
40. Longo M, Zatterale F, Naderi J, et al. Adipose Tissue Dysfunction as Determinant of Obesity-Associated Metabolic Complications. *Int J Mol Sci.* 2019;20(9):2358. doi: <https://doi.org/10.3390/ijms20092358>
41. Corona-Meraz F, Anda JR, Madrigal-Ruiz P, et al. Adipose Tissue in Health and Disease. In: *Obesity*. Çakmur H, ed. London: IntechOpen; 2020. doi: <https://doi.org/10.5772/intechopen.90559> Available online: <https://www.intechopen.com/chapters/70627>. Accessed on August 12, 2022.
42. Fleming CA, O'Connell EP, Kavanagh RG, et al. Body Composition, Inflammation, and 5-Year Outcomes in Colon Cancer. *JAMA Netw Open.* 2021;4(8):e2115274. doi: <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2021.15274>
43. Engin A. The Pathogenesis of Obesity-Associated Adipose Tissue Inflammation. *Adv Exp Med Biol.* 2017;960:221–245. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-48382-5_9
44. Delaney KZ, Vanstone CA, Weiler HA, Santosa S. Regional adiposity and markers of inflammation in pre-school age children. *Sci Rep.* 2018;8(1):15204. doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-33054-1>
45. Mujkić R, Šnajder Mujkić D, Ilić I, et al. Early Childhood Fat Tissue Changes-Adipocyte Morphometry, Collagen Deposition, and Expression of CD163⁺ Cells in Subcutaneous and Visceral Adipose Tissue of Male Children. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18(7):3627. doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph18073627>
46. Fang Z, Pyne S, Pyne NJ. Ceramide and sphingosine 1-phosphate in adipose dysfunction. *Prog Lipid Res.* 2019;74:145–159. doi: <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2019.04.001>
47. Engin AB. Adipocyte-Macrophage Cross-Talk in Obesity. *Adv Exp Med Biol.* 2017;960:327–343. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-48382-5_14
48. Rheinheimer J, de Souza BM, Cardoso NS, et al. Current role of the NLRP3 inflammasome on obesity and insulin resistance: A systematic review. *Metabolism.* 2017;74:1–9. doi: <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2017.06.002>
49. Wu KK, Cheung SW, Cheng KK. NLRP3 Inflammasome Activation in Adipose Tissues and Its Implications on Metabolic Diseases. *Int J Mol Sci.* 2020;21(11):4184. doi: <https://doi.org/10.3390/ijms21114184>
50. Crudele L, Piccinin E, Moschetta A. Visceral Adiposity and Cancer: Role in Pathogenesis and Prognosis. *Nutrients.* 2021;13(6):2101. doi: <https://doi.org/10.3390/nu13062101>
51. Bonan N, DeCicco-Skinner K. Obesity as a Promoter of Cancer Development and Progression. In: *Obesity*. Çakmur H, ed. London: IntechOpen; 2018. doi: <https://doi.org/10.5772/intechopen.80516> Available online: <https://www.intechopen.com/chapters/63165>. Accessed on August 12, 2022.
52. Chang HH, Eibl G. Obesity-Induced Adipose Tissue Inflammation as a Strong Promotional Factor for Pancreatic Ductal Adenocarcinoma. *Cells.* 2019;8(7):673. doi: <https://doi.org/10.3390/cells8070673>
53. Calcaterra V, Croce S, Vinci F, et al. Th17 and Treg Balance in Children with Obesity and Metabolically Altered Status. *Front Pediatr.* 2020;8:591012. doi: <https://doi.org/10.3389/fped.2020.591012>
54. Martinez-Sanchez ME, Hiriart M, Alvarez-Buylla ER. The CD4⁺ T cell regulatory network mediates inflammatory responses during acute hyperinsulinemia: a simulation study. *BMC Syst Biol.* 2017;11(1):64. doi: <https://doi.org/10.1186/s12918-017-0436-y>
55. Tao L, Liu H, Gong Y. Role and mechanism of the Th17/Treg cell balance in the development and progression of insulin resistance. *Mol Cell Biochem.* 2019;459(1-2):183–188. doi: <https://doi.org/10.1007/s11010-019-03561-4>
56. Endo Y, Yokote K, Nakayama T. The obesity-related pathology and Th17 cells. *Cell Mol Life Sci.* 2017;74(7):1231–1245. doi: <https://doi.org/10.1007/s00018-016-2399-3>