

ПЕДИАТРИЯ PEDIATRICS

DOI: 10.12737/article_59e85cdc033e93.89915718

УДК 616.13-071:613.25

Данилюк Л.В., Погодина А.В., Рычкова Л.В.

ЖЁСТКОСТЬ АРТЕРИАЛЬНЫХ СОСУДОВ: ОСНОВНЫЕ ДЕТЕРМИНАНТЫ, МЕТОДЫ ОЦЕНКИ И СВЯЗЬ С ОЖИРЕНИЕМ У ДЕТЕЙ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

ФГБНУ «Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека»
(664003, г. Иркутск, ул. Тимирязева, 16, Россия)

Обзор литературы освещает особенности структуры и функции артериальных сосудов. Описана демпфирующая функция аорты и формирование прямых и отражённых пульсовых волн. Дано объяснение различному уровню артериального давления (АД) в аорте и периферических артериях. Описаны изменения упруго-эластических свойств артериальных сосудов, которые могут привести к нарушению гемодинамики. Представлены факторы, модифицирующие пульсовую волну: амплификация, аугментация. Отображены основные методы измерения артериальной жёсткости на локальном, регионарном и системном уровнях. Дано представление о современных неинвазивных методах определения эластических свойств артерий. Отмечено преимущество прямого измерения параметров, связанных с жёсткостью артериальной стенки, методом оценки локальной и региональной жёсткости артерий. Отдельно отмечен метод определения скорости распространения пульсовой волны (СРПВ) на каротидно-феморальном участке (кфСРПВ). Данный количественный метод является «золотым стандартом». Представлены данные о влиянии возраста на структуру и функции артерий. Показана необходимость исследования параметров, характеризующих артериальную ригидность у детей с ожирением, так как это заболевание повышает частоту сердечно-сосудистых осложнений как у взрослых, так и у детей. Рассмотрена связь артериальной сосудистой жёсткости и ожирения в детском возрасте. Приведены различные результаты исследований жёсткости артерий у детей с ожирением. В настоящее время нет единого мнения о применении метода исследования ригидности артериальных сосудов в детском возрасте, что свидетельствует о необходимости дальнейшего изучения сосудистого ремоделирования и факторов, которые могут повлиять на структуру артерий у детей с ожирением.

Ключевые слова: артериальная жёсткость, скорость распространения пульсовой волны, ожирение, дети

ARTERIAL STIFFNESS: BASIC DETERMINANTS, METHODS OF ASSESSMENT, AND THE CONNECTION WITH OBESITY IN CHILDREN (LITERATURE REVIEW)

Danilyuk L.V., Pogodina A.V., Rychkova L.V.

Scientific Centre for Family Health and Human Reproduction Problems
(ul. Timiryazeva 16, Irkutsk 664003, Russian Federation)

The review reflects the features of the structure and function of the arteries. The physiological mechanism of the formation of the pulse wave is described, and various levels of arterial pressure in the aorta and peripheral arteries are explained. Disorders of hemodynamics with a change in resilient-elastic properties of arterial vessels are described. Amplification and augmentation – factors modifying the pulse wave are presented. Also the paper describes the main methods of measuring arterial stiffness at the local, regional and system level, the advantage of direct measurement of the parameters related to the stiffness of the arterial wall, and the method of assessing the local and regional rigidity of the arteries. Separately, a method for determining pulse wave velocity in the carotid-femoral region was presented. Data of age impact on the structure and function of the arteries are presented. As it has been shown it is necessary to study parameters characterizing arterial rigidity in obese children, since this disease increases the incidence of cardiovascular complications in both adults and children. The relationship between the stiffness of arterial vessels and obesity children is considered. Various results of studies of arterial stiffness in children with obesity are presented. The lack of a consensus on the use of method of arterial vessels rigidity studying in childhood patients shows the need for further study of vascular remodeling and factors that may affect the structure of arteries in obese children.

Key words: arterial stiffness, pulse wave velocity, obesity, children

ВВЕДЕНИЕ

Жёсткость артериальных сосудов – это параметр, характеризующий способность артерий изменять диаметр сосуда в течение сердечного цикла. Повышен-

ная артериальная жёсткость является признанным фактором риска сердечно-сосудистых осложнений и катастроф [8, 21, 24, 29, 36], поэтому доступность в настоящее время методов её неинвазивной оценки

чрезвычайно важна для донозологической профилактики.

