

ЭХОТРЕКИНГ – НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОЦЕНКИ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ АРТЕРИЙ КАРОТИДНОГО РУСЛА (ОБЗОР)

DOI: 10.17691/stm2016.8.2.16

УДК 519.68.2:616.13–004.6

Поступила 28.09.2015 г.



Е.А. Мельникова, ассистент кафедры «Терапия»;
И.В. Авдеева, к.м.н., доцент кафедры «Терапия»;
В.Э. Олейников, д.м.н., профессор, зав. кафедрой «Терапия»

Пензенский государственный университет, 440026, Пенза, ул. Красная, 40

Проблема поиска и широкого внедрения методов ранней диагностики сердечно-сосудистых заболеваний уже на стадии доклинического поражения не теряет своей актуальности. Несомненный интерес вызывают новые методики оценки сосудистой ригидности для стратификации сердечно-сосудистого риска и выбора целей терапевтических вмешательств.

В обзоре рассмотрены современные аспекты оценки локальной жесткости артериальной стенки. Приведены сравнительные данные о возможностях ультразвуковой диагностики при использовании стандартного В-режима и новой методики эхотрекинга. Описаны программные приложения эхотрекинга (QIMT и QAS). Проанализированы показатели, характеризующие локальную жесткость. Отмечено, что несомненным преимуществом методики эхотрекинга является получение результатов измерения, минимально зависящих от предустановок исследователя. Приведены значения ориентировочной нормы исследуемых показателей в разных возрастных подгруппах. Показана диагностическая и прогностическая ценность получаемых параметров и их динамика на фоне медикаментозной терапии.

Ключевые слова: эхотрекинг; артериальная жесткость; каротидные артерии; атеросклероз.

Как цитировать: Melnikova E.A., Avdeeva I.V., Oleynikov V.E. Echo-tracking is a novel technology to assess structural and functional properties of carotid arteries (review). *Sovremennye tehnologii v medicine* 2016; 8(2): 119–129, <http://dx.doi.org/10.17691/stm2016.8.2.16>.

English

Echo-Tracking Is a Novel Technology to Assess Structural and Functional Properties of Carotid Arteries (Review)

E.A. Melnikova, Tutor, Therapy Department;
I.V. Avdeeva, MD, PhD, Associate Professor, Therapy Department;
V.E. Oleynikov, MD, DSc, Professor, Head of Therapy Department

Penza State University, 40 Krasnaya St., Penza, 440026, Russian Federation

The problem of searching and large-scale implementation of early diagnostic techniques of cardiovascular diseases at the stage of preclinical failure is still relevant. Novel methods for vessel stiffness assessment to stratify cardiovascular risk and determine the aim of treatment intervention are certain to provoke interest.

The review considers the modern aspects of local stiffness of an arterial wall, and presents comparative data on ultrasound capabilities when using a standard B-mode and a new technique: echo-tracking. Software echo-tracking applications (QIMT and QAS) are described. We analyzed the parameters characterizing local rigidity. Obtaining measurement data minimally dependent on researcher's attitude was found to be an evident advantage of echo-tracking. The paper gives the guide values of a norm for the parameters under study in different age subgroups, and demonstrates diagnostic and prognostic value of the obtained parameters and their dynamics during the drug therapy.

Key words: echo-tracking; arterial stiffness; carotid arteries; atherosclerosis.

Для контактов: Олейников Валентин Эливич, e-mail: v.oleynikof@gmail.com

Несмотря на несомненные успехи медицинской науки, заболеваемость, инвалидизация и смертность от сердечно-сосудистой патологии во всем мире остаются высокими. Очевидна необходимость поиска и широкого внедрения методов ранней диагностики кардиоваскулярных заболеваний уже на стадии доклинического поражения, формирования единого алгоритма профилактического обследования для стратификации групп риска и выработки тактики их дальнейшего лечения [1–3]. Альтерация аорты, сонных и бедренных артерий является значимым маркером возникновения сердечно-сосудистых заболеваний. Артерии эластического типа обеспечивают не только проведение волны крови к периферии, но и демпфирование волны давления, формирующейся в результате сердечного выброса [4–8]. Диагностика изменения свойств артериальной стенки имеет важное значение для 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%) [9]. Сочетанное атеросклеротическое поражение коронарного русла, каротидного бассейна и периферических артерий встречается, по данным разных авторов, в 30–65% случаев [7, 10–12]. Поэтому определение эластических свойств сонных артерий в этом плане представляет особый интерес, широко используется в многочисленных исследованиях, а также рекомендовано практикующим врачам [1, 2, 4].

