Дата публикации: 01.03.2023
DOI: 10.51871/2588-0500_2023_07_01_1
УДК 612.66; 612.17; 612.133

Publication date: 01.03.2023
DOI: 10.51871/2588-0500_2023_07_01_1
UDC 612.66; 612.17; 612.133

ВЛИЯНИЕ ВОЗРАСТНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ СОСУДИСТОЙ СТЕНКИ НА ПАРАМЕТРЫ ГЕМОДИНАМИКИ

И.В. Андреева[1], В.Б. Филимонов[1], В.К. Клочко[2], А.С. Григорьев[1,3]
[1]Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова, г. Рязань, Россия
[2]Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина, г. Рязань, Россия
[3]ГБУЗ Московской области «Коломенская ЦРБ», г. Коломна, Россия

Аннотация. Цель исследования – оценить влияние возрастных изменений сосудистой стенки на показатели кровотока в плечевой артерии. Исследование проведено на 117 взрослых пациентах, не имеющих клинических проявлений сердечно-сосудистых заболеваний, разделенных на возрастные группы. Методом компрессионной осциллометрии установлено, что с увеличением возраста снизились показатели пульсового артериального давления и податливости сосудистой стенки, в то время как показатели скорости распространения пульсовой волны и общего периферического сосудистого сопротивления достоверно увеличились, при этом все указанные показатели не превышали пороговых значений во всех возрастных группах. Линейная регрессионная модель показала, что 45% зависимостей от других переменных остаются неучтенными в данной модели, что требует дальнейшего поиска иных критериев.
Ключевые слова: сосудистый возраст, компрессионная осциллометрия, гемодинамика.

EFFECT OF AGE-RELATED CHANGES IN VASCULAR WALL ON HEMODYNAMIC PARAMETERS

I.V. Andreeva[1], V.B. Filimonov[1], V.K. Klochko[2], A.S. Grigor'ev[1,3]
[1]Ryazan State Medical University, Ryazan, Russia
[2]Ryazan State University of Radio Engineering named after V.F. Utkin, Ryazan, Russia
[3]Kolomna Central District Hospital, Kolomna, Russia

Annotation. The aim of the study was to evaluate the effect of age-related changes in the vascular wall on blood flow in the brachial artery. The study was conducted on 117 adult patients with no clinical signs of cardiovascular diseases, divided into age groups. By the method of compression oscillometry, we have found that with increasing age, the indicators of pulse blood pressure and vascular wall compliance decreased, while the indicators of pulse wave propagation velocity and total peripheral vascular resistance significantly increased. No indicators exceeded the threshold values in all age groups. The linear regression model revealed that 45% of dependencies on other variables remain unaccounted for in this model, which requires further search for other criteria.
Keywords: vascular age, compression oscillometry, hemodynamics.

Введение. Одним из актуальных вопросов современной возрастной физиологии кровообращения является изучение ранних критериев сосудистого старения. В связи с неуклонным ростом численности пациентов с цереброваскулярными заболеваниями особенно важным остается вопрос ранней диагностики этой патологии с целью предупреждения ее прогрессирования, профилактики мозговых осложнений и улучшения качества жизни [1-2]. Важную роль в развитии сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) играет атеросклероз, который начинает поражать артериальное русло уже в молодом возрасте [1, 3, 4]. Однако на сегодняшний день нет четкой грани между атеросклеротическим поражением и возраст-ассоциированными изменениями сосудистой стенки физиологического характера [5-7].

Механические свойства артериальных сосудов играют важную роль в обеспечении гемодинамики. Благодаря высокой эластичности аорта и другие сосуды эластического типа переводят энергию систолы сердца в сосудистую стенку и сглаживают (демпфируют) пульсовые волны, обеспечивая непрерывное движение крови во время диастолы. Отраженные волны в артериальном русле наслаиваются на проходящие пульсовые волны, усиливают (амплифицируют) их и тем самым сохраняют энергию пульсовой волны до капиллярного русла. Отраженные волны, распространяясь ретроградно, увеличивают аортальное диастолическое давление, создают градиент давления между центром и периферией и обеспечивают пропульсивную способность сердечно-сосудистой системы. При этом артериальные сосуды подвергаются постоянному физическому воздействию пульсовой волны. Это создает условия для появления дегенеративных изменений сосудистой стенки, разрушения эластина, замещения его коллагеном. Наблюдается старение сосудов, повышается их жесткость [8].