Повышение жёсткости артериальных сосудов сопровождает как физиологический процесс старения человеческого организма, так и целый ряд патологических состояний (артериальная гипертензия (АГ), дислипидемия, инсулинорезистентность и др.) [37]. В частности, хорошо известно, что ожирение у взрослых сопровождается повышением артериальной ригидности [38]. Но во взрослом возрасте ожирение редко существует само по себе и, как правило, формирует кластеры с артериальной гипертензией, дислипидемией, сахарным диабетом 2-го типа, атеросклерозом. В связи с этим сложно понять реальные отношения ожирения и повышенной жёсткости артериальных сосудов, которую часто описывают у тучных больных. Поэтому важным и интересным представляется исследование параметров, характеризующих артериальную ригидность в детском возрасте, когда ассоциированные с ожирением факторы кардио-метаболического риска количественно умеренны и нестабильны. Вместе с тем, работ, посвящённых изучению этого аспекта проблемы ожирения, очень немного, и вопрос ассоциации детского ожирения с артериальной жёсткостью остаётся спорным.

ЭЛАСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ФУНКЦИИ АРТЕРИЙ

Основная функция сосудистого русла заключается в доставке необходимого объёма крови к внутренним органам и периферическим тканям. Артериальные сосуды в соответствии с особенностями структуры и выполняемыми ими функциями разделяют на три типа: эластические (сосуды крупного калибра – аорта и лёгочная артерия), мышечные артерии (сосуды малого калибра – мезентериальные артерии, почечная артерия и др.), смешанные или мышечно-эластические (сосуды среднего калибра – сонные, подключичные артерии и др.) [37]. Эластические свойства артерий различны на протяжении всего артериального дерева. Морфологически артерии эластического типа (аорта) содержат больше эластина на единицу площади волокон и имеют важную функцию демпфирования (сглаживания) волны давления, производимого левым желудочком (ЛЖ). В составе стенки мышечных артерий преобладают мышечные волокна. Главная функция артерий мышечного типа – вазоконстрикция и дилатация [23].

Демпфирующая функция аорты обеспечивает преобразование пульсирующего артериального кровотока в непрерывный [7]. В процессе систолы ЛЖ порция крови поступает в аорту, эластичные стенки аорты растягиваются и накапливают часть энергии проходящей волны. Возвращаясь в исходное состояние, упругие стенки аорты способствуют дальнейшему продвижению крови и поддержанию кровотока в капиллярах во время диастолы [37]. При прохождении по сосудистым сегментам прямые пульсовые волны генерируют отражённые волны, которые возникают в местах бифуркаций крупных сосудов, мелких артериях и артериолах. Общая волна давления суммарно состоит из прямых и отражённых

пульсовых волн. Отражённые волны многократно наслаиваются на прямую волну и усиливают (амплифицируют) её в антеградном направлении. По этой причине уровень систолического артериального давления (САД) между корнем аорты и плечевой артерией может увеличиваться до 14 мм рт. ст. Благодаря повышению уровня САД, в периферических артериях осуществляется капиллярный кровоток. Отражённые волны, распространяющиеся ретроградно, способствуют повышению диастолического артериального давления (ДАД) в аорте, благодаря чему поддерживается адекватный коронарный кровоток. Однако при повышении жёсткости артериальных сосудов ретроградные волны возвращаются к устью аорты в период систолы, увеличивают (аугментируют) САД в аорте, а ДАД при этом снижается [4, 23, 29, 32].

Таким образом, становится понятным, что упруго-эластические свойства артериальных сосудов являются основой их функционирования для поддержания адекватной гемодинамики. Установлено, однако, что ряд состояний (физиологическое старение, артериальная гипертензия, сахарный диабет и др.) сопровождаются снижением этих свойств, повышением артериальной ригидности и, следовательно, увеличением скорости распространения пульсовой волны (СРПВ) [21]. Это обосновывает важность определения СРПВ для выявления лиц с высоким сердечно-сосудистым риском и может быть полезным не только у пациентов старшего возраста, но и у детей и подростков [22, 33].

НЕИНВАЗИВНЫЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ЖЁСТКОСТИ АРТЕРИЙ

В клинической практике и научных исследованиях, направленных на изучение жёсткости артериальных сосудов, наибольшее внимание привлекают простые неинвазивные методы, которые в настоящее время начинают активно применять у детей и подростков. Использование инвазивных методов исследования сосудов (катетеры с смонтированным ультразвуковым датчиком и микроманометром; введение рентген-контрастных веществ) ограничено в силу их травматичности и риска осложнений.

При помощи современных методов можно проанализировать три вида жёсткости: локальную (конкретный участок артерии), региональную (вдоль определённого сегмента артерии) и системную (сосуды всего тела) [4].

Одним из главных преимуществ региональных и локальных оценок артериальной жёсткости является то, что они основаны на прямых измерениях параметров, связанных с жёсткостью стенки артерии.

Локальную жёсткость поверхностных артерий, включая плечевые, бедренные и сонные, определяют визуализирующими методами, которые позволяют измерить диаметр сосудов при каждом сердечном сокращении. Для этой цели в клинической практике применяются ультразвуковые методы исследования с использованием классических двухмерных ультразвуковых систем, эхо-трекинг систем. С целью определения аортальной жёсткости можно также использовать магнитно-резонансную томографию и чреспищеводную эхокардиографию [4].

Региональную жёсткость определяют вдоль длины артериального сегмента, чаще всего на каротидно-феморальном участке (кфСРПВ; м/с), оценивая скорость импульса, проходящего от сердца к сонной и бедренной артериям. Этот неинвазивный количественный метод рассматривается как «золотой стандарт». Способы регистрации СРПВ зависят от технического оснащения. В настоящее время основными методами регистрации пульсовой волны являются: пьезоэлектрический, аппланационно-тонометрический и осциллометрический супрасистолический [4]. СРПВ определяется делением расстояния импульсного перемещения между двумя точками измерения и временем прохождения импульса между этими точками. Регистрация артериального импульсного сигнала с помощью датчика давления проводится последовательно в двух точках измерения, где распространение пульсовой волны вычисляют при помощи одновременно регистрируемой электрокардиограммы. Определение СРПВ (кфСРПВ) является самым простым, неинвазивным и воспроизводимым методом оценки артериальной ригидности [10]. В клинических рекомендациях ESH/ESC (2013) как пороговое значение для взрослых больных АГ определена кфСРПВ 10 м/с. СРПВ больше этого порогового значения рассматривается как фактор кардиоваскулярного риска и признак субклинического поражения органов-мишеней [27].

Системную артериальную жёсткость оценивают на основании изменения диаметра сосудов при определённом уровне давления. Существующие приборы для определения системной артериальной жёсткости основаны на модели электрической цепи с последовательным соединением ёмкости и сопротивления. Данный метод не имеет доказательной базы, что не позволяет использовать его в клинической практике [4].

ВЛИЯНИЕ ВОЗРАСТА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА АРТЕРИЙ

Известно, что возраст является ведущим фактором, определяющим жёсткость артериальных сосудов. Повышение артериальной жёсткости вызвано потерей нормального эластина и увеличением аномального коллагена. Этот процесс является причиной ранних функциональных изменений в сосудистой стенке при физиологическом старении [9, 23].

В исследовании D.L. Newman et al. по данным аутопсии выявлено увеличение эластичности аорты в возрасте до 10 лет и её снижение к 69 годам [28]. Жёсткость эластических артерий значительно повышается после 55-летнего возраста [37]. У детей влияние возраста на сосудистую жёсткость менее ясно и может иметь зависимость от стадии полового созревания [19]. Многие исследования СРПВ у детей показывают её устойчивый рост с возрастом [14]. Однако в одном из продольных исследований аортальной СРПВ у здоровых детей от 3 до 18 лет обнаружено плато СРПВ в детском возрасте независимо от увеличения АД с последующим увеличением её по мере приближения к пубертату: в 10,4 года у девочек и в 12,1 года у мальчиков [19].

СТРУКТУРНЫЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ АРТЕРИЙ У ПОДРОСТКОВ С ОЖИРЕНИЕМ

У взрослых доказана ассоциация ожирения с инсулинорезистентностью, АГ, синдромом обструктивного апноэ сна, которые могут способствовать поражению интимы артерий и, в конечном итоге, увеличивать артериальную жёсткость [37]. У детей, как уже говорилось выше, связь сосудистой жёсткости и ожирения изучена недостаточно, а данные литературы противоречивы.