Особенности радиочастотного анализа 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, в том числе сонных. Как известно, увеличение толщины комплекса интима-медиа (ТКИМ) и выявление атером в сонных артериях значительно повышает сердечно-сосудистый риск, требует наблюдения и комплексного лечения пациента [13]. В соответствии с Мангеймским протоколом, УЗИ сонных артерий для измерения ТКИМ проводится проксимальнее бифуркации общей сонной артерии на 1,5–2 см, верхняя граница нормы определена величиной 0,9 мм [14–18]. Однако есть доказательство, что показатель 0,9 мм не может служить нормой для лиц разного возраста, пола и расы [19, 20]. В настоящее время существуют методы визуализации, которые позволяют с большей точностью вычислять величину ТКИМ.

К таким методам относится сравнительно новая функция (программа) эхотрекинга, доступная в УЗ-

сканерах MyLab25/30, MyLab50, MyLab60/70/90/XVG (Esaote, Италия), а также в некоторых модификациях приборов Aloka (Hitachi, Япония). В основе работы программы лежит стандартный В-режим с интеграцией радиочастотного «заполнения» сигнала. Он заключается в динамическом наблюдении за эхоконтрастной границей, что позволяет отслеживать изменение диаметра артерии в различные фазы сердечного цикла [7, 19, 20]. Радиочастотный анализ значительно минимизирует потерю данных по сравнению с системами, использующими анализ видеоизображения.

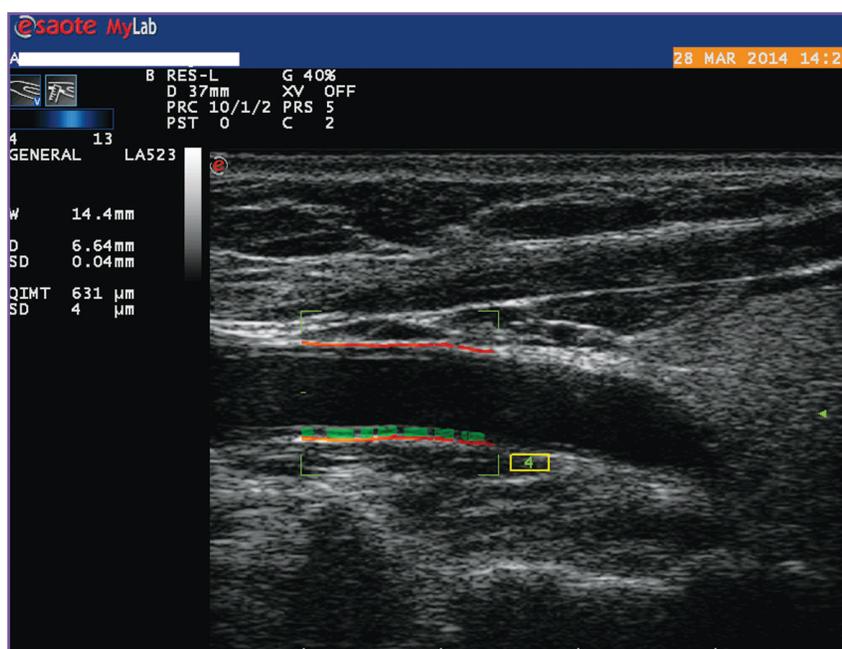
В зарубежной литературе первое упоминание о данной методике появилось в 2001 г. [21]. В Российской Федерации технология эхотрекинга стала доступной с 2011 г. в УЗ-сканерах MyLab (Esaote).

