

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

УДК 616.1/4 - 76.29.30

DOI 10.21685/2072-3032-2016-2-11

И. В. Авдеева, Е. А. Мельникова, В. Э. Олейников

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ОЦЕНКА СВОЙСТВ СОСУДИСТОЙ СТЕНКИ: ВОЗМОЖНОСТИ XXI ВЕКА

Аннотация.

С учетом высоких показателей заболеваемости, инвалидизации и смертности от сердечно-сосудистой патологии во всем мире очевидна необходимость поиска и широкого внедрения методов ранней диагностики кардиоваскулярных заболеваний уже на стадии доклинического поражения. Поэтому представляет несомненный интерес внедрение новых методик оценки артериальной ригидности для стратификации сердечно-сосудистого риска и выбора целей терапевтических вмешательств. В настоящем обзоре рассмотрены современные аспекты оценки локальной жесткости артериальной стенки. Приведены данные о возможностях ультразвуковой диагностики как в стандартном В-режиме, так и с помощью новой методики эхотрекинга. Описаны программные приложения эхотрекинга, приведены показатели, характеризующие локальную жесткость. Несомненным преимуществом описываемой методики является получение результатов, минимально зависящих от предустановок исследователя. Приведены данные по значениям ориентировочной нормы исследуемых показателей в разных возрастных подгруппах, по динамике анализируемых параметров на фоне медикаментозной терапии показана диагностическая и прогностическая ценность получаемых параметров.

Ключевые слова: структурно-функциональные свойства артерий, эхотрекинг, атеросклероз.

I. V. Avdeeva, E. A. Mel'nikova, V. E. Oleynikov

ULTRASOUND ASSESSMENT OF VASCULAR WALL PROPERTIES: OPPORTUNITIES OF THE XXI CENTURY

Abstract.

Given the high rates of morbidity, disability and mortality from cardiovascular diseases in the world, there is a need to find clear and widespread introduction of methods of early diagnosis of cardiovascular diseases at the stage of pre-clinical lesions. Therefore, introduction of new methodologies for assessing vascular stiffness to stratify cardiovascular risks and targeting therapeutic interventions is of great interest. This review deals with modern aspects of evaluation of local stiffness of the arterial wall. The authors introduce the data on diagnostic capabilities of ultrasound both in a standard B-mode and with the help of a new technique of echo-tracking. The article describes echo-tracking software applications and the parameters characterizing the local stiffness. The undoubted advantage of the described method is a capability of obtaining the results of measurement with the minimum dependence on user's presets. The article gives the data on values of the estimated norms of the studied parameters for different age groups, on the dynamics of the parameters ana-

lyzed against the background of drug therapy. The article shows diagnostic and prediction value of the received parameters.

Key words: structural and functional properties of arteries, echo-tracking, atherosclerosis.

Введение

Заболеваемость, инвалидизация и смертность от сердечно-сосудистой патологии во всем мире остается высокой, несмотря на несомненные успехи современной фармакологии и кардиохирургии. Очевидна необходимость поиска и широкого внедрения методов ранней диагностики кардиоваскулярных заболеваний уже на стадии доклинического поражения органов-мишеней, формирование единого алгоритма профилактического обследования для стратификации групп риска и выработки тактики их дальнейшего лечения [1, 2]. Повреждение (особенно атеросклеротического генеза) аорты, сонных и бедренных артерий является значимым маркером возникновения сердечно-сосудистой патологии. Эластические артерии обеспечивают не только проведение волны крови к периферии, но и поглощение волны давления, формирующейся в результате сердечного выброса [3–7]. Диагностика изменения свойств артериальной стенки является важным направлением практической медицины. Так, большинство пациентов с артериальной гипертензией (АГ), находящихся под наблюдением участкового врача, – это лица с умеренно выраженным каротидным атеросклерозом (сужение сонных артерий менее 50 %) [8]. Мультифокальное атеросклеротическое поражение коронарного русла, каротидного бассейна и периферических артерий встречается, по данным разных авторов, в 30–65 % случаев [9]. Поэтому определение эластических свойств артерий, в первую очередь сонных, широко используется в многочисленных исследованиях, а также рекомендовано практикующим врачам [1, 2].

Целью настоящего обзора является освещение возможностей автоматического анализа свойств каротидных артерий и прогностической значимости полученных результатов.

1. Радиочастотный анализ состояния сонных артерий

В настоящее время существует большое количество методик, позволяющих оценить состояние артериального русла. Ультразвуковое исследование (УЗИ) артерий различной локализации – высокоинформативная и наиболее распространенная диагностическая процедура. Стандартное УЗИ позволяет достаточно быстро неинвазивно определить наличие атеросклеротического поражения поверхностно расположенных артерий. Как известно, увеличение толщины комплекса интима-медиа (ТКИМ) и выявление атером в сонных артериях значимо повышает сердечно-сосудистый риск, требует наблюдения и комплексного лечения пациента [10].

В соответствии с общепринятыми стандартами верхняя граница нормы ТКИМ составляет 0,9 мм. При этом существуют визуализирующие методы, которые позволяют с большей точностью вычислять величину ТКИМ, так как указанная норма не может быть одинаковой для лиц разного возраста, пола и расы [11].