Так, при обследовании детей (средний возраст – 12 лет) C. Lydakis et al. установили, что показатели артериальной жёсткости у детей с ожирением и нормальным весом сопоставимы [26].

Результаты других исследований свидетельствуют о повышении СРПВ у детей с ожирением [1, 11, 17, 35]. Объяснением этих находок, по мнению V. García-Espinosa et al., может быть повышенный уровень АД, который часто наблюдается в этой когорте больных, и связанное с ним пассивное растяжение стенок сосудов. Однако E.M. Urbina et al. в своём исследовании пришли к выводу, что связанное с ожирением повышение артериальной жёсткости сохраняется, даже если контролировать такие факторы риска, как высокое АД и гиперлипидемия [35]. Одним из возможных объяснений этого может служить изменение у детей с ожирением биофизических свойств аорты, указывающее на снижение её эластических свойств [18, 30].

Результаты других исследований, наоборот, демонстрируют более низкую артериальную жёсткость у детей с ожирением, по сравнению со здоровыми детьми группы контроля [13, 20, 25]. Интересно, что в некоторых из них была показана ассоциация снижения СРПВ и увеличения артериального комплайенса с кардиометаболическими нарушениями: повышением уровня АД [12, 16], инсулинорезистентностью, дислипидемией и повышением уровня С-реактивного белка в плазме [34].

K.N. Hvidt et al. объясняют более низкую артериальную сосудистую жёсткость у детей с ожирением проявлением компенсаторного механизма, отвечающего на гиперкинетический кровоток, больший сердечный выброс и объём циркулирующей крови [20]. Возможным объяснением может быть также показанный в нескольких исследованиях больший диаметр артериальных сосудов у детей с ожирением, по сравнению с их сверстниками с нормальным весом [13, 16]. Больший диаметр артерий до определённого момента может компенсировать повышенное артериальное давление, но когда напряжение в стенке аорты превосходит точку естественной адаптации, аортальная жёсткость повышается. В этом плане интересны результаты проспективного исследования F. Dangardt et al., которые исходно описали более низкую каротидно-радиальную СРПВ у 14-летних подростков с ожирением, по сравнению с подростками группы контроля. Однако в течение пятилетнего периода наблюдения артериальная жёсткость у подростков с ожирением увеличилась на 25 %, по сравнению с 3 % у подростков с нормальным весом. При этом степень этого увеличения была положительно связана с исходным ИМТ [15, 16].

Как упоминалось выше, на степень сосудистой компенсации может влиять и стадия полового созревания. Так, было показано, что в допубертатном периоде девочки имеют большую артериальную жёсткость и меньший сосудистый комплайнс, чем мальчики, однако после пубертата комплайнс и жёсткость центральных артерий у подростков обоего пола становится сопоставимой, а жёсткость периферических артерий у девочек даже меньше [6, 31]. Вероятнее всего, эти находки связаны с действием эстрогенов, которые, как известно, влияют на структурные и функциональные свойства артериальных сосудов.

Учитывая то, что ожирение повышает частоту ССЗ в молодом возрасте [2, 3, 5], необходимо дальнейшее изучение механизмов сосудистого ремоделирования, а также исследование роли факторов, которые могут повлиять на артериальную структуру при ожирении у детей и подростков [37].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Жёсткость артерий рассматривают в качестве предиктора сердечно-сосудистых осложнений у взрослых. Однако вопрос о применении данного метода у детей остаётся нерешённым. Нет единого мнения о влиянии ожирения на артериальную ригидность. Неясны диагностические критерии определения жёсткости сосудистой стенки в детском возрасте. В то же время ожирение – это риск развития сердечно-сосудистых осложнений, что является показанием к проведению дальнейших исследований в данном направлении.

