

СОСУДИСТОЕ РЕМОДЕЛИРОВАНИЕ У ДЕТЕЙ С ИЗБЫТОЧНОЙ МАССОЙ ТЕЛА

Федько Н.А., Айбазова Д.К., Джанибекова А.С., Иваницкая Е.В., Кубанова А.С.

ГБОУ ВПО «Ставропольский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Ставрополь, e-mail: djamilyatambieva@mail.ru

В связи с растущей распространенностью ожирения среди детей и подростков особую значимость приобретает изучение ранних изменений в сосудистой системе, ассоциированных с избыточной массой тела, как предиктора сердечно-сосудистых заболеваний в будущем. Цель исследования – оценить параметры сосудистой ригидности у подростков с избыточной массой тела и ожирением, а также сравнить их с показателями подростков с нормальным индексом массы тела. Определен индекс массы тела у 163 подростков в возрасте от 11 до 17 лет. Участники исследования были разделены на две группы: основная, включающая 87 детей с избыточной массой тела, и контрольная, состоящая из 76 подростков с нормальным весом. Всем участникам было проведено измерение показателей, характеризующих ригидность сосудов: систолическое, диастолическое, среднее и пульсовое давление в аорте, индекс аугментации, скорость распространения отраженной волны, максимальная скорость нарастания давления в аорте. У подростков с избыточной массой тела и ожирением отмечалось статистически значимое повышение систолического давления в аорте, среднего и пульсового давления, а также максимальной скорости нарастания давления в аорте по сравнению с группой подростков с нормальным индексом. Избыточная масса тела у подростков ассоциирована с изменениями показателей центрального аортального давления и максимальной скорости нарастания давления в аорте, что может свидетельствовать о начальных проявлениях сосудистой дисфункции. Необходимо применять комплексный подход к исследованию параметров, характеризующих артериальную жесткость. Своевременное обнаружение и терапевтическая коррекция факторов риска у подростков с ожирением представляется ключевым этапом в первичной профилактике заболеваний сердца и сосудов в долгосрочной перспективе.

Ключевые слова: жесткость сосудов, ожирение, факторы риска, эндотелий

VASCULAR REMODELING IN OVERWEIGHT CHILDREN

Fedko N.A., Aybazova D.K., Dzhanibekova A.S., Ivanitskaya E.V., Kubanova A.S.

Stavropol State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Stavropol, e-mail: djamilyatambieva@mail.ru

In connection with the growing prevalence of obesity among children and adolescents, the study of early changes in the vascular system associated with excess body weight is of particular importance as a predictor of cardiovascular diseases in the future. Objective: to evaluate the parameters of vascular stiffness in adolescents with overweight and obesity, and to compare them with the parameters of adolescents with a normal body mass index. The body mass index was determined in 163 adolescents aged 11 to 17 years. The study participants were divided into 2 groups: the main group, including 87 children with overweight, and the control group, consisting of 76 adolescents with normal weight. All participants underwent measurement of parameters characterizing vascular stiffness: systolic, diastolic, mean and pulse pressure in the aorta, augmentation index, reflected wave propagation velocity, maximum rate of pressure increase in the aorta. A statistically significant increase in systolic pressure in the aorta, mean and pulse pressure, as well as the maximum rate of pressure increase in the aorta were observed in adolescents with overweight and obesity compared to the group of adolescents with a normal index. Excess body weight in adolescents is associated with changes in central aortic pressure and the maximum rate of pressure increase in the aorta, which may indicate the initial manifestations of vascular dysfunction. It is necessary to apply an integrated approach to the study of parameters characterizing arterial stiffness. Timely detection and therapeutic correction of risk factors in adolescents with obesity seems to be a key step in the primary prevention of cardiovascular diseases in the long term.