В настоящее время активно обсуждается концепция раннего сосудистого старения (Early Vascular Aging – EVA-синдром) [9-11]. Это состояние характеризуется качественными изменениями артериальной стенки (ремоделированием) и проявляется увеличением жесткости сосудов [8, 12, 13]. Дисфункция эндотелия признана универсальным механизмом, через который реализуется действие всех факторов риска развития ССЗ [14-17]. Как известно, главными факторами, повреждающими эндотелий, являются факторы риска атеросклероза. В настоящее время их насчитывают более 200 [5, 18].

«Сосудистый возраст» в целом может быть определен неинвазивно: путем измерения дисфункции эндотелия, скорости распространения пульсовой волны (СРПВ), центрального артериального давления, толщины комплекса интима-медиа общей сонной артерии [5, 10, 18]. Однако несмотря на большое количество параметров и маркеров сосудистого старения, на сегодняшний день не разработаны критерии дифференциальной диагностики возрастных изменений сосудистой стенки и ранних проявлений атеросклероза. Функциональные показатели сердечно-сосудистой системы, которые, предположительно, коррелируют с морфофункциональным состоянием артерий и вен, в возрастном аспекте изучены недостаточно [19-21].

Цель исследования – оценить влияние возрастных изменений сосудистой стенки на показатели кровотока в плечевой артерии.

Методы и организация исследования. Исследование проведено на 117 пациентах, не имеющих клинических проявлений ССЗ. Из них было 56 (47,86%) женщин и 61 (52,14%) мужчина. В исследование включали практически здоровых людей, не имеющих выраженных хронических заболеваний, не принимающих медикаменты в постоянном режиме, преимущественно ведущих здоровый образ жизни, давших письменное информированное согласие на участие в исследовании. Из исследования были исключены лица, имеющие органические заболевания сердечно-сосудистой и нервной системы, врожденные краниовертебральные аномалии и аномалии развития сосудов головы и шеи, перенесшие острые сердечно-сосудистые события, а также имеющие инфекционные, эндокринные, гематологические заболевания, выраженные поражения печени, почек, дыхательной, опорно-двигательной системы, беременных и находящихся в процессе лактации женщин, по данным обследований в медицинской карте и результатов ежегодных лабораторных обследований, заключений невролога. В первую группу вошло 13 человек, соответствующих юношескому возрасту, во вторую – 25 человек I периода зрелого возраста, в третью – 37 человек, соответствующих II периоду зрелого возраста, в четвертую – 34 человека пожилого возраста, в пятую – 8 человек старческого возраста согласно Возрастной периодизации онтогенеза человека (Москва, 1965).

Всем обследованным проводили измерение показателей центральной и периферической гемодинамики с помощью компрессионной осцилометрии высокого разрешения (КОВР) на аппарате ЭДТВ «Гемодин». Методика осциллометрического метода НИАД, предложенная Etienne Jules Marey (1880), предполагает регистрацию объемных артериальных осциллограмм – оценку изменения объема (ΔV) участка тканей под компрессионной манжетой (объемная осциллометрия) или скорости ΔV участка тканей (скоростная объемная осциллометрия). Для этого в частности используется формула Бремзера-Ранке в редакции академика Н.Н. Савицкого. Объемно-компрессионная осциллограмма плечевой артерии позволяет различить несколько участков, отражающих фазы сокращения сердца. В итоге компьютерной обработки, включающей математические и графические методики определения точек перегибов осциллографической кривой, определяются: систолическое артериальное давление (АД) – последний наиболее выраженный зубец перед резким падением амплитуды осцилляций; диастолическое АД – первый наиболее выраженный зубец; среднее АД – первый максимальный зубец (максимальная амплитуда осцилляции), пульсовое АД (ПАД) [22]. Методом КОВР получены показатели сердечного выброса (или минутного объема кровообращения – МОК), ударного объема сердца, а также расчетные показатели (сердечный индекс, ударный индекс, общая СРПВ, удельное периферическое сосудистое сопротивление (УПСС).

Цифровые данные обрабатывали методами вариационной статистики с помощью программы “StatSoft Statistica 13.0” (США, номер лицензии AXA003J115213FAACD-X, Statsoft.ru) и Microsoft Excel for MAC ver. 16.24 (ID 02984-001-000001). Определяли среднюю арифметическую выборки (M); ошибку средней арифметической выборки (m); вероятность ошибки (P); квартиль – отношение медианы к максимальному и минимальному показателям выборки (δ), t-критерий Стьюдента. Характер распределения полученных данных оценивали по критерию Шапиро-Уилка. При распределении данных, отличном от нормального, в независимых выборках статистическую значимость различий оценивали по U-критерию Манна-Уитни. Наличие связи между исследуемыми группами определяли с помощью коэффициента корреляции Пирсона (R).