В основе сравнительно новой программы эхотрекинга лежит стандартный В-режим с интеграцией радиочастотного анализа: электронное воспроиз-

ведение отраженного от тканей организма эхосигнала в ответ на исходящий из прибора ультразвуковой сигнал. Происходит контурный анализ пульсовой волны, полученной с помощью радиочастотного ультразвукового отслеживания колебания стенок сосуда [12]. Полученные данные модулируются в зависимости от частоты сигнала, генерируемого датчиком.

Возможно использование двух программных приложений эхотрекинга: QIMT (Quality Intima media Thickness) и QAS (Quality Arterial Stiffness). Все измерения проводятся в режиме реального времени, а последующая обработка данных исключена, что сводит к минимуму влияние исследователя на получаемые результаты. Приборы, основанные на радиочастоте, имеют точность в 6–10 раз выше по сравнению с анализом видеоизображения, так как последние ограничены пикселями изображения. Показано, что при измерении абсолютного расстояния стандартное отклонение для приборов, основанных на анализе видеоизображения, составляет 54–60 мкм; для эхотрекинга данный параметр варьирует в пределах 9–25 мкм [12]. Вычисление ТКИМ производится полностью автоматическим способом, исследователь только устанавливает датчик на область проекции артерии и производит запуск программы. Для оценки правильности работы программы и контроля точности полученных измерений предусмотрен ряд контрольных характеристик, таких как стандартное отклонение SD: результаты считаются правильными при SD в пределах 5–15 мкм. Разрешающая способность метода достигает 10 мкм, техническая погрешность – не более 17 мкм *in-vitro* и 30 мкм *in-vivo* [11]. Также в УЗ-сканеры, оснащенные функцией эхотрекинга, интегрирована таблица Ховарда. Она характеризует зависимость ТКИМ от возраста и пола и основана на результатах проспективного эпидемиологического исследования ARIC Study, которое насчитывало около 15792 здоровых лиц разных возрастных групп [13, 14].

Вторым приложением функции эхотрекинга является программа QAS, позволяющая оценивать локальную ригидность [6, 14, 15]. Принцип методики заключается в определении амплитуды движения сосудистой стенки во время прохождения пульсовой волны, регистрации изменения внутреннего и наружного диаметра и объема сосуда в систолу и диастолу. Интегрированные в прибор расчетные формулы позволяют оценить ряд локальных характеристик жесткости исследуемых артерий: коэффициент поперечной податливости сосудистой стенки (CC), растяжимость артерий (DC), скорость распространения пульсовой волны (СРПВ), индекс жесткости β , индекс α (характеризующий изменение площади поперечного сечения сосуда при прохождении пульсовой волны), индекс аугментации (Aix).

2. Локальная жесткость и ТКИМ в современных исследованиях

Все большее число исследователей уделяют внимание изучению локальной жесткости сонных артерий, что обусловлено не только простотой и точностью метода, но близким анатомическим расположением каротидных артерий по отношению к аорте, их поверхностным расположением и доступностью [16, 17].

В 2008 г. были опубликованы результаты исследования по изучению эластических свойств сонных артерий с помощью эхотрекинга в популяции здоровых китайцев [18]. Исследуемая группа насчитывала 4812 здоровых че-

ловек (средний возраст $33,7 \pm 10,8$ года). Все обследованные лица не курили, у них отсутствовали жалобы или анамнестические данные, характерные для какой-либо кардиоваскулярной патологии, показатели липидного обмена и артериального давления соответствовали норме, ТКМ общей сонной артерии была $\leq 0,1$ см. Учитывая масштаб исследования, полученные результаты позволяют косвенно считать полученные в возрастных подгруппах величины ориентировочной нормой для данной методики. Выявлено, что величина индекса β в возрасте 30–39 лет составила $6,55 \pm 2,0$, затем увеличивалась пропорционально возрасту и в подгруппе лиц старше 60 лет соответствовала $10,71 \pm 3,9$. Локальная СРПВ в сонных артериях у лиц в аналогичных возрастных подгруппах составила $5,42 \pm 2,0$ и $6,99 \pm 1,4$ м/с. Коэффициент СС у лиц до 30 лет имел максимальные значения – $1,18 \pm 0,4$, а у здоровых лиц старше 60 лет снижался до $0,73 \pm 0,3$. Результаты исследования показали, что такие параметры, как индекс жесткости β и локальная PWV, увеличивались с возрастом, коэффициент поперечной податливости, наоборот, имел тенденцию к снижению, что объясняется возрастным «старением» сосудистой стенки.

Дальнейшее исследование в китайской популяции показало, что индекс β и локальная СРПВ статистически значимо увеличивались у курящих обследованных по сравнению с некурящими (вне зависимости от наличия других факторов риска сердечно-сосудистых осложнений), в то время как Aix оказался достоверно выше лишь в группе лиц, у которых курению сопутствовали АГ, дислипидемия и гипергликемия [19]. Также в указанных трех группах достоверно отличались систолический и диастолический диаметр сонных артерий, а у наблюдаемых с несколькими факторами риска достоверно выше оказалось систолическое и диастолическое давление в общей сонной артерии.