ЛИТЕРАТУРА REFERENCES

1. Болотова Н.В., Посохова Н.В., Новикова Е.П., Дронова Е.Г., Евсеева Е.А. Состояние сосудистой стенки у детей и подростков с метаболическим синдромом // Проблемы эндокринологии. – 2014. – № 2. – С. 8–12.
2. Bolotova NV, Posokhova NV, Novikova EP, Dronova EG, Evseeva EA. (2014). The state of the vascular wall in children and adolescents with metabolic syndrome [Sostoyaniye sosudistoy stenki u detey i podrostkov s metabolicheskim sindromom]. *Problemy endokrinologii*, (2), 8-12.
3. Загоруйко М.В., Бардымова Т.П., Рычкова Л.В. Ожирение у детей и подростков // Сибирский медицинский журнал (Иркутск). – 2010. – № 6. – С. 16–19.
4. Zagoruike MV, Bardymova TP, Rychkova LV. (2010). Obesity in children and adolescents [Ozhirenie u detey i podrostkov]. *Sibirskiy meditsinskiy zhurnal (Irkutsk)*, (6), 16-19.
5. Колесникова Л.И., Долгих В.В., Поляков В.М., Рычкова Л.В. Проблемы психосоматической патологии детского возраста. – Новосибирск: Наука, 2005. – 221 с.
6. Kolesnikova LI, Dolgikh VV, Polyakov VM, Rychkova LV. (2005). Problems of psychosomatic pathology of childhood [Problemy psikhosomaticheskoy patologii detskogo vozrasta], 221 p.
7. Милиагин В.А., Комиссаров В.Б. Современные методы определения жесткости сосудов // Артериальная гипертензия. – 2010. – Т. 16, № 2. – С. 1–10.
8. Milyagin VA, Komissarov VB. (2010). Modern methods of determining the rigidity of blood vessels [Sovremennyye metody opredeleniya zhestkosti sosudov]. *Arterial'naya gipertenziya*, 16 (2), 1-10.
9. Стародубова А.В., Кисляк О.А., Царева О.Н. Артериальная жесткость и оценка скорости пульсовой волны // Лечебное дело. – 2004. – № 2. – С. 80-86.
10. Starodubova AV, Kislyak OA, Tsareva ON. (2004). Arterial stiffness and assessment of pulse wave velocity [Arterial'naya zhestkost' i otsenka skorosti pul'sovoy volny]. *Lechebnoe delo*, (2), 80-86.
11. Ahimastos AA, Formosa M, Dart AM, Kingwell BA. (2003). Gender differences in large artery stiffness pre- and post-puberty. *J Clin Endocrinol Metab*, (88), 5375-5380.
12. Alastruey J, Hunt AA, Weinberg PD. (2014). Novel wave intensity analysis of arterial pulse wave propagation accounting for peripheral reflections. *Int J Numer Method Biomed Eng*, 30 (2), 249-279.
13. Asmar R. (2015). Effects of treatment on arterial stiffness and central blood pressure-points to consider. *J Clin Hypertens (Greenwich)*, 17 (2), 105-106.
14. Borlotti A, Khir AW, Rietzschel ER, De Buyzere ML, Vermeersch S, Segers P. (2012). Noninvasive determination of local pulse wave velocity and wave intensity: changes with age and gender in the carotid and femoral arteries of healthy human. *J Appl Physiol*, 113 (5), 727-735.
15. Butlin M, Qasem A. (2017). Large artery stiffness assessment using SphygmoCor technology. *Pulse (Basel)*, 4 (4), 180-192.
16. Celik A, Ozçetin M, Yerli Y, Damar IH, Kadi H, Koç F, Ceyhan K. (2011). Increased aortic pulse wave velocity in obese children. *Turk Kardiyol Dern Ars*, 39 (7), 557-562.
17. Chalmers LJ, Copeland KC, Hester CN, Fields DA, Gardner AW. (2011). Paradoxical increase in arterial compliance in obese pubertal children. *Angiology*, (62), 565-570.
18. Charakida M, Jones A, Falaschetti E, Khan T, Finan N, Sattar N, Hingorani A, Lawlor DA, Smith GD, Deanfield JE. (2012). Childhood obesity and vascular phenotypes: a population study. *J Am Coll Cardiol*, 60 (25), 2643-2650.
19. Cheung YF. (2010). Arterial stiffness in the young: assessment, determinants, and implications. *Korean Circ J*, 40 (4), 153-162.
20. Dangardt F, Chen Y, Berggren K, Osika W, Friberg P. (2013). Increased rate of arterial stiffening with obesity in adolescents: a five-year follow-up study. *PLoS One*, (8), e57454.
21. Dangardt F, Osika W, Volkmann R, Gan LM, Friberg P. (2008). Obese children show increased intimal wall thickness and decreased pulse wave velocity. *Clin Physiol Funct Imaging*, (28), 287-293.
22. García-Espinosa V, Curcio S, Castro JM, Arana M, Giachetto G, Chiesa P, Zócalo Y, Bia D. (2016). Children and adolescent obesity associates with pressure-dependent and age-related increase in carotid and femoral arteries' stiffness and not in brachial artery, indicative of non-intrinsic arterial wall alteration. *Int J Vasc Med*, 4916246.
23. Harris KC, Al Saloos HA, De Souza AM, Sanatani S, Hinchliffe M, Potts JE, Sandor GG. (2012). Biophysical properties of the aorta and left ventricle and exercise capacity in obese children. *Am J Cardiol*, 110 (6), 897-901. doi: 10.1016/j.amjcard.2012.05.019.
24. Hidvégi EV, Illyés M, Benczúr B, Böcskei RM, Rátgéber L, Lenkey Z, Molnár FT, Cziráki A. (2012). Reference values of aortic pulse wave velocity in a large healthy population aged between 3 and 18 years. *J Hypertens*, 30 (12), 2314-2321.