Результаты исследования и их обсуждение. Методом КОВР выявлены возрастные изменения показателей центральной и периферической гемодинамики. В группе лиц юношеского возраста индекс массы тела (ИМТ) не превышал порогового значения (24,24±2,77), однако в группе было 30,77% молодых людей с избыточной массой тела. В I периоде зрелого возраста средний ИМТ также не превышал верхний порог нормы (24,28±2,39), но в группе было 40% лиц с избыточной массой тела. В группе обследованных II периода зрелого возраста средний ИМТ составил 28,80±4,15, среди них было 35,14% лиц с избыточной массой тела и 43,24% лиц с ожирением различной степени. В группе пожилого возраста ИМТ достиг максимального значения среди обследованных (28,79±3,53), среди них было 35,29% лиц с избыточной массой тела и 41,18% лиц с ожирением различной степени. В старческом возрасте средний ИМТ составил 27,76±4,67, среди них было 50% лиц с избыточной массой тела и 25% лиц с ожирением различной степени. Выраженных половых различий ИМТ не обнаружено: средний показатель ИМТ у мужчин составил 27,11±3,39, у женщин – 27,34±4,44 (R=0,15). В целом в группе ИМТ был повышен у 76,32% лиц.

Показатель ПАД составил в юношеском возрасте 49,09±5,36 мм, в I периоде зрелого возраста – 44,24±1,49 мл, во II периоде зрелого возраста – 46,29±1,51 мл, в пожилом возрасте – 49,00±1,99 мл, в старческом возрасте – 49,00±0,50 мл, т. е. средние значения показателя ПАД во всех возрастных группах не выходили за рамки общепринятой нормы. Статистические

различия показателя между исследуемыми возрастными группами не значимы. Показатель ПАД у мужчин (45,62±1,72 мл) был ниже, чем показатель у женщин (48,91±2,94 мл) (R=0,47).

Показатель податливости сосудистой стенки составил в юношеском возрасте 2,09±0,37 $м^2×Па^{-1}$, в I периоде зрелого возраста – 1,94±0,32 $м^2×Па^{-1}$, во II периоде зрелого возраста – 2,09±0,24 $м^2×Па^{-1}$, в пожилом возрасте – 2,02±0,33 $м^2×Па^{-1}$, в старческом возрасте – 1,75±0,18 $м^2×Па^{-1}$. Показатель уменьшился в старческом возрасте по сравнению с юношеским (R=0,76), что свидетельствует о снижении податливости стенки плечевой артерии в старческом возрасте. Средний показатель податливости у мужчин (2,01±0,33 $м^2×Па^{-1}$) был ниже, чем показатель у женщин (2,03±0,25 $м^2×Па^{-1}$) (R=0,69).

Показатель общего периферического сосудистого сопротивления (ОПСС) в юношеском возрасте составил 1193,91±206,99 дин×$см^{-5}$×с, в I периоде зрелого возраста показатель увеличился до 1747,35±443,05 дин×$см^{-5}$×с, во II периоде зрелого возраста – уменьшился до 1463,88±250,95 дин×$см^{-5}$×с, в пожилом – увеличился до 1498,36±370,74 дин×$см^{-5}$×с, в старческом – уменьшился до 1403,25±199,31 дин×$см^{-5}$×с (норма 700-1600 дин×$см^{-5}$×с). Выявлена заметная сила корреляционной связи между показателями ОПСС в группах юношеского и пожилого возраста (R=0,46). Средний показатель ОПСС у мужчин (1419,14±247,41 дин×$см^{-5}$×с) был ниже, чем показатель у женщин (1560,08±428,28 дин×$см^{-5}$×с) (R=0,64).

Показатель СРПВ незначительно увеличился с возрастом – от 646,09±80,64 см/с до 660,00±101,50 см/с в пожилом возрасте. Выявлена заметная сила корреляционной связи между показателями СРПВ в группах юношеского и пожилого возраста (R=0,46). Обращает внимание то, что показатель во всех возрастных группах находился в пределах нормальных значений (500-800 см/с). Средний показатель СРПВ у мужчин (675,80±113,01 см/с) был достоверно выше, чем показатель у женщин (632,71±114,12 см/с) (R=0,79).