Еще одно пилотное исследование включало здоровых лиц и пациентов с вирусом иммунодефицита человека (ВИЧ) без заболеваний сердца и сосудов [20]. Было обследовано 54 здоровых и столько же ВИЧ-инфицированных, группы были сопоставимы по возрасту, полу и другим антропометрическим параметрам. Следует отметить, что различия между группами по показателям локальной ригидности и ТКМ не достигали статистической значимости. Лишь по величине коэффициента СС получены достоверные отличия с более низкими значениями для ВИЧ-инфицированных лиц. Средний возраст обследованных лиц группы контроля составил 48 лет, индекс β соответствовал $6,61$ ($5,45$ – $8,90$), коэффициент СС – $0,95$ ($0,78$ – $1,23$), локальный Aix – $15,40$ % ($9,15$ – $23,20$), каротидная СРПВ – $5,8$ м/с ($5,32$ – $6,40$), ТКМ общей сонной артерии – 690 мкм (540 – 800). Для показателей локальной ригидности в обеих группах выявлена положительная достоверная корреляция с возрастом и отрицательная достоверная корреляция возраста и величины СС, что обусловлено снижением податливости сонных артерий при старении и согласуется с результатами других исследователей. При этом ухудшение артериальной податливости не зависело от режима проводимой антиретровирусной терапии [20, 21].

Особый интерес представляют данные, полученные с помощью эхотрекинга у пациентов с феноменом замедленного коронарного кровотока [12]. Исследование включало по 50 пациентов с нормальными и патологическими данными коронароангиографии. Индекс β и локальная СРПВ достоверно увеличивались при снижении скорости коронарного кровотока, что может кос-

венно свидетельствовать о микроваскулярной патологии, эндотелиальной дисфункции, атеросклерозе мелких и эпикардиальных артерий. С этими же показателями достоверно коррелировал уровень высоко чувствительного С-реактивного белка.

Доказана предиктивная роль аортальной жесткости в прогнозировании общей и кардиоваскулярной летальности у больных с АГ [22–24], сахарным диабетом 2 типа (СД 2 типа) [25, 26], терминальным поражением почек, а также у пожилых лиц [27–33]. В большинстве исследований жесткость оценивалась по каротидно-феморальной СРПВ, как наиболее точно отражающей состояние сосудов эластического типа. В отношении каротидной жесткости показана прогностическая значимость в развитии сердечно-сосудистых осложнений для пациентов с терминальной почечной недостаточностью и после трансплантации почек. Следует отметить, что величина ТКИМ общей сонной артерии является доказанным предиктором сердечно-сосудистых событий в различных когортах пациентов [6, 11, 13, 34].

С целью определения взаимосвязи между параметрами артериальной жесткости, измеренными локально в сонной артерии (эхотрекинг) и аортальной жесткостью, оцененной по каротидно-феморальной СРПВ, проведено сравнительное исследование трех групп пациентов [35]. Группа обследованных лиц включала 463 человека, из них – 94 здоровых, 243 больных эссенциальной АГ и 126 лиц с АГ в сочетании с СД 2 типа. Выявлено, что растяжимость сонных артерий была значительно ниже, а локальная СРПВ выше у пациентов с АГ (изолированной и в сочетании с СД 2 типа) по сравнению с группой нормотензивных лиц. При проведении корреляционного анализа между параметрами аортальной и каротидной СРПВ были получены положительные достоверные значения в целом по группе ($r = 0,34$, $p < 0,001$) и в каждой подгруппе пациентов отдельно. Наиболее сильные корреляции между показателями двух видов жесткости были получены в группе здоровых лиц. Эти данные подтверждают результаты других исследований о предиктивной роли определения каротидной жесткости в группах лиц без сопутствующей сердечно-сосудистой патологии [33, 36].

При наличии у пациентов с АГ атеросклеротической бляшки в сонных артериях с помощью эхотрекинга Beaussier H. et al. было показано, что артериальная стенка становится менее эластичной в месте расположения бляшки, чем в вышележащих участках, что приводит к растяжению сонной артерии изнутри в зоне атеросклеротического поражения. Это может привести к «механической усталости» бляшки и спровоцировать ее разрыв. Оценка структуры бляшки при помощи магнитно-резонансной томографии в дополнении к эхотрекингу позволила сделать вывод, что изменение сдвига стенки сонной артерии зависит не только от наличия бляшки, но и от ее состава, что позволяет выделить бляшки «высокого риска» [37, 38].

Несомненно, данная методика не может заменить классическое УЗИ исследование сонных артерий [39], в частности при определении показаний к оперативному лечению, однако она уже сейчас позволяет оценивать эффективность применяемых лекарственных препаратов. Так, по данным отечественных авторов, на фоне 24-недельной терапии блокатором рецепторов к ангиотензину в составе комплексной терапии у пациентов с сочетанием ишемической болезни сердца и АГ получено достоверное снижение ТКИМ,

а также улучшение большинства характеристик локальной ригидности по результатам эхотрекинга, в частности $\log P_{sys}$ и $\log P_{dia}$, индекса β , коэффициента CC , PWV сонной артерии.

Безусловно, необходимы дальнейшие исследования, чтобы определить все возможности эхотрекинга для диагностики поражения артериальной стенки, однако уже сейчас очевидно, что данная методика в силу своих особенностей очень перспективна для определения отдаленного прогноза и оценки эффективности проводимой медикаментозной терапии.