Keywords: vascular stiffness, obesity, risk factors, endothelium

Введение

Сердечно-сосудистые заболевания остаются ведущей причиной инвалидности и смертности среди трудоспособного населения [1–3]. Несмотря на понимание факторов,

способствующих развитию этих болезней, их распространенность стабильно растет. Особенно остро стоит проблема избыточного веса, которое берет начало в детстве и приобретает глобальный характер, демонстрируя ежегодное увеличение как в России, так и во всем мире. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), заболеваемость ожирением у детей с 1995 г. возросла втрое. В 2022 г. более миллиарда человек в мире страдали ожирением, что соответствует каждому восьмому жителю планеты. С 1990 по 2022 г. показатели ожирения среди взрослых увеличились более чем вдвое, а среди детей и подростков в возрасте от 5 до 19 лет – вчетверо [4–6]. В Российской Федерации, по данным Министерства здравоохранения, более 6 % детей страдают ожирением, а свыше 20 % имеют избыточный вес [7]. Столь значительный рост числа детей с ожирением связывают с малоподвижным образом жизни, предпочтением цифровых развлечений и ухудшением структуры питания, характеризующимся повышенным потреблением нездоровой пищи, сладких напитков и перекусов [8, 9].

Избыток жировой ткани в организме способствует активному выделению провоспалительных веществ, таких как цитокины и адипокины. Поступая в кровоток, эти соединения вызывают системную воспалительную реакцию, которая оказывает разрушительное воздействие на эндотелиальные клетки, выстилающие внутреннюю поверхность сосудов. В результате повреждения эндотелий теряет свою эластичность и способность нормально регулировать сосудистый тонус [10].

Тканевые маркеры, отражающие скрытые изменения в сердечно-сосудистой системе, позволяют более точно оценить риск, поскольку они показывают фактическое состояние органов-мишеней, а не только наличие факторов риска. К таким маркерам относятся пульсовое давление, индекс аугментации, скорость распространения отраженной волны, скорость пульсовой волны и др. [11, 12]. Оценка этих показателей позволяет оценить эластичность сосудов в раннем возрасте. Исследования жесткости сосудов в основном касаются взрослого населения, хотя есть данные о том, что ремоделирование сосудов начинается уже в детстве [13–15]. Использование современных неинвазивных методов диагностики позволяет выявить самые ранние изменения в сосудистой стенке и предотвратить развитие выраженных клинических симптомов [16–18].

Цель исследования – оценить параметры сосудистой ригидности у подростков с избыточной массой тела и ожирением, а также сравнить их с показателями подростков с нормальным индексом массы тела.

Материалы и методы исследования

В исследовании участвовали 163 подростка – 89 мальчиков и 74 девочки в возрасте от 11 до 17 лет (средний возраст – $13,4 \pm 2,1$ лет), обучающиеся в общеобразовательных

учреждениях г. Ставрополя, с различным индексом массы тела (ИМТ). Контрольную группу составили 76 условно здоровых подростков с ИМТ в пределах нормальных значений (ИМТ = 18,5–25). Основную группу сформировали 87 подростков с избыточной массой тела: с предожирением – 35 чел. (ИМТ = 25–30); с ожирением 1 ст. (ИМТ = 30–35) – 27 чел.; с ожирением 2 ст. (ИМТ = 35–40) – 16 чел.; с ожирением 3 ст. (ИМТ > 40) – 9 чел.

Критерии исключения из групп обследованных:

1. Отказ законного представителя ребенка от исследования.
2. Наличие острых респираторных заболеваний.
3. Наличие хронических заболеваний.

4. Наличие у обследуемых других факторов, увеличивающих риск развития сосудистой патологии, таких как артериальная гипертензия, наследственная предрасположенность к сердечно-сосудистым заболеваниям, табакокурение и недостаточная физическая активность.

Для оценки физического развития участников исследования выполнялись антропометрические измерения: рост определялся с использованием ростомера ВМЭН, масса тела – путем взвешивания на медицинских напольных электронных весах ВМЭН-150, ВМЭН-200 (Тулиновский приборостроительный завод).

ИМТ определялся у подростков по стандартам ВОЗ по формуле: вес (кг) / рост (м)². Полученное значение сравнивали с возрастными и гендерными центильными кривыми, разработанными ВОЗ. В зависимости от центильного диапазона определялась весовая категория.