В настоящий момент возможно использование двух программных приложений эхотрекинга: QIMT (Quality Intima Media Thickness) и QAS (Quality Arterial Stiffness). Поскольку все измерения проводятся в режиме реального времени, последующая обработка данных исключена, что сводит к минимуму влияние врача-исследователя на результаты. Приборы, основанные на использовании радиочастот, дают точность в 6–10 раз выше по сравнению с приборами, работа которых построена на анализе видеоизображения. 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 [22–26]. Программное обеспечение эхотрекинга предусматривает получение результатов измерения, минимально зависящих от предустановок исследователя, которые в рутинной практике могут быть скорректированы врачом ультразвуковой диагностики — например, угол исследования, глубина сканирования, увеличение изображения и др. (рис. 1).

Вычисление ТКИМ, производимое с помощью первого приложения функции эхотрекинга — программы QIMT, выполняется полностью автоматическим способом, исследователь только устанавливает датчик на область проекции артерии и производит запуск программы. На экране появляется рамка «измерительных ворот», автоматически очерчивается контур стенки сосуда и также автоматически измеряется ее толщина. 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* [26] (рис. 2).

В УЗ-сканеры, оснащенные функцией эхотрекинга, интегрирована таблица Ховарда. Она показывает зависимость ТКИМ от возраста и пола и основана на результатах проспективного эпидемиологического исследования ARIC Study, которое насчитывало около 15 792 здоровых лиц разных возрастных групп [27, 28].

Рис. 1. Измерение толщины комплекса интима–медиа сонных артерий в режиме реального времени с помощью технологии эхотрекинга (собственные результаты); *D* — диаметр артерии; *SD* — стандартное отклонение; *QIMT* — толщина комплекса интима–медиа



STATUS: CLOSED		LAST MODIFICATION: 21 APR 2014 12:37:37																																																	
LAST NAME :		FIRST NAME :																																																	
BIRTH DATE :	03 MAR 1951	AGE :	63 y																																																
GENDER :	F																																																		
IDENTIFICATION :		EXAM DATE :	28 MAR 2014																																																
ACCESSION NUMBER :		REFERRING PHYSICIAN :																																																	
OPERATOR :		ADMITTING DIAGNOSIS :																																																	
PERFORMING PHYSICIAN :		REPORT DATE :	28 MAR 2014																																																
<table border="0"> <tr> <td>LEFT QIMT</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>LEFT QIMT :</td> <td>631</td> <td></td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>RIGHT QIMT</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>RIGHT QIMT :</td> <td>482</td> <td></td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>QIMT (RF)</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>QIMT (RF) :</td> <td>631</td> <td></td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>SD :</td> <td>4</td> <td></td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>DIAMETER :</td> <td>6.6</td> <td></td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>SD :</td> <td>0.04</td> <td></td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>WIDTH :</td> <td>14.4</td> <td></td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>QIMT TABLE</td> <td></td> <td>HOWARD (WHITE)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>EXPECTED QIMT :</td> <td>712</td> <td></td> <td>μm</td> </tr> </table>				LEFT QIMT				LEFT QIMT :	631		μm	RIGHT QIMT				RIGHT QIMT :	482		μm	QIMT (RF)				QIMT (RF) :	631		μm	SD :	4		μm	DIAMETER :	6.6		mm	SD :	0.04		mm	WIDTH :	14.4		mm	QIMT TABLE		HOWARD (WHITE)		EXPECTED QIMT :	712		μm
LEFT QIMT																																																			
LEFT QIMT :	631		μm																																																
RIGHT QIMT																																																			
RIGHT QIMT :	482		μm																																																
QIMT (RF)																																																			
QIMT (RF) :	631		μm																																																
SD :	4		μm																																																
DIAMETER :	6.6		mm																																																
SD :	0.04		mm																																																
WIDTH :	14.4		mm																																																
QIMT TABLE		HOWARD (WHITE)																																																	
EXPECTED QIMT :	712		μm																																																
<table border="0"> <tr> <td>RIGHT CCA QAS</td> <td>STIFFNESS</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>DISTENSION</td> <td>DC: 0.01 1/kPa</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>:</td> <td>CC: 0.32 mm²/kPa</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>SD:</td> <td>α: 8.86</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>DIAMETER:</td> <td>β: 17.92</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>SD:</td> <td>PWV: 11.15 m/s</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>BrP sys:</td> <td>150.0 mmHg</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>BrP dia:</td> <td>90.0 mmHg</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="4">LOCAL PRESSURE</td> </tr> <tr> <td>LOC Psys:</td> <td>135.2 mmHg</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>LOC Pdia:</td> <td>90.0 mmHg</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				RIGHT CCA QAS	STIFFNESS			DISTENSION	DC: 0.01 1/kPa			:	CC: 0.32 mm ² /kPa			SD:	α: 8.86			DIAMETER:	β: 17.92			SD:	PWV: 11.15 m/s			BrP sys:	150.0 mmHg			BrP dia:	90.0 mmHg			LOCAL PRESSURE				LOC Psys:	135.2 mmHg			LOC Pdia:	90.0 mmHg						
RIGHT CCA QAS	STIFFNESS																																																		
DISTENSION	DC: 0.01 1/kPa																																																		
:	CC: 0.32 mm ² /kPa																																																		
SD:	α: 8.86																																																		
DIAMETER:	β: 17.92																																																		
SD:	PWV: 11.15 m/s																																																		
BrP sys:	150.0 mmHg																																																		
BrP dia:	90.0 mmHg																																																		
LOCAL PRESSURE																																																			
LOC Psys:	135.2 mmHg																																																		
LOC Pdia:	90.0 mmHg																																																		