Так как СРПВ считают одним из основных критериев, характеризующих жесткость сосудистой стенки и соответственно сосудистый возраст, мы провели исследование влияния выбранных показателей (возраст, ИМТ, ПАД, податливость сосудистой стенки, ОПСС на СРПВ в плечевой артерии путем построения линейной регрессионной модели. При этом получена многомерная выборка объема m=117 следующих показателей: x_1 − податливость сосудистой стенки, x_2 − УПСС, x_3 − ПАД, x_4 − возраст, x_5 − ИМТ, y − СРПВ:

$$x_1(i),x_2(i),x_3(i),x_4(i),x_5(i),y(i), \quad (1)$$
$$i=1, 2, ..., m.$$

Исследовали влияние показателей x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 (независимые переменные) на показатель y − зависимую переменную.

В результате проведенных исследований получена линейная регрессионная зависимость вида:

$$y=a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5, \quad (2)$$

где a_j − коэффициенты регрессии. Проведены оценка адекватности полученной линейной регрессионной модели и исследование влияния независимых переменных на зависимую переменную.

Адекватность линейной регрессионной модели оценивалась коэффициентом детерминации R^2, который вычислялся по формуле:

$$R^2 = \sum_{i=1}^{m} (\hat{y}(i) - \bar{y})^2 / \sum_{i=1}^{m} (y(i) - \bar{y})^2, 0 \le R^2 \le 1, \quad (3)$$

где $\hat{y}(i) = a_0 + \sum_{j=1}^{n} a_j x_j(i)$, $\bar{y} = \sum_{i=1}^{m} y(i)/m$.

Коэффициент детерминации (R^2) считается наиболее эффективной оценкой адекватности регрессионной модели и показывает, какая часть вариации зависимой переменной обусловлена вариацией независимых переменных.

Дополнительно адекватность оценивалась точностью модели ε − абсолютным относительным отклонением измеренного значения $y(i)$ относительно его модельного значения $\hat{y}(i)$:

$$\varepsilon = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\left|\frac{y(i) - \hat{y}(i)}{y(i)}\right| \cdot 100 \ \% . \qquad (4)$$

Приемлемым считается ε = 5 – 15%.

По выборке данных было построено несколько регрессионных моделей:

1) $\hat{y} = 858{,}64 - 130{,}81 \cdot x_1 - 4{,}631 \cdot x_2 + 1{,}098 \cdot x_3 + 1{,}506 \cdot x_4 - 0{,}507 \cdot x_5$, $R^2 = 0{,}55$, ε=11,2%;

2) $\hat{y} = 843{,}82 - 128{,}82 \cdot x_1 - 4{,}678 \cdot x_2 + 1{,}130 \cdot x_3 + 1{,}464 \cdot x_4$, R^2=0,55, ε=11,2%;

3) $\hat{y} = 906{,}46 - 125{,}45 \cdot x_1 - 4{,}756 \cdot x_2 + 1{,}253 \cdot x_3$, R^2=0,51, ε=12,1%;

4) $\hat{y} = 872{,}77 - 172{,}15 \cdot x_1$, R^2=0,36, ε=15,26%.

Наиболее адекватной из регрессионных моделей была следующая:

$$\hat{y} = 843{,}82 - 128{,}82 \cdot x_1 - 4{,}678 \cdot x_2 + 1{,}130 \cdot x_3 + 1{,}464 \cdot x_4,$$

где переменная x_4 в большей степени коррелирована с y, чем x_5.

По коэффициенту детерминации R^2=0,55 можно заключить, что 45% зависимостей от других переменных остаются неучтенными в данной модели. Модель можно признать удовлетворительной (слабой, но приемлемой). Показатель точности составил ε = 11%.

Рассмотрим пример исследования влияния независимой (объясняющей) переменной x_4 – возраст на зависимую переменную в модели:

$$\hat{y} = 843{,}82 - 128{,}82 \cdot x_1 - 4{,}678 \cdot x_2 + 1{,}130 \cdot x_3 + 1{,}464 \cdot x_4.$$

Придадим частное приращение Δx_4=10 переменной x_4 относительно $x_4=x_{4p}$ при фиксированных значениях остальных независимых переменных $x_1=x_{1p}$, $x_2=x_{2p}$, $x_3=x_{3p}$ например: x_{1p}=1,5, x_{2p}=30, x_{3p}=50, x_{4p}=20.

При этом зависимая переменная $\hat{y}$ получает приращение:

$$\Delta y = \hat{y}(x_{1p}, x_{2p}, x_{3p}, x_{4p} + \Delta x_4) - \hat{y}(x_{1p}, x_{2p}, x_{3p}, x_{4p}) = 1{,}464 \cdot \Delta x_4 \approx 15$$

относительно начального значения $\hat{y}_p = y(x_{1p}, x_{2p}, x_{3p}, x_{4p})$=596, то есть скорость кровотока увеличивается на 15 ед. при увеличении параметра x_4 на 10 ед. при фиксированных параметрах x_{1p}, x_{2p}, x_{3p}.