Согласно стандартам ВОЗ, для подростков выделяют следующие весовые категории на основе ИМТ: дефицит массы тела (ИМТ ниже 5-го перцентилья), нормальный вес (ИМТ между 5-м и 85-м перцентильями), избыточный вес (ИМТ между 85-м и 95-м перцентильями) и ожирение (ИМТ выше 95-го перцентилья).

Для определения ригидности сосудов использовался диагностический комплекс VPLab с программным обеспечением Vasotens Office (разработка ООО «Петр Телегин», г. Нижний Новгород, Россия). В процессе исследования анализировались такие показатели, как систолическое давление в аорте (САД, мм рт. ст.), диастолическое давление в аорте (ДАД, мм рт. ст.), пульсовое давление в аорте (ПД, мм рт. ст.), скорость распространения отраженной волны (reflected wave transit time, RWTT), индекс аугментации периферический (augmentation index, A_{ix}, %), а также максимальная скорость нарастания давления в аорте (dPdT, м/с).

Статистический анализ проводился с использованием программы StatTech v. 4.8.1 (разработчик – ООО «Статтех», Россия).

Количественные показатели, выборочное распределение которых соответствовало нормальному, описывались с помощью средних арифметических величин (M) и стандартных

отклонений (SD). В качестве меры репрезентативности для средних значений указывались границы 95 % доверительного интервала (95 % ДИ).

Сравнение трех и более групп по количественному показателю, распределение которого в каждой из групп соответствовало нормальному, выполнялось с помощью однофакторного дисперсионного анализа, апостериорные сравнения проводились с помощью критерия Тьюки (при условии равенства дисперсий), критерия Геймса – Хауэлла (при неравных дисперсиях).

Сравнение процентных долей при анализе многопольных таблиц сопряженности выполнялось с помощью критерия хи-квадрат Пирсона.

Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

В таблице представлены показатели, характеризующие ригидность сосудистой стенки у обследованных подростков в зависимости от ИМТ.

Показатели сосудистой жесткости у подростков
с нормальной и избыточной массой тела

	Нормальный вес	Предожирение	Ожирение 1 ст.	Ожирение 2 ст.	Ожирение 3 ст.	p
СА_{До} (мм рт. ст.)	119,12 ± 9,14 [111,25 – 122,29]	125,43 ± 13,31 [114,53 – 123,16]	129,56 ± 8,29 [126,27 – 132,84]	136,83 ± 4,83 [131,76 – 141,91]	138,86 ± 3,93 [135,22 – 142,50]	0,002*
ДА_{До} (мм рт. ст.)	69,28 ± 10,13 [66,00 – 72,57]	66,46 ± 8,91 [61,08 – 71,85]	74,78 ± 9,37 [71,07 – 78,48]	73,33 ± 11,38 [61,39 – 85,27]	71,14 ± 9,55 [62,31 – 79,97]	0,135
СрАД (мм рт. ст.)	86,28 ± 10,32 [82,94 – 89,63]	89,08 ± 24,27 [74,41 – 103,75]	93,00 ± 9,74 [82,78 – 103,22]	96,30 ± 9,49 [92,54 – 100,05]	96,00 ± 7,51 [89,06 – 102,94]	0,044*
ПД (мм рт. ст.)	49,14 ± 12,53 [45,35 – 53,47]	56,15 ± 10,99 [44,68 – 58,65]	58,84 ± 11,43 [54,12 – 63,56]	65,00 ± 13,51 [50,83 – 79,17]	71,43 ± 10,47 [61,75 – 81,11]	0,035*
RWTТ (м/с)	130,16 ± 18,94 [123,93 – 136,38]	131,38 ± 30,87 [112,73 – 150,04]	128,52 ± 23,13 [118,52 – 138,52]	126,00 ± 27,04 [97,62 – 154,38]	157,60 ± 39,93 [108,02 – 207,18]	0,215
Aix (%)	-57,83 ± 13,44 [62,38 – -53,29]	-54,69 ± 11,61 [-61,71 – -47,67]	-53,39 ± 11,14 [-58,21 – -48,57]	-47,83 ± 15,46 [-64,06 – -31,61]	-69,60 ± 17,73 [-91,61 – -47,59]	0,063
dPdТ (м/с)	801,18 ± 264,71 [715,37 – 886,99]	906,14 ± 253,52 [690,57 – 996,97]	1015,27 ± 273,82 [904,67 – 1125,87]	1046,67 ± 311,52 [719,74 – 1373,59]	1216,71 ± 259,12 [977,07 – 1456,36]	0,002*