Рис. 2. Изображение результатов измерения толщины комплекса интима–медиа сонных артерий и параметров локальной ригидности (собственные результаты)

Второе приложение функции эхотрекинга — программа QAS — позволяет оценивать локальную ригидность сосудов [29, 30]. Принцип работы заключается в определении амплитуды движения со-

судистой стенки во время прохождения пульсовой волны, регистрации изменения внутреннего и наружного диаметров и объема сосуда в систолу и диастолу.

Локальные характеристики жесткости, оцениваемые с помощью эхотрекинга

Интегрированные в прибор расчетные формулы позволяют оценить ряд локальных характеристик жесткости исследуемых артерий: растяжимость артерий, скорость распространения пульсовой волны, индекс жесткости и др.

Рассмотрим эти показатели более подробно. Известно, что *растяжимость артерий* во время систолы левого желудочка зависит от упруго-эластических свойств сосудистой стенки и величины локального давления в сосуде. Данная зависимость может быть отражена как $C = \Delta V / \Delta P$, где C — податливость; ΔV — систоло-диастолическое изменение объема сосудистого сегмента; ΔP — пульсовое давление [7, 31–36]. Учитывая, что податливость артериальной стенки не зависит от уровня давления в сосуде, можно получить формулу коэффициента поперечной податливости (CC) сосудистой стенки:

$$CC = \Delta A / \Delta p = [3, 14 \cdot Dd \cdot (Ds - Dd) / 2] / \Delta p \text{ (мм}^2\text{/кПа)},$$

где ΔA — изменение площади поперечного сечения сосуда в систолу; Δp — пульсовое давление; Ds — диаметр артерии в систолу; Dd — диаметр артерии в диастолу (рис. 3).

Податливость артериальной стенки характеризует способность сосуда трансформировать пульсирующий кровоток в непрерывный поток.

Растяжимость артерий, т.е. способность их стенки к сопротивлению волне давления крови, оценивается по формуле коэффициента поперечной растяжимости DC :

$$DC = \frac{\Delta A}{A \cdot \Delta p} = 2 \cdot [(Ds - Dd) / Dd] \Delta p \text{ (1/кПа)}.$$

Скорость распространения пульсовой волны (СРПВ) — общепринятый показатель, характеризующий состояние артериального русла. Его значение возрастает пропорционально увеличению жесткости сосудистой стенки. Технология эхотрекинга позволяет рассчитывать локальную СРПВ (PWV) в любом доступном визуализации участке артериальной системы. Расчет производится автоматически по формуле:

$$PWV = \frac{1}{\sqrt{\rho \cdot DC}} = \sqrt{\frac{D^2 \cdot \Delta p}{\rho \cdot (2 \cdot D \cdot \Delta D + \Delta D^2)}},$$

где D — диастолический диаметр; ΔD — изменение диаметра в систолу; DC — коэффициент растяжимости; Δp — локальное пульсовое давление; ρ — плотность крови.