Список литературы

1. Национальные рекомендации по кардиоваскулярной профилактике // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2011. – № 6 (Приложение 2).
2. Диагностика и коррекция нарушений липидного обмена с целью профилактики и лечения атеросклероза. Российские рекомендации. V пересмотр // Атеросклероз и дислипидемии. – 2012. – № 4 (9). – С. 5–45.
3. Artery Society. European Society of Hypertension Working Group on Vascular Structure and Function; European Network for Noninvasive Investigation of Large Arteries. Expert consensus document on the measurement of aortic stiffness in daily practice using carotid-femoral pulse wave velocity // Journal Hypertension. – 2012. – Vol. 30 (3). – P. 445–448. – URL: <http://dx.doi.org/10.1097/HJH.0b013e32834fa8b0>.
4. **Милягин, В. А.** Современные методы определения жесткости сосудов / В. А. Милягин, В. Б. Комиссаров // Артериальная гипертензия. – 2010. – № 2. – P. 134–143.
5. **Кобалава, Ж. Д.** Артериальная гипертензия. Ключи к диагностике и лечению / Ж. Д. Кобалава, Ю. В. Котовская, В. С. Моисеев. – М. : ГЭОТАР-Медиа, 2009. – 864 с.
6. On behalf of the European Network for Non-invasive Investigation of Large Arteries. Expert consensus document on arterial stiffness: methodological issues and clinical applications / S. Laurent, J. Cockcroft, L. Van Bortel, P. Boutouyrie, C. Giannattasio, D. Hayoz, B. Pannier, C. Vlachopoulos, I. Wilkinson, H. Struijker-Boudier // European Heart Journal. – 2006. – Vol 27 (21). – P. 2588–2605. – URL: <http://dx.doi.org/10.1093/eurheartj/ehl254>.
7. **Олейников, В. Э.** Роль определения аортального давления и ригидности аорты у пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями / В. Э. Олейников, И. Б. Матросова, Л. И. Гусаковская, Н. В. Сергацкая // Терапевтический архив. – 2014. – № 86 (4). – С. 91–95.
8. Гемодинамические эффекты взаимодействия прямой и отраженной пульсовых волн / В. Д. Кревчик, В. Э. Олейников, И. Б. Матросова, Л. И. Гусаковская, Н. В. Сергацкая // Медицинская физика. – 2012. – № 2. – С. 91–96.
9. **Поздняков, Ю. М.** Амбулаторное лечение основных заболеваний внутренних органов / Ю. М. Поздняков, В. С. Волков. – М., 2008. – 322 с.
10. Carotid magnetic resonance imaging: A window to study atherosclerosis and identify high-risk plaques / M. Oikawa, H. Ota, N. Takaya, Z. Miller, T. S. Hatsukami, C. Yuan // Circulation Journal. – 2009. – Vol. 73 (10), Oct. – P. 1765–1773. – URL: <http://dx.doi.org/10.1253/circj.cj-09-0617>.
11. Mannheim Carotid Intima-Media Thickness Consensus (2004–2006) // Cerebrovascular Diseases. – 2007. – Vol. 23. – P. 75–80. DOI: 10.1159/000097034.
12. Echo-Tracking Technology Assessment of Carotid Artery Stiffness in Patients with Coronary Slow Flow. Ultrasound in Medicine & Biology (Impact Factor: 2.21). 11/2014; 41(1). DOI: 10.1016/j.ultrasmedbio.2014.08.015
13. Variation of common carotid artery elasticity with intimal-medial thickness: the ARIC Study. Atherosclerosis Risk in Communities / W. A. Riley, G. W. Evans, A. R. Sharrett,