Таким же образом можно проследить влияние изменения любого числа выбранных параметров на изменение y относительно $\hat{y}_p$.

Заключение. Выявлены возрастные изменения показателей центральной и периферической гемодинамики у людей, не имеющих клинических проявлений ССЗ. С увеличением возраста снизились показатели ПАД и податливости сосудистой стенки, в то время как показатели СРПВ и УПСС достоверно увеличились, при этом все указанные показатели не превышали пороговых значений во всех возрастных группах. Важным фактором выступило повышение ИМТ у 30,77% обследованных юношеского возраста, 40% лиц в I периоде зрелого возраста, 78,38% лиц II периода зрелого возраста, 76,47% в пожилом возрасте и 75% в старческом возрасте. Линейная регрессионная модель показала, что исследованные показатели у здоровых людей предоставляют некоторые возможности для оценки сосудистого возраста. Исследование влияния показателей ИМТ, ПАД, податливости сосудистой стенки и УПСС на СРПВ в плечевой артерии показало, что 45% зависимостей от других переменных остаются неучтенными в данной модели, соответственно эти переменные необходимо выявить и изучить.

Метод КОВР предоставляет очевидные возможности для быстрой оценки состояния центральной и периферической гемодинамики: простота использования метода, абсолютная безопасность, отсутствие дополнительных датчиков и расходных материалов. Однако у КОВР есть ограничения, свойственные любому методу, основанному на анализе пульсовой волны [22].

В перспективе дальнейших исследований целесообразно проводить наблюдение за показателями центральной и периферической гемодинамики на протяжении жизни индивида, осуществлять поиск