Еще одним показателем состояния артерий, который позволяет вычислить программа эхотрекинга, является *индекс жесткости* β . Он отражает способность сосудистой стенки к сопротивлению деформации: чем выше β , тем больше жесткость стенки:

$$\beta = \int (SP / DP) \cdot D / \Delta D.$$

где SP — систолическое, DP — диастолическое давление в сонной артерии.

Индекс α характеризует изменение площади поперечного сечения сосуда при прохождении пульсовой волны:

$$\alpha = Ad \cdot \int (SP / DP) / (As - Ad),$$

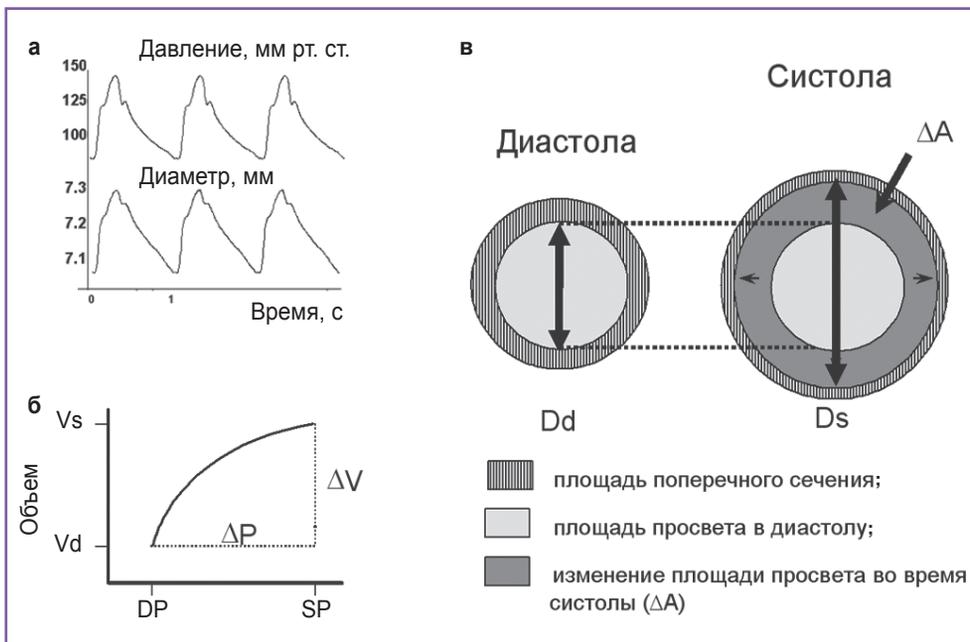


Рис. 3. Локальная артериальная растяжимость: а — одновременная регистрация изменений амплитуды давления и диаметра; б — кривая давление–объем; в — схематическое изображение изменения просвета сосуда в поперечном сечении [37]

где A_s и A_d — площадь поперечного сечения сосуда в систолу и диастолу соответственно.

Индекс аугментации (Aix) — показатель, зависящий от величины давления в локальном участке сосудистого русла. Он показывает разницу между первым и вторым систолическими пиками в сосуде, его уровень частично обусловлен временем возврата и амплитудой отраженных волн:

$$Aix = [AP / (SP - DP)] \cdot 100\%,$$

где AP — давление аугментации, SP и DP — локальное систолическое/диастолическое артериальное давление [38–41].

Значение локальной жесткости и толщины комплекса интима–медиа по данным современных исследований

Относительной новизной метода объясняется отсутствие жестких норм для параметров, получаемых методом эхотрекинга. Однако все большее число исследователей отдают предпочтение изучению локальной жесткости сонных артерий, что обусловлено не только простотой и точностью метода, но и близким анатомическим расположением каротидных артерий по отношению к аорте, их поверхностным расположением и доступностью [42–46].