20. Hvidt KN, Olsen MH, Holm JC, Ibsen H. (2014). Obese children and adolescents have elevated nighttime blood pressure independent of insulin resistance and arterial stiffness. *Am J Hypertens*, 27 (11), 1408-1415.
21. Laurent S, Cockcroft J, Van Bortel L, Boutouyrie P, Giannattasio C, Hayoz D, Pannier B, Vlachopoulos C, Wilkinson I, Struijker-Boudier H, European Network for Non-invasive Investigation of Large Arteries. (2006). Expert consensus document on arterial stiffness: methodological issues and clinical applications. *Eur Heart J*, 27 (21), 2588-2605.
22. Laurent S, Katsahian S, Fassot C, Tropeano AI, Gautier I, Laloux B, Boutouyrie P. (2003). Aortic stiffness is an independent predictor of fatal stroke in essential hypertension. *Stroke*, 34 (5), 1203-1206.
23. Leloup AJ, Van Hove CE, Heykers A, Schrijvers DM, De Meyer GR, Franssen P. (2015). Elastic and muscular arteries differ in structure, basal NO production and voltage-gated Ca(2+)-channels. *Front Physiol*, (6), 375.
24. Lurbe E, Agabiti-Rosei E, Cruickshank JK, Dominiczak A, Erdine S, Hirth A, Invitti C, Litwin M, Mancia G, Pall D, Rascher W, Redon J, Schaefer F, Seeman T, Sinha M, Stabouli S, Webb NJ, Wühl E, Zanchetti A. (2016). 2016 European Society of Hypertension guidelines for the management of high blood pressure in children and adolescents. *J Hypertens*, 34 (10), 1887-1920.
25. Lurbe E, Torro I, Garcia-Vicent C, Alvarez J, Fernández-Fornoso JA, Redon J. (2012). Blood pressure and obesity exert independent influences on pulse wave velocity in youth. *Hypertension*, (60), 550-555.
26. Lydakis C, Stefanaki E, Stefanaki S, Thalassinou E, Kavousanaki M, Lydaki D. (2012). Correlation of blood pressure, obesity, and adherence to the Mediterranean diet with indices of arterial stiffness in children. *Eur J Pediatr*, 171 (9), 1373-1382.
27. Mancia G, Fagard R, Narkiewicz K, Redón J, Zanchetti A, Böhm M, Christiaens T, Cifkova R, De Backer G, Dominiczak A, Galderisi M, Grobbee DE, Jaarsma T, Kirchhof P, Kjeldsen SE, Laurent S, Manolis AJ, Nilsson PM, Ruilope LM, Schmieder RE, Sirnes PA, Sleight P, Viigimaa M, Waeber B, Zannad F, Task Force Members. (2013). 2013 ESH/ESC Guidelines for the management of arterial hypertension: the Task Force for the management of arterial hypertension of the European Society of Hypertension (ESH) and of the European Society of Cardiology (ESC). *J Hypertens*, 31 (7), 1281-1357.
28. Newman DL, Lallemand RC. (1978). The effect of age on the distensibility of the abdominal aorta of man. *Surg Gynecol Obstet*, 147 (2), 211-214.
29. Nichols WW, O'Rourke MF. (2005). McDonald's blood flow in arteries; theoretical, experimental and clinical principles. Oxford, 624.
30. Pac FA, Guray Y, Polat TB. (2010). Wall motion velocities of ascending aorta measured by tissue Doppler imaging in obese children. *Pediatr Int*, (52), 778-784.
31. Rossi P, Frances Y, Kingwell BA, Ahimastos AA. (2011). Gender differences in artery wall biomechanical properties throughout life. *J Hypertens*, (29), 1023-1033.
32. Safar ME. (2010). Can antihypertensive treatment reverse large-artery stiffening? *Curr Hypertens Rep*, 12 (1), 47-51.
33. Stefanadis C, Dernellis J, Tsiamis E, Stratos C, Diamantopoulos L, Michaelides A, Toutouzas P. (2000). Aortic stiffness as a risk factor for recurrent acute coronary events in patients with ischaemic heart disease. *Eur Heart J*, 21 (5), 390-396.
34. Tryggestad JB, Thompson DM, Copeland KC, Short KR. (2012). Obese children have higher arterial elasticity without a difference in endothelial function: the role of body composition. *Obesity*, (20), 165-171.
35. Urbina EM, Kimball TR, Khoury PR, Daniels SR, Dolan LM. (2010). Increased arterial stiffness is found in adolescents with obesity or obesity-related type 2 diabetes mellitus. *J Hypertens*, 28 (8), 1692-1698.
36. Van Bortel LM, Laurent S, Boutouyrie P, Chowienczyk P, Cruickshank JK, De Backer T, Filipovsky J, Huybrechts S, Mattace-Raso FU, Protogerou AD, Schillaci G, Segers P, Vermeersch S, Weber T, Artery Society, European Society of Hypertension Working Group on Vascular Structure and Function; European Network for Noninvasive Investigation of Large Arteries. (2012). Expert consensus document on the measurement of aortic stiffness in daily practice using carotid-femoral pulse wave velocity. *J Hypertens*, 30 (3), 445-448.
37. Wu CF, Liu PY, Wu TJ, Hung Y, Yang SP, Lin GM. (2015). Therapeutic modification of arterial stiffness: An update and comprehensive review. *World J Cardiol*, 7 (11), 742-753.
38. Zheng J, Ye P, Xiao WK, Luo LM, Wu HM. (2011). Correlations between different obese indexes and arterial stiffness among populations at the community level. *Zhonghua Liu Xing Bing Xue Za Zhi*, 32 (5), 465-48.