более надежных ранних маркеров сердечно-сосудистой патологии, проводить корреляционный анализ данных КОВР с результатами других инструментальных методов исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ежов, М. В. Последние достижения в ведении атеросклероза и гиперлипидемии / М. В. Ежов // Медицинский совет. – 2017. – № 7. – С. 5-10.
2. Гендерные особенности в оценке ранних клинико-гемодинамических и метаболических параметров дисфункции эндотелия у пациентов высокого сосудистого риска с наличием мультифокального атеросклероза / А. Х. Хасанов, Р. А. Давлетшин, И. М. Карамова, З. С. Кузьмина // Трудный пациент. – 2018. – Т. 16. – № 10. – С. 11-15. DOI: 10.24411/2074-1995-2018-10014.
3. Зоткин, Е. Г. Воспалительная теория старения, возраст-ассоциированные заболевания и остеоартрит / Е. Г. Зоткин, И. С. Дыдыкина, А. М. Лила // Русский медицинский журнал. – 2020. – № 7. – С. 33-38.
4. Adams, J. M. Biological ageing. A fundamental, biological link between socio-economic status and health? / J. M. Adams, M. White // Eur. J. Pub. Health. – 2004. – Vol. 14. – pp. 331-334.
5. Троицкая, Е. А. Концепция сосудистого возраста: новый инструмент оценки сердечно-сосудистого риска / Е. А. Троицкая, С. В. Вельмакин, Ж. Д. Кобалава // Артериальная гипертензия. – 2017. – Т. 23. – № 2. – С. 160-171. DOI: 10.18705/1607-419X-2017-23-2-160-171.
6. Матькова, И. Н. На амбулаторном приеме пациент с избыточной массой тела, считающий себя здоровым / И. Н. Матькова, И. А. Крылова, К. Б. Мукенова // Наука молодых (Eruditio Juvenium). – 2021. – Т. 9. – № 1. – С. 91-100. DOI: 10.23888/HMJ20219191-100.
7. Андреева, И. В. Тканевые биомаркеры раннего сосудистого старения / И. В. Андреева, А. С. Григорьев, Н. В. Калина // Digital Diagnostics. – 2021. – Т. 2. – Выпуск 2. – С. 8-9.
8. Милягин, В. А. Определение раннего ремоделирования (старения) сосудов / В. А. Милягин, Ю. Н. Лексина, И. В. Милягина // Архивъ внутренней медицины. – 2012. – № 2(4). – С. 46-50.
9. The effects of social status on biological aging as measured by white-blood-cell telomere length / Cherkas L. F., Aviv A., Valdes A. M. [et al] // Aging Cell. – 2006. – Vol. 5. – pp. 61-65. DOI: 10.1111/j.1474-9726.2006.00222.x.
10.Ротарь, О. П. Сосудистое старение в концепциях EVA и SUPERNOVA: непрерывный поиск повреждающих и протективных факторов / О. П. Ротарь, К. М. Толкунова // Артериальная гипертензия. – 2020. – Т. 26, № 2. – С. 133-145. DOI: 10.18705/1607-419X-2020-26-2-133-145.
11.Nilsson, P. M. Early Vascular Aging in Hypertension / P. M. Nilsson // Frontiers in Cardiovascular Medicine. – 2020. – Vol. 7. – pp. 1-5. DOI: 10.3389/fcvm.2020.00006.
12.Синкевич, Д. А. Концепция «сосудистого возраста» как новый подход к оценке сердечно-сосудистого риска / Д. А. Синкевич, К. В. Протасов, А. А. Дзизинский // Сибирский медицинский журнал. – 2011. – № 6. – С. 9-13.
13.Динамика показателей толщины комплекса интима-медиа, жесткости сосудистой стенки, суточного мониторирования артериального давления у больных ранним псориатическим артритом в результате терапии ингибитором фактора некроза опухоли-альфа / Е. И. Маркелова, Д. С. Новикова, Т. В. Коротаева, Е. Ю. Логинова // Рациональная Фармакотерапия в Кардиологии. – 2018. – Т. 14. – № 5. – С. 711-715. DOI: 10.20996/1819-6446-2018-14-5-711-715.
14.Вьюницкая, Л. В. Маркеры дисфункции эндотелия / Л. В. Вьюницкая // Лабораторная диагностика. Восточная Европа. – 2015. – № 3-4 (15-16). – С. 37-51.
15.Эндотелий *in vivo* и *in vitro*. Часть 1: гистогенез, структура, цитофизиология и ключевые маркеры / Стрельникова Е. А., Трушкина П. Ю., Суров И. Ю. [и др.] // Наука молодых (Eruditio Juvenium). – 2019. – Т. 7. – № 3. – С. 450-465. DOI: 10.23888/HMJ201973450-465.
16.Васина, Л. В. Эндотелиальная дисфункция и ее основные маркеры / Л. В. Васина, Н. Н. Петрищев, Т. Д. Власов // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2017. – Т. 16. – № 1(61). – С. 4-15.
17.Эндотелиальная дисфункция при мышечных дистрофиях / Р.Е. Калинин, И.А. Сучков, Н.Д. Мжаванадзе, Н.В. Короткова // Наука молодых (Eruditio Juvenium). – 2021. – Т. 9. – № 2. – С. 326-334. DOI: 10.23888/HMJ202192326-334.
18.Старение сосудов: основные признаки и механизмы / И. Д. Стражеско, Д. У. Акашева,

Е. Н. Дудинская, О. Н. Ткачева // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2012. – Т. 11. – № 4. – С. 93-100.

19.Синдром раннего старения сосудов: научная гипотеза, или новая стратегия органопротекции / Черняк С. В., Нечесова Т. А., Ливенцева М. М. [и др.] // Лечебное дело. – 2014. – № 4. – С. 45-48.

20.Вариабельность артериального давления и ритма сердца у больных с ишемической болезнью сердца и сахарным диабетом, влияние ингибитора натрийглюкозного ко-транспортера 2 типа / Коцкая А. В., Салайчук Е. В., Кудинов В. И. [и др.] // Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова. – 2021. – Т. 29. – № 4. – С. 489-496. DOI: 10.17816/PAVLOVJ72376.

21.Андреева, И. В. Возрастные изменения показателей центральной гемодинамики / И. В. Андреева, А. С. Григорьев, Н. В. Калина // Радиология-2022: Материалы XVI Всероссийского национального конгресса лучевых диагностов и терапевтов, 24-26 мая 2022 г. – Московская область, г. Красногорск, 2022. – С. 124.

22.Мазурок, В. А. Объемно-компрессионная осциллометрия для оценки производительности сердца / В. А. Мазурок // Вестник интенсивной терапии. – 2017. – № 2. – С. 55-60. DOI: 10.21320/1818-474X-2017-2-55-60.

REFERENCES

1. Ezhov M.V. Recent progress in the management of atherosclerosis and hyperlipidemia *Medical Council*, 2017, vol. 7, pp. 5-10. (in Russ.)