- G. L. Burke, R. W. Barnes // *Ultrasound in Medicine & Biology*. – 1997. – Vol. 23. – P. 157–164. – URL: [http://dx.doi.org/10.1016/s0301-5629\(96\)00211-6](http://dx.doi.org/10.1016/s0301-5629(96)00211-6).
14. Carotid arterial wall characteristics are associated with incident ischemic stroke but not coronary heart disease in the ARIC Study / E. Y. Yang, L. Chambless, A. R. Sharrett, S. S. Virani, X. Liu, Z. Tang, E. Boerwinkle, C. M. Ballantyne, V. Nambi // *Stroke*. – 2012. – Vol. 43 (1), January. – P. 103–108. DOI:10.1161/STROKEAHA.111.626200.
15. Local arterial wave speed at carotid artery level is partly representative of carotid-femoral pulse wave velocity and aortic stiffness: evidence by a new echotracking technique / E. Malshi, C. Morizzo, M. Florescu, M. Kozakova, D. Vinereanu, C. Palombo // 18th European Meeting on Hypertension. – 2008. – June. – URL: [http://dx.doi.org/10.1016/s1872-9312\(07\)70077-7](http://dx.doi.org/10.1016/s1872-9312(07)70077-7).
16. **Моисеева, Н. М.** Оценка показателей ригидности магистральных артерий по данным бифункционального суточного мониторирования АД и ЭКГ прибором BPLab / Н. М. Моисеева, Ю. А. Пономарев, М. В., Сергеева А. Н. Рогоза // *Артериальная гипертензия*. – 2007. – № 1 (13). – С. 1–5.
17. **Reneman, R. S.** Non-invasive ultrasound in arterial wall dynamics in humans: what have we learned and what remains to be solved / R. S. Reneman, J. M. Meinders, and A. P. G. Hoeks // *European Heart Journal*. – 2005. – Vol. 26. – P. 960–966. – URL: <http://dx.doi.org/10.1093/eurheartj/ehi177>.
18. A multi-center collaborative project for the establishment of normal reference values of arterial elasticity in healthy Chinese. Measurement of the common carotid artery elasticity in healthy Chinese using the e-tracking technology // *Chinese journal of ultrasonography*. – 2008. – Vol. 17 (7). – P. 571–575.
19. Effect of Smoking on Common Carotid Artery Wall Elasticity Evaluated by Echo Tracking Technique / Pu Zhang, Guo Ruijun, Li Zhian, Xiao Dan, Ma Lin, Huang Pintong, Wang Chen // *Ultrasound in Medicine & Biology*. – 2014. – Vol. 40 (3). – P. 643–649. – URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2013.10.009>.
20. Arterial Stiffness Evaluation in HIV-Infected: a multicenter matched control study / G. Ferraioli, C. Tinelli, P. Maggi, C. Gervasoni, P. Grima, K. Viskovic, S. Carerj, G. Filice, C. Filice // *American Journal of Roentgenology*. – 2011. – Vol. 197 (5). – P. 1258–1262. – URL: <http://www.ajronline.org/doi/abs/10.2214/AJR.11.6712>.
21. **Sudano, I.** Cardiovascular disease in HIV infection / I. Sudano, L. E. Spieker, G. Noll, R. Corti, R. Weber // *American Heart Journal*. – 2006. – Vol. 151(6). – P. 1147–1155. – URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ahj.2005.07.030>.
22. Risk in Communities study / D. K., Arnett L. E. Chambless, H. Kim, G. W. Evans, W. Riley // *Ultrasound in Medicine & Biology*. – 1999. – Vol. 25 (2). – P. 175–180. – URL: [http://dx.doi.org/10.1016/s0301-5629\(98\)00165-3](http://dx.doi.org/10.1016/s0301-5629(98)00165-3).
23. Comparison between measures of atherosclerosis and risk of stroke: the Rotterdam Study / M. Hollander, A. E. Hak, P. J. Koudstaal, M. L. Bots, D. E. Grobbee, A. Hofman, J. C. M. Witteman, M. M. B. Breteler // *Stroke*. – 2003. – Vol. 34 (10). – P. 2367–2372. – URL: <http://dx.doi.org/10.1161/01.str.0000091393.32060.0e>.
24. Carotid stiffness and the risk of new vascular events in patients with manifest cardiovascular disease. The SMART study / J. M. Dijk, A., Algra Y. van der Graaf, M. L. Bots, D. E. Grobbee // *European Heart Journal*. – 2005. – Vol. 26 (12). – P. 1213–1220. – URL: <http://dx.doi.org/10.1093/eurheartj/ehl136>.
25. **Henry, R. M.** Hoom Study. Arterial stiffness increases with deteriorating glucose tolerance status: the Hoom study / R. M. Henry, P. J. Kostense, A. M. Spijkerman // *Circulation*. – 2003. – Vol. 107. – P. 2089–2095. – URL: <http://dx.doi.org/10.1161/01.cir.0000065222.34933.fc>.
26. On behalf of the EURODIAB Prospective Complications Study Group: Advanced glycation end products are associated with pulse pressure in type 1 diabetes: the EURODIAB Prospective Complications Study / M. T. Schram, C. G. Schalkwijk, A. H. Boots-