Примечание. * – различия показателей статистически значимы ($p < 0,05$).

Источник: составлено авторами.

Графическое представление параметров сосудистой жесткости, демонстрирующих статистически значимые различия между группами в зависимости от ИМТ, приведено на рис. 1–4.

Анализ полученных результатов выявил статистически значимые различия в показателях САД у подростков с ожирением (рис. 1). В частности, у подростков, страдающих ожирением I ст., уровень САД был выше на 10 %, у подростков с ожирением II степени – на 14,7 %, а у подростков с ожирением III ст. – на 16,5 % в сравнении с группой подростков, имеющих нормальный ИМТ ($p < 0,05$). У подростков с предожирением САД было в пределах нормальных значений.

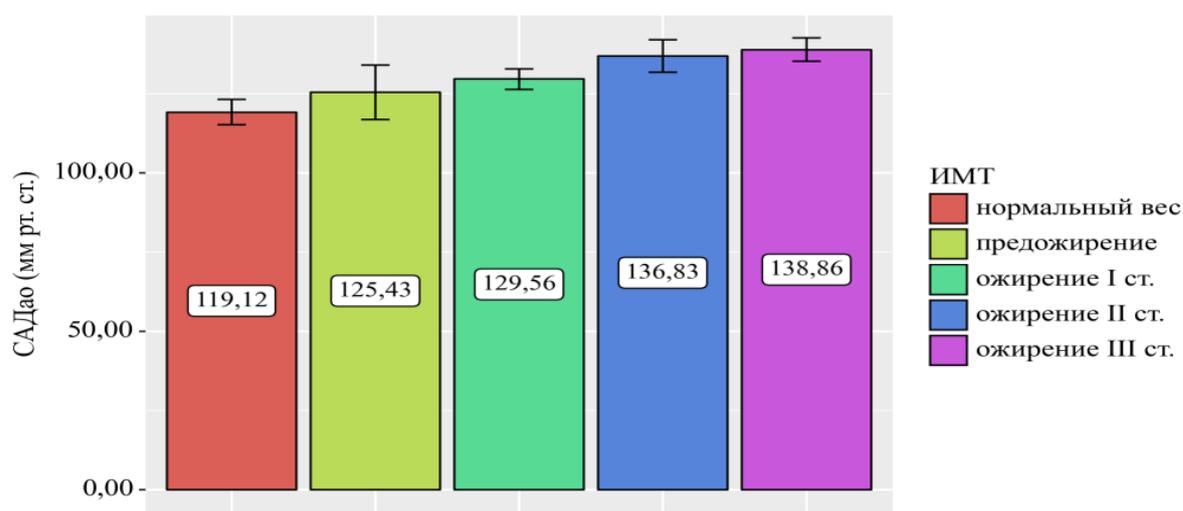


Рис. 1. Медиана систолического давления в аорте (мм рт. ст.) в зависимости от ИМТ

Источник: составлено авторами

Как видно из рис. 2, СрАД имело тенденцию к повышению у подростков с предожирением и ожирением I ст. (на 7,5 %), а у подростков с ожирением 2 и 3 ст. этот показатель был выше на 10,4 % ($p < 0,05$) по сравнению с контрольной группой.