Сведения об авторах Information about the authors

Данилюк Любовь Викторовна – младший научный сотрудник лаборатории педиатрии и кардиоваскулярной патологии, ФГБНУ «Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека» (664003, г. Иркутск, ул. Тимирязева, 16; тел. (3952) 20-76-36; e-mail: danilyuk-ofd@yandex.ru)

Danilyuk Lyubov Viktorovna – Junior Research Officer at the Laboratory of Pediatrics and Cardiovascular Pathology, Scientific Centre for Family Health and Human Reproduction Problems (664003, Irkutsk, ul. Timiryazeva, 16; tel. (3952) 20-76-36; e-mail: danilyuk-ofd@yandex.ru)

Погодина Анна Валерьевна – доктор медицинских наук, заведующая лабораторией педиатрии и кардиоваскулярной патологии ФГБНУ «Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека» (e-mail: clinica_zam@inbox.ru)

Pogodina Anna Valerievna – Doctor of Medical Sciences, Head of the Laboratory of Pediatrics and Cardiovascular Pathology, Scientific Centre for Family Health and Human Reproduction Problems (e-mail: clinica_zam@inbox.ru)

Рычкова Любовь Владимировна – доктор медицинских наук, директор, ФГБНУ «Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека»

Rychkova Lyubov Vladimirovna – Doctor of Medical Sciences, Director, Scientific Centre for Family Health and Human Reproduction Problems