- ma, N. Fuller, C. Chaturvedi, D. A. Stehouwer // *Hypertension*. – 2005. – Vol. 46. – P. 232–237. – URL: <http://dx.doi.org/10.1161/01.hyp.0000164574.60279.ba>.
27. **London, G. M.** Arterial structure and function in end-stage renal failure / G. M. London, S. J. Marchais, A. P. Guerin, F. Metivier // *Nephrology Dialysis Transplantation*. – 2002. – Vol. 17. – P. 1713–1724. – URL: http://dx.doi.org/10.1093/ndt/17.suppl_11.13.
28. **Tozawa, M.** Pulse pressure and risk of total mortality and cardiovascular events in patients on chronic hemodialysis / M. Tozawa, K. Iseki, C. Iseki, S. Takishita // *Kidney International*. – 2002. – Vol. 61. – P. 717–726. – URL: <http://dx.doi.org/10.1046/j.1523-1755.2002.00173.x>.
29. **Seyrek, N.** Which parameter is more influential on the development of arteriosclerosis in hemodialysis patients? / N. Seyrek, M. Balal, I. Karayaylali, S. Paydaş, K. Aikimbaev, S. Cetiner, G. Seydaoglu // *Renal Failure*. – 2003. – Vol. 25. – P. 1011–1018. – URL: <http://dx.doi.org/10.1081/jdi-120026036>.
30. Creatinine clearance, pulse wave velocity, carotid compliance and essential hypertension / J. J. Mourad, B. Pannier, J. Blacher, A. Rudnichi, A. Benetos, G. M. London, M. E. Safar // *Kidney International*. – 2001. – Vol. 59. – P. 1834–1841. – URL: <http://dx.doi.org/10.1046/j.1523-1755.2001.0590051834.x>.
31. **Covic, A.** Arterial Stiffness in Renal Patients / A. Covic, P. Gusbeth-Tatomir, D. J. A. Goldsmith // *An Update American Journal of Kidney Diseases*. – 2005. – Vol. 45. – P. 965–977. – URL: <http://dx.doi.org/10.1053/j.ajkd.2005.02.026>.
32. **Pannier, B.** Stiffness of capacitive and conduit arteries: prognostic significance for end-stage renal disease patients / B. Pannier, A. P. Guérin, S. J. Marchais, M. E. Safar, G. M. London // *Hypertension*. – 2005. – Vol. 45(4). – P. 592–596. – URL: <http://dx.doi.org/10.1161/01.hyp.0000159190.71253.c3>.
33. **Niki, K.** A new noninvasive measurement system for wave intensity: evaluation of carotid arterial wave intensity and reproducibility / K. Niki, M. Sugawara, D. Chang, A. Harada, T. Okada, R. Sakai, K. Uchida, R. Tanaka, C. E. Mumford // *Heart and Vessels*. – 2002. – Vol. 17. – P. 12–21. – URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s003800200037>.
34. INTERHEART Study Investigators. Effect of potentially modifiable risk factors associated with myocardial infarction in 52 countries (the INTERHEART study): case-control study / S. Yusuf, S. Hawken, S. Ounpuu, T. Dans, A. Avezum, F. Lanas, M. McQueen, A. Budaj, P. Pais, J. Varigos, L. Lisheng // *Lancet*. – 2004. – Vol. 364. – P. 937–952. – URL: [http://dx.doi.org/10.1016/s0140-6736\(04\)17018-9](http://dx.doi.org/10.1016/s0140-6736(04)17018-9).
35. **Paini, A.** Carotid and aortic stiffness: determinants of discrepancies / A. Paini, P. Boutouyrie, D. Calvet, A.-I. Tropeano, B. Laloux, S. Laurent // *Hypertension*. – 2006. – Vol. 47(3). – P. 371–376. – URL: <http://dx.doi.org/10.1161/01.hyp.0000202052.25238.68>.
36. **Vriz, O.** Comparison of sequentially measured Aloka echo-tracking one-point pulse wave velocity with SphygmoCor carotid–femoral pulse wave velocity / O. Vriz, C. Driussi, S. Carrubba, V. Di Bello, C. Zito, S. Carerj, F. Antonini-Canterin // *SAGE Open Medicine*. – 2013. – Vol. 1, January – December – URL: <http://dx.doi.org/10.1177/2050312113507563>.
37. **Beaussier, H.** Carotid plaque, arterial stiffness gradient, and remodeling in hypertension / H. Beaussier, I. Masson, C. Collin, E. Bozec, B. Laloux, D. Calvet, M. Zidi, P. Boutouyrie, S. Laurent // *Hypertension*. – 2008. – Vol. 52 (4). – P. 729–736. – URL: <http://dx.doi.org/10.1161/hypertensionaha.108.115972>.
38. Mechanical and structural characteristics of carotid plaques by combined analysis with echotracking system and MR imaging / H. Beaussier, O. Naggara, D. Calvet, R. Joannides, E. Guegan-Massardier, E. Gerardin, M. Iacob, B. LaLoux, E. Bozec, J. Bellien, E. Touze, I. Masson, C. Thuillez, C. Oppenheim, P. Boutouyrie, S. Laurent // *JACC Cardiovasc Imaging*. – 2011. – Vol. 4 (5). – P. 468–477. – URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcmg.2011.01.017>.

39. **Матросова, И. Б.** Влияние олмесартана на локальную и региональную ригидность артерий у больных ишемической болезнью сердца / И. Б. Матросова, Е. А. Мельникова, В. Э. Олейников // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2014. – № 3. – С. 41–46.