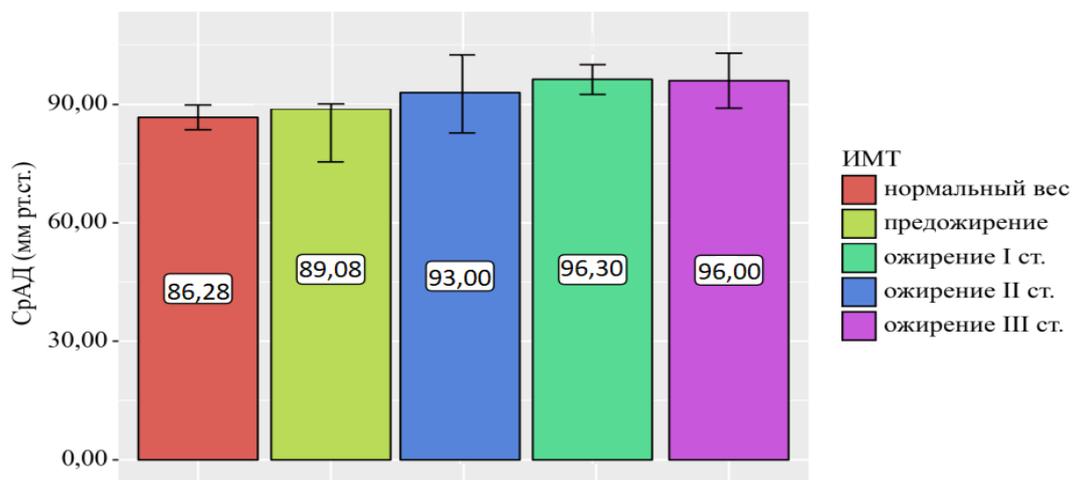


Рис. 2. Медиана среднего аортального давления (мм рт. ст.) в зависимости от ИМТ

Источник: составлено авторами

У лиц с ожирением отмечалось статистически значимое повышение показателей артериальной жесткости, оцениваемой по ПД, по сравнению с подростками с нормальным весом. В частности, у подростков с предожирением ПД превышало значения в группе контроля на 13 %, с ожирением 1 ст. – на 17 %, с ожирением 2 ст. – на 24,5 %, с ожирением 3 степени – на 30,1 % ($p < 0,05$) (рис. 3).

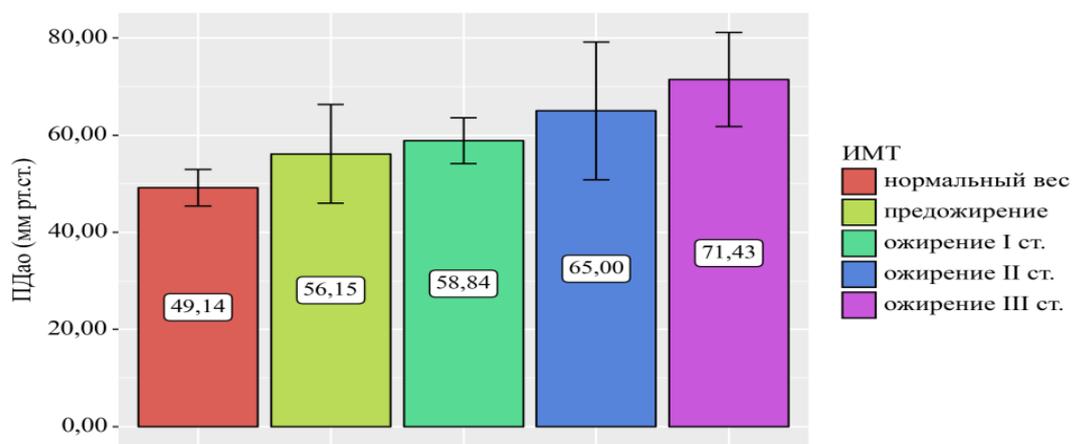


Рис. 3. Медиана пульсового давления (мм рт. ст.) в зависимости от ИМТ

Источник: составлено авторами

Повышенное ПД рассматривается как потенциальный предвестник развития гипертонической болезни в дальнейшей жизни. Исследователи, изучавшие характеристики сосудистой жесткости у взрослых, обнаружили, что ее увеличение связано с неблагоприятными изменениями кардиометаболического профиля, включая увеличенный индекс массы тела, наличие инсулинорезистентности и дислипидемии.