2. Khasanov A.Kh., Davletshin R.A., Karamova I.M., Kuzmina Z.S. Gender Features in Assessing Early Clinical Hemodynamic and Metabolic Parameters of Endothelial Dysfunction in Patients with High Vascular Risk with the Presence of Multifocal Atherosclerosis. *Difficult patient*, 2018, vol. 16, no. 10, pp. 11-15. DOI: 10.24411/2074-1995-2018-10014. (in Russ.)

3. Zotkin E.G., Dydykina I.S., Lila A.M Inflammaging, age-related diseases and osteoarthritis. *Russian Medical Journal*, 2020, vol. 7, pp. 33-38. (in Russ.)

4. Adams J.M., White M. Biological ageing. A fundamental, biological link between socio-economic status and health? *Eur. J. Pub. Health*, 2004, vol. 14, pp. 331-334.

5. Troitskaya E.A., Velmakin S.V., Kobalava Z.D. Concept of vascular age: new tool in cardiovascular risk assessment. *Arterial Hypertension*, 2017, vol. 23, no. 2, pp. 160-171. DOI: 10.18705/1607-419X-2017-23-2-160-171. (in Russ.)

6. Mat'kova I.N., Krylova I.A., Mukenova K.B. A patient with increased body weight who considers himself healthy, on outpatient visit. *Science of the Young (Eruditio Juvenium)*, 2021, vol. 9, no. 1, pp. 91-100. DOI: 10.23888/HMJ20219191-100. (in Russ.)

7. Andreeva I.V., Grigoriev A.S., Kalina N.V. Tissue biomarkers of early vascular aging. *Digital Diagnostics*, 2021, vol. 2, issue 2, pp. 8-9. (in Russ.)

8. Milyagin V.A., Leksina Yu.N., Milyagina I.V. Determination of early remodeling (aging) of vessels. *The Russian Archives of Internal Medicine*, 2012, vol. 2, no. 4, pp. 46-50. (in Russ.)

9. Cherkas L.F., Aviv A., Valdes A.M., Hunkin J.L., Gardner J.P., Surdulescu G.L., Kimura M., Spector T.D. The effects of social status on biological aging as measured by white-blood-cell telomere length. *Aging Cell*, 2006, vol. 5, pp. 61-65. DOI: 10.1111/j.1474-9726.2006.00222.x.

10.Rotar' O.P., Tolkunova K.M. EVA and SUPERNOVA concepts of vascular aging: ongoing research on damaging and protective risk factors. *Arterial Hypertension*, 2020, vol. 26, no. 2, pp.133-145. DOI: 10.18705/1607-419X-2020-26-2-133-145. (in Russ.)

11.Nilsson P.M. Early Vascular Aging in Hypertension. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, 2020, vol. 7, pp. 1-5. DOI: 10.3389/fcvm.2020.00006.

12.Sinkevich D.A., Protasov K.V., Dzizinsky A.A. The concept of "vascular age" as a new approach to the assessment of cardiovascular risk. *The Siberian Medical Journal*, 2011, vol. 6, pp. 9-13. (in Russ.)

13.Markelova E.I., Novikova D.S., Korotaeva T.V., Loginova E.Yu. Dynamics of Carotid Intima-Media Thickness, Parameters of Arterial Stiffness and Ambulatory Blood Pressure Monitoring during Therapy with Inhibitor of Tumor Necrosis Factor-Alpha in Patients with Early Psoriatic Arthritis. *Rational Pharmacotherapy in Cardiology*, 2018, vol. 14, no. 5, pp. 711-715. DOI: 10.20996/1819-6446-2018-14-5-711-715. (in Russ.)

14.Vyunitskaya L.V. Endothelial dysfunction markers. *Laboratory diagnostics. Eastern Europe*, 2015, vol. 3-4, no. 15-16, pp. 37-51. (in Russ.)

15.Strelnikova E.A., Trushkina P.Y., Surov I.Y., Korotkova N.V., Mzhavanadze N.D., Deev R.V. Endothelium in vivo and in vitro. Part 1: histogen-