References

1. *Kardiovaskuljarnaja terapija i profilaktika* [Cardiovascular therapy and propylaxis]. 2011, no. 6 (Supplement 2).
2. *Ateroskleroz i dislipidemii* [Atherosclerosis and dislipidemia]. 2012, no. 4 (9), pp. 5–45.
3. *Journal Hypertension*. 2012, vol. 30 (3), pp. 445–448. Available at: <http://dx.doi.org/10.1097/HJH.0b013e32834fa8b0>.
4. Miljagin V. A., Komissarov V. B. *Arterial'naja gipertenzija* [Arterial hypertension]. 2010, no. 2, pp. 134–143.
5. Kobalava Zh. D., Kotovskaja Ju. V., Moiseev V. S. *Arterial'naja gipertonija. Kljuchi k diagnostike i lecheniju* [Arterial hypertension. Keys to diagnostics and treatment]. Moscow: GJeOTAR-Media, 2009, 864 p.
6. Laurent S., Cockcroft J., Van Bortel L., Boutouyrie P., Giannattasio C., Hayoz D., Pannier B., Vlachopoulos C., Wilkinson I., Struijker-Boudier H. *European Heart Journal*. 2006, vol. 27 (21), pp. 2588–2605. Available at: <http://dx.doi.org/10.1093/eurheartj/ehl254>.
7. Olejnikov V. Je., Matrosova I. B., Gusakovskaja L. I., Sergackaja N. V. *Terapevticheskij arhiv* [Therapeutic archive]. 2014, no. 86 (4), pp. 91–95.
8. Krevchik V. D., Olejnikov V. Je., Matrosova I. B., Gusakovskaja L. I., Sergackaja N. V. *Medicinskaja fizika* [Medical physics]. 2012, no. 2, pp. 91–96.
9. Pozdnjakov Ju. M., Volkov V. S. *Ambulatornoe lechenie osnovnyh zabolevanij vnutrennih organov* [Outpatient treatment of basic diseases of visceral organs]. Moscow, 2008, 322 p.
10. Oikawa M., Ota H., Takaya N., Miller Z., Hatsukami T. S., Yuan C. *Circulation Journal*. 2009, vol. 73 (10), Oct. pp. 1765–1773. Available at: <http://dx.doi.org/10.1253/circj.cj-09-0617>.
11. *Cerebrovascular Diseases*. 2007, vol. 23, pp. 75–80. DOI: 10.1159/000097034.
12. *Echo-Tracking Technology Assessment of Carotid Artery Stiffness in Patients with Coronary Slow Flow. Ultrasound in Medicine & Biology (Impact Factor: 2.21)*. 11/2014; 41(1). DOI: 10.1016/j.ultrasmedbio.2014.08.015
13. Riley W. A., Evans G. W., Sharrett A. R., Burke G. L., Barnes R. W. *Ultrasound in Medicine & Biology*. 1997, vol. 23, pp. 157–164. Available at: [http://dx.doi.org/10.1016/s0301-5629\(96\)00211-6](http://dx.doi.org/10.1016/s0301-5629(96)00211-6).
14. Yang E. Y., Chambless L., Sharrett A. R., Virani S. S., Liu X., Tang Z., Boerwinkle E., Ballantyne C. M., Nambi V. *Stroke*. 2012, vol. 43 (1), January, pp. 103–108. DOI:10.1161/STROKEAHA.111.626200.
15. Malshi E., Morizzo C., Florescu M., Kozakova M., Vinereanu D., Palombo C. *18th European Meeting on Hypertension*. 2008, June. Available at: [http://dx.doi.org/10.1016/s1872-9312\(07\)70077-7](http://dx.doi.org/10.1016/s1872-9312(07)70077-7).
16. Moiseeva N. M., Ponomarev Ju. A., Sergeeva M. V., Rogoza A. N. *Arterial'naja gipertenzija* [Arterial hypertension]. 2007, no. 1 (13), pp. 1–5.
17. Reneman R. S., Meinders J. M. and Hoeks A. P. G. *European Heart Journal*. 2005, vol. 26, pp. 960–966. Available at: <http://dx.doi.org/10.1093/eurheartj/ehi177>.
18. *Chinese journal of ultrasonography*. 2008, vol. 17 (7), pp. 571–575.
19. Pu Zhang, Guo Ruijun, Li Zhian, Xiao Dan, Ma Lin, Huang Pin-tong, Wang Chen *Ultrasound in Medicine & Biology*. 2014, vol. 40 (3), pp. 643–649. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2013.10.009>.