Сравнительная оценка значений dPdT у подростков с разным ИМТ выявила выраженную динамику. У подростков, имеющих предожирение, отмечалось возрастание данного показателя до 5 %. При ожирении I ст. это увеличение достигало 21 %, при ожирении II ст. – 23 %, а при III ст. – 34 % ($p < 0,05$) (рис. 4).

Выявленное статистически значимое ускорение dPdT у детей, страдающих ожирением, вероятно, обусловлено компенсаторными процессами, направленными на обеспечение достаточного сердечного выброса при повышенной нагрузке на сердечно-сосудистую систему. Наличие избыточной массы тела и жировых отложений увеличивает потребность организма в кислороде и питательных веществах. Это, в свою очередь, приводит к увеличению объема циркулирующей крови и повышению преднагрузки на сердце. В ответ на это левый желудочек сердца адаптируется, увеличивая силу сокращения и скорость выброса крови в аорту, что отражается в виде повышенного значения dPdT. Данный процесс, несмотря на свою адаптивную функцию на начальных этапах, в долгосрочной перспективе может способствовать развитию гипертрофии левого желудочка и диастолической дисфункции.

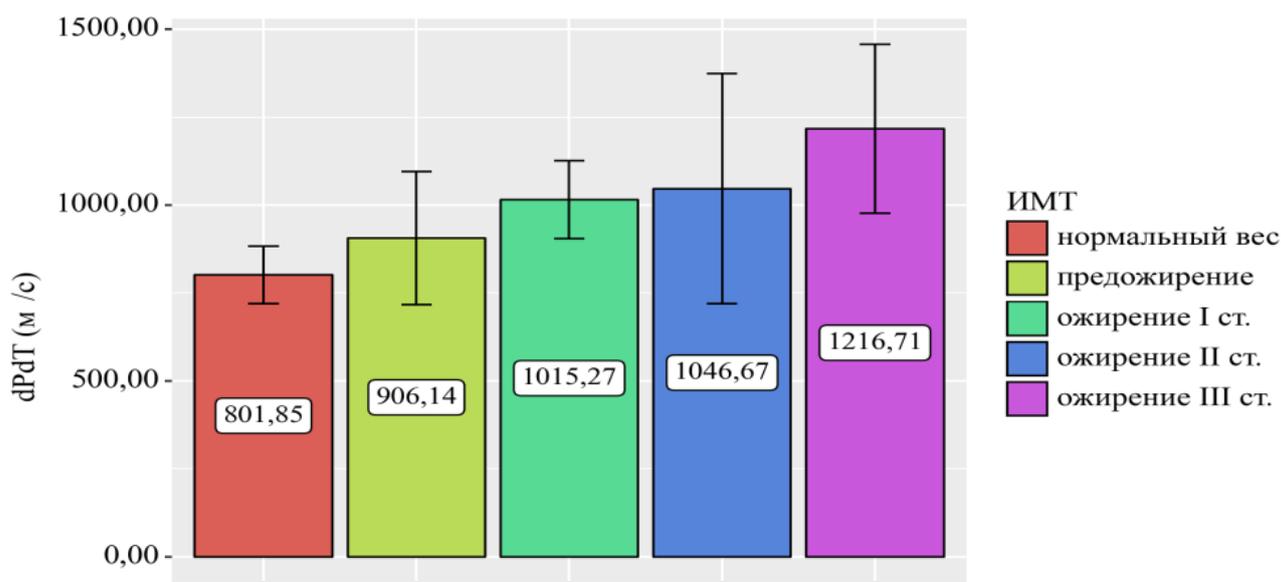


Рис. 4. Показатели скорости нарастания давления в аорте (м/с) в зависимости от ИМТ

Источник: составлено авторами

При сопоставлении показателей ДАДао, RWTT, A_{ix} у подростков с разным ИМТ не удалось выявить статистически значимых различий ($p > 0,05$).