esis, structure, cytophysiology and key markers. *Science of the Young (Eruditio Juvenium)*, 2019, vol. 7, no. 3, pp. 450-465. DOI: 10.23888/HMJ201973450-465. (in Russ.)
16.Vasina L.V., Petrishchev N.N., Vlasov T.D. Markers of endothelial dysfunction. *Regional blood circulation and microcirculation*, 2017, vol. 16, no. 1(61), pp. 4-15. (in Russ.)
17.Kalinin R.E., Suchkov I.A., Mzhavanadze N.D., Korotkova N.V. Endothelial dysfunction in muscular dystrophies. *Science of the Young (Eruditio Juvenium)*, 2021, vol. 9, no. 2, pp. 326-34. DOI: 10.23888/HMJ202192326-334. (in Russ.)
18.Strazhesko I.D., Akasheva D.U., Dudinskaya E.N., Tkacheva O.N. Vascular ageing: main symptoms and mechanisms. *Cardiovascular Therapy and Prevention*, 2012, vol. 11, no. 4, pp. 93-100. (in Russ.)
19.Chernyak S.V., Nechesova T.A., Liventseva M.M., Korobko I.Yu., Yakush N.A. Early vascular aging syndrome: a scientific hypothesis, or a new strategy of organoprotection. *Lechebnoe delo*, 2014, vol. 4, pp. 45-48. (in Russ.)
20.Kotskaya A.V., Salajchuk E.V., Kudinov V.I., Terent'yev V.P., Lankina M.S. Variability of arterial pressure and cardiac rhythm in patients with coronary heart disease and diabetes mellitus: effect of sodium-glucose co-transporter 2 inhibitor. *I.P. Pavlov Russian Medical Biological Herald*, 2021, vol. 29, no. 4, pp. 489–496. DOI: 10.17816/PAVLOVJ72376. (in Russ.)
21.Andreeva I.V. Grigor'ev A.S., Kalina N.V. Age-related changes in central hemodynamics. Radiology-2022: Materials of the XVI All–Russian National Congress of Radiation Diagnosticians and Therapists, May 24-26, 2022. Moscow region, Krasnogorsk, 2022. p. 124. (in Russ.)
22.Mazurok V.A. Volumetric Compressive Oscillometry for Cardiac Output Evaluation. *Intensive Care Herald*, 2017, vol. 2, pp. 55-60. DOI: 10.21320/1818-474X-2017-2-55-60. (in Russ.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Ирина Владимировна Андреева – доктор медицинских наук, профессор кафедры урологии с курсом хирургических болезней, ФГБОУ ВО Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова Минздрава России; зав. отделением функциональной и ультразвуковой диагностики ГБУ Рязанской области «Государственная клиническая больница скорой медицинской помощи», Рязань, e-mail: prof.andreeva.irina.2012@yandex.ru.
Виктор Борисович Филимонов – доктор медицинских наук, профессор, зав. кафедрой урологии с курсом хирургических болезней, ФГБОУ ВО Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова Минздрава России; главный врач ГБУ Рязанской области «Государственная клиническая больница скорой медицинской помощи», Рязань, e-mail: v.filimonov@rzgmu.ru.
Владимир Константинович Клочко – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры автоматики и информационных технологий в управлении, ФГБОУ ВО Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина, Рязань, e-mail: klochkovk@mail.ru.
Алексей Сергеевич Григорьев – соискатель, ФГБОУ ВО Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова, Рязань; врач-уролог, врач ультразвуковой диагностики ГБУЗ Московской области «Коломенская ЦРБ», Коломна, e-mail: aleksey130379@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Irina Vladimirovna Andreeva – Doctor of Medical Sciences, Professor, Professor of the Department of Urology with a course of surgical diseases, Ryazan State Medical University; Head of the Functional and Ultrasound Diagnostics Department, Ryazan City Clinical Emergency Care Hospital, Ryazan, e-mail: prof.andreeva.irina.2012@yandex.ru.
Viktor Borisovich Filimonov – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Urology with a course of surgical diseases, Ryazan State Medical University; Chief Physician, Ryazan City Clinical Emergency Care Hospital, Ryazan, e-mail: v.filimonov@rzgmu.ru.
Vladimir Konstantinovich Klochko – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Automation and Information Technologies in the Management, Ryazan State University of Radio Engineering named after V.F. Utkin, Ryazan, e-mail: klochkovk@mail.ru.

Aleksej Sergeevich Grigor'ev – External Doctorate Student, Ryazan State Medical University; Urologist, Ultrasound Diagnostics Doctor, Kolomna Central District Hospital, Kolomna, e-mail: aleksey130379@yandex.ru.

Для цитирования: Влияние возрастных изменений сосудистой стенки на параметры гемодинамики / И. В. Андреева, В. Б. Филимонов, В. К. Клочко, А. С. Григорьев // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7. – № 1. DOI: 10.51871/2588-0500_2023_07_01_1

For citation: Andreeva I.V., Filimonov V.B., Klochko V.K., Grigor'ev A.S. Effect of age-related changes in vascular wall on hemodynamic parameters. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 1. DOI: 10.51871/2588-0500_2022_07_01_1