20. Ferraioli G., Tinelli C., Maggi P., Gervasoni C., Grima P., Viskovic K., Carerj S., Filice G., Filice C. *American Journal of Roentgenology*. 2011, vol. 197 (5), pp. 1258–1262. Available at: <http://www.ajronline.org/doi/abs/10.2214/AJR.11.6712>.
21. Sudano I., Spieker L. E., Noll G., Corti R., Weber R. *American Heart Journal*. 2006, vol. 151 (6), pp. 1147–1155. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ahj.2005.07.030>.
22. Arnett D. K., Chambless L. E., Kim H., Evans G. W., Riley W. *Ultrasound in Medicine & Biology*. 1999, vol. 25 (2), pp. 175–180. Available at: [http://dx.doi.org/10.1016/s0301-5629\(98\)00165-3](http://dx.doi.org/10.1016/s0301-5629(98)00165-3).
23. Hollander M., Hak A. E., Koudstaal P. J., Bots M. L., Grobbee D. E., Hofman A., Witteman J. C. M., Breteler M. M. B. *Stroke*. 2003, vol. 34 (10), pp. 2367–2372. Available at: <http://dx.doi.org/10.1161/01.str.0000091393.32060.0e>.
24. Carotid stiffness and the risk of new vascular events in patients with manifest cardiovascular disease. The SMART study / Dijk J. M., Algra A., Van der Graaf Y., Bots M. L., Grobbee D. E. *European Heart Journal*. 2005, vol. 26 (12), pp. 1213–1220. Available at: <http://dx.doi.org/10.1093/eurheartj/ehl136>.
25. Henry R. M., Kostense P. J., Spijkerman A. M. *Hoom Study. Arterial stiffness increases with deteriorating glucose tolerance status: the Hoom study*. *Circulation*. 2003, vol. 107, pp. 2089–2095. Available at: <http://dx.doi.org/10.1161/01.cir.0000065222.34933.fc>.
26. Schram M. T., Schalwijk C. G., Bootsma A. H., Fuller N., Chaturvedi C., Stehouwer D. A. *Hypertension*. 2005, vol. 46, pp. 232–237. Available at: <http://dx.doi.org/10.1161/01.hyp.0000164574.60279.ba>.
27. London G. M., Marchais S. J., Guerin A. P., Metivier F. *Nephrology Dialysis Transplantation*. 2002, vol. 17, pp. 1713–1724. Available at: http://dx.doi.org/10.1093/ndt/17.suppl_11.13.
28. Tozawa M., Iseki K., Iseki C., Takishita S. *Kidney International*. 2002, vol. 61, pp. 717–726. Available at: <http://dx.doi.org/10.1046/j.1523-1755.2002.00173.x>.
29. Seyrek N., Balal M., Karayaylali I., Paydaş S., Aikimbaev K., Cetiner S., Seydaoglu G. *Renal Failure*. 2003, vol. 25, pp. 1011–1018. Available at: <http://dx.doi.org/10.1081/jdi-120026036>.
30. Mourad J. J., Pannier B., Blacher J., Rudnichi A., Benetos A., London G. M., Safar M. E. *Kidney International*. 2001, vol. 59, pp. 1834–1841. Available at: <http://dx.doi.org/10.1046/j.1523-1755.2001.0590051834.x>.
31. Covic A., Gusbeth-Tatomir P., Goldsmith D. J. A. *An Update American Journal of Kidney Diseases*. 2005, vol. 45, pp. 965–977. Available at: <http://dx.doi.org/10.1053/j.ajkd.2005.02.026>.
32. Pannier B., Guérin A. P., Marchais S. J., Safar M. E., London G. M. *Hypertension*. – 2005, vol. 45 (4), pp. 592–596. Available at: <http://dx.doi.org/10.1161/01.hyp.0000159190.71253.c3>.
33. Niki K., Sugawara M., Chang D., Harada A., Okada T., Sakai R., Uchida K., Tanaka R., Mumford C. E. *Heart and Vessels*. 2002, vol. 17, pp. 12–21. Available at: <http://dx.doi.org/10.1007/s003800200037>.
34. Yusuf S., Hawken S., Ounpuu S., Dans T., Avezum A., Lanas F., McQueen M., Budaj A., Pais P., Varigos J., Lisheng L. *Lancet*. 2004, vol. 364, pp. 937–952. Available at: [http://dx.doi.org/10.1016/s0140-6736\(04\)17018-9](http://dx.doi.org/10.1016/s0140-6736(04)17018-9).
35. Pains A., Boutouyrie P., Calvet D., Tropeano A.-I., Laloux B., Laurent S. *Hypertension*. 2006, vol. 47 (3), pp. 371–376. Available at: <http://dx.doi.org/10.1161/01.hyp.0000202052.25238.68>.
36. Vriz O., Driussi C., Carrubba S., Di Bello V., Zito C., Carerj S., Antonini-Canterin F. *SAGE Open Medicine*. 2013, vol. 1, January – December. Available at: <http://dx.doi.org/10.1177/2050312113507563>.

37. Beaussier H., Masson I., Collin C., Bozec E., Laloux B., Calvet D., Zidi M., Boutouyrie P., Laurent S. *Hypertension*. 2008, vol. 52 (4), pp. 729–736. Available at: <http://dx.doi.org/10.1161/hypertensionaha.108.115972>.
38. Beaussier H., Naggara O., Calvet D., Joan-nides R., Guegan-Massardier E., Gerardin E., Iacob M., LaLoux B., Bozec E., Bellien J., Touze E., Masson I., Thuillez C., Oppenheim C., Boutouyrie P., Laurent S. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2011, vol. 4 (5), pp. 468–477. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcmg.2011.01.017>.
39. Matrosova I. B., Mel'nikova E. A., Olejnikov V. Je. *Kardiovaskuljarnaja terapija i profilaktika* [Cardiovascular therapy and prophylaxis]. 2014, no. 3, pp. 41–46.

Авдеева Ирина Владимировна

кандидат медицинских наук, доцент,
кафедра терапии, Медицинский
институт, Пензенский государственный
университет (Россия, г. Пенза,
ул. Красная, 40)

E-mail: eliseeva-terapia@rambler.ru

Avdeeva Irina Vladimirovna

Candidate of medical sciences, associate
professor, sub-department of therapeutics,
Medical Institute, Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Мельникова Евгения Александровна

ассистент, кафедра терапии,
Медицинский институт, Пензенский
государственный университет (Россия,
г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: melnikova1910@gmail.com

Mel'nikova Evgeniya Aleksandrovna

Assistant, sub-department of therapeutics,
Medical Institute, Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Олейников Валентин Эливич

доктор медицинских наук, профессор,
заведующий кафедрой терапии,
Медицинский институт, Пензенский
государственный университет (Россия,
г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: v.oleynikof@gmail.com

Oleynikov Valentin Elivich

Doctor of medical sciences, professor,
head of sub-department of therapeutics,
Medical Institute, Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

УДК 616.1/4 - 76.29.30

Авдеева, И. В.

Ультразвуковая оценка свойств сосудистой стенки: возможности XXI века / И. В. Авдеева, Е. А. Мельникова, В. Э. Олейников // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Медицинские науки. – 2016. – № 2 (38). – С. 105–115. DOI 10.21685/2072-3032-2016-2-11