Еще одним важным показателем артериальной жесткости является A_{ix}. Увеличение его свидетельствует о снижении эластичности артерий и повышении нагрузки на левый желудочек сердца. Однако в данном исследовании не выявлено увеличение этого показателя

у подростков с избыточной массой тела. Также не выявлена разница RWTT (скорость, с которой пульсовая волна, отраженная от периферических участков артериального русла, распространяется обратно к сердцу) у подростков с разным ИМТ. Однако ожирение является комплексным состоянием, которое влияет на функцию сердечно-сосудистой системы через множество механизмов. Возможно, другие факторы, связанные с ожирением, такие как дислипидемия, инсулинорезистентность и воспаление, оказывают более непосредственное воздействие на развитие сердечно-сосудистых заболеваний. В настоящей работе анализ указанных переменных не проводился, что могло оказать влияние на полученные результаты.

Заключение

У подростков с избыточной массой тела и ожирением установлено значимое увеличение центрального аортального давления (систолического, среднего, пульсового), а также повышение максимальной скорости нарастания давления в аорте.

Для более точного определения взаимозависимости между показателями эластичности сосудистой стенки, ожирением и риском развития сердечно-сосудистых заболеваний необходимы расширенные исследования с учетом большего числа влияющих факторов.

Своевременное обнаружение и терапевтическая коррекция факторов риска у подростков с ожирением представляется ключевым этапом в первичной профилактике заболеваний сердца и сосудов в долгосрочной перспективе.

Список литературы

1. Бойцов С.А., Драпкина О.М., Шляхто Е.В., Конради А.О., Баланова Ю.А., Жернакова Ю.В. и др. Исследование ЭССЕ РФ (Эпидемиология сердечно-сосудистых заболеваний и их факторов риска в регионах Российской Федерации). Десять лет спустя // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2021. Т. 20. № 5. С. 143–152. DOI: 10.15829/1728-8800-2021-3007.
2. Бойцов С.А., Погосова Н.В., Бубнова М.Г., Драпкина О.М., Гаврилова Н.Е., Еганян Р.А., Калинина А.М. Кардиоваскулярная профилактика 2017. Российские национальные рекомендации // Российский кардиологический журнал. 2018. Т. 23. № 6. С. 7–122. DOI: 10.15829/1560-4071-2018-6-7-122.
3. Здоровоохранение в России: статистический сборник. М.: Федеральная служба государственной статистики Российской Федерации, 2023. 179 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://youthlib.mirea.ru/ru/resource/6229> (дата обращения: 12.08.2025).
4. González-Álvarez M.A., Lázaro-Alquézar A., Simón-Fernández M.B. Global Trends in Child Obesity: Are Figures Converging? // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020. Vol. 17 (24). P. 9252. DOI: 10.3390/ijerph17249252.

5. World Health Organization. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/ru/> (дата обращения: 12.08.2025).
6. Breda J. Latest WHO data on child obesity shows that southern European countries have the highest rate of childhood obesity. European Congress on Obesity, 2018. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.who.int/europe/news/item/24-05-2018-latest-data-shows-southern-european-countries-have-highest-rate-of-childhood-obesity?utm_source = chatgpt.com](https://www.who.int/europe/news/item/24-05-2018-latest-data-shows-southern-european-countries-have-highest-rate-of-childhood-obesity?utm_source=chatgpt.com) (дата обращения: 12.08.2025).
7. Phelps N.H. et al. Global trends in body-mass index since 1990: a pooled analysis of 3663 population-based studies with 222 million participants // *The Lancet*. 2024. Vol. 403. № 10431. P. 1027–1050. DOI: 10.1016/S0140-6736(23)02750-2.
8. Hall K.D., Ayuketah A., Brychta R., Cai H., Cassimatis T., Chen K.Y., Chung S.T., Costa E., Courville A., Darcyl W., Fletcher L.A., Forde C.G., Gharib A.M., Go J., Howard R., Joseph P.V., McGehee S., Ouwkerk R., Raising K., Rozga I., Stagliano M., Walter M., Walter P.J., Yang S., Zhou M. Ultra-Processed Diets Cause Excess Calorie Intake and Weight Gain: An Inpatient Randomized Controlled Trial of Ad Libitum Food Intake // *Cell Metabolism*. 2019. Vol. 30, Is. 1. P. 67–77. DOI: 10.1016/j.cmet.2019.05.020.
9. Winpenny E.M., van Sluijs E.M.F., White M., et al. Dietary changes during adolescence and early adulthood: longitudinal trajectories and association with key life transitions // *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*. 2018. Vol. 15, Is. 86. DOI: 10.1186/s12966-018-0719-8.
10. Ait-Aissa K., Nguyen K.M., Gabani M. et al. MicroRNAs and obesity-induced endothelial dysfunction: key paradigms in molecular therapy // *Cardiovascular Diabetology*. 2020. Vol. 19. P. 136. DOI: 10.1186/s12933-020-01107-3.
11. Леонтьева И.В., Ковалев И.А., Школьникова М.А., Исаева Ю.С., Путинцев А.Н., Дудинская Е.Н., Ткачева О.Н., Мачехина Л.В. Ранняя диагностика повышенной жесткости магистральных сосудов у подростков с функциональной патологией вегетативного генеза // *Российский вестник перинатологии и педиатрии*. 2021. Т. 66. № 3. С. 52–61. DOI: 10.21508/1027-4065-2021-66-3-52-61.
12. Бадейникова К.К., Мамедов М.Н. Ранние маркеры атеросклероза: предикторы развития сердечно-сосудистых осложнений // *Профилактическая медицина*. 2023. Т. 26. № 1. С. 103–108. DOI: 10.17116/profmed202326011103.
13. Неудахин Е.В., Морено И.Г. К вопросу о патогенезе атеросклероза и коррекции атерогенных нарушений у детей // *Российский медицинский журнал*. 2018. № 9. С. 62–68.; URL: https://www.rmj.ru/articles/pediatriya/K_voprosu_o_patogeneze_ateroskleroza_i_korrekcii_ateroge

nnyh_narusheniy_u_detey/ (дата обращения: 12.08.2025).

14. Saloman L.P., Magalhães G.S., da Silva J.F.P. et al. Factors associated with arterial stiffness assessed by pulse pressure amplification in healthy children and adolescents: a cross-sectional study // BMC Pediatrics. 2023. Vol. 23, Is. 154. DOI: 10.1186/s12887-023-03942-1.
15. Клименко Т.М., Яйленко А.А. Начальные признаки сердечно-сосудистого ремоделирования у подростков с артериальной гипертензией // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6.; URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=16999> (дата обращения: 12.05.2025).
16. Кожевникова О.В., Намазова-Баранова Л.С., Логачева О.С., Маргиева Т.В., Широкова И.В., Рахимова А.Н., Балабанов А.С. Скорость пульсовой волны и центральное давление в аорте у детей с ожирением по результатам неинвазивной артериографии // Педиатрическая фармакология. 2013. Т. 10. № 5. С. 59–66. DOI: 10.15690/pf.v10i5.825.
17. Галимова Л.Ф., Садыкова Д.И. Неинвазивные подходы к диагностике изменений сосудистой стенки у детей // Вопросы практической педиатрии. 2020. Т. 15. № 2. С. 51–54. DOI: 10.20953/1817-7646-2020-2-51-54.
18. Максумова Н.В., Фаттахов В.В., Ацель Е.А. Неинвазивные методы исследования в выявлении предикторов сердечно-сосудистых заболеваний // Современные проблемы науки и образования. 2022. № 6 (1.); URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=32309> (дата обращения: 12.05.2025). DOI: 10.17513/spno.32309.