В 2008 г. были опубликованы результаты исследования эластических свойств сонных артерий с помощью эхотрекинга в популяции китайцев [47]. Исследуемая группа насчитывала 4812 здоровых человек (1971 — мужчины, 2841 — женщины) в возрасте от 5 до 80 лет (средний возраст — $33,7 \pm 10,8$ года). Все обследованные лица не курили, у них отсутствовали жалобы в анамнезе по поводу кардиоваскулярной патологии, показатели липидного обмена и артериального давления соответствовали норме, ТКИМ общей сонной артерии была $\leq 0,1$ см.

Выявлено, что значение индекса жесткости β в возрасте 30–39 лет составило $6,55 \pm 2,0$, затем увеличивалось пропорционально возрасту и в подгруппе лиц старше 60 лет соответствовало $10,71 \pm 3,9$. Локальная PWV в сонных артериях у лиц аналогичных возрастных подгрупп составила $5,42 \pm 2,0$ и $6,99 \pm 1,4$ м/с. Коэффициент поперечной податливости CC у лиц до 30 лет имел максимальные значения — $1,18 \pm 0,4$, а у здоровых лиц старше 60 лет снижался до $0,73 \pm 0,3$. Учитывая масштаб исследования, полученные результаты позволяют условно считать значения этих показателей в возрастных подгруппах ориентировочной нормой для данной методики.

Результаты исследования показали, что такие параметры, как индекс жесткости β и локальная PWV , увеличивались с возрастом, коэффициент поперечной податливости CC , наоборот, имел тенденцию к снижению, что объясняется возрастным «старением» сосудистой стенки. Указанные параметры продемонстрировали высокодостоверную корреляцию между

собой во всех возрастных подгруппах, в то время как локальный индекс аугментации Aix показал слабую корреляцию с другими показателями и, соответственно, низкую прогностическую ценность.

Дальнейшее исследование в китайской популяции показало, что индекс β и локальная PWV статистически значимо увеличивались в группе курящих обследованных по сравнению с некурящими (вне зависимости от наличия других факторов риска сердечно-сосудистых осложнений), в то время как индекс Aix оказался статистически значимо выше лишь в группе лиц, у которых курению сопутствовали АГ, дислипидемия и гипергликемия [48]. Также в указанных трех группах статистически значимо отличались систолический и диастолический диаметры сонных артерий, а у наблюдаемых с несколькими факторами риска достоверно выше оказалось систолическое и диастолическое давление в общей сонной артерии.

Группа итальянских авторов [49] опубликовала результаты пилотного исследования, целью которого явились поиск и оценка различий в показателях жесткости сонных артерий, измеренных с помощью эхотрекинга, в группах здоровых лиц и пациентов с вирусом иммунодефицита человека (ВИЧ) без заболеваний сердца и сосудов. Было обследовано 54 здоровых и столько же ВИЧ-инфицированных лиц, группы были сопоставимы по возрасту, полу и другим антропометрическим параметрам. Изучали локальную каротидную жесткость. Следует отметить, что различия между группами по показателям локальной ригидности и ТКИМ не достигали статистической значимости. Лишь по величине коэффициента CC получены достоверно более низкие значения у ВИЧ-инфицированных лиц. Средний возраст обследованных лиц группы контроля составил 48 лет, индекс β соответствовал $6,61$ ($5,45–8,90$), коэффициент CC — $0,95$ ($0,78–1,23$), локальный Aix — $15,40$ ($9,15–23,20$)%, каротидная СРПВ — $5,8$ ($5,32–6,40$) м/с, ТКИМ общей сонной артерии — 690 ($540–800$) мкм. Для показателей локальной ригидности в обеих группах выявлена положительная достоверная корреляция с возрастом и отрицательная достоверная корреляция возраста с величиной CC , обусловленная снижением податливости сонных артерий при старении, что согласуется с результатами других исследователей. При этом ухудшение артериальной податливости не зависело от режима проводимой антиретровирусной терапии [49, 50].

Особый интерес представляют данные состояния сонных артерий, полученные с помощью эхотрекинга у пациентов с феноменом замедленного коронарного кровотока [51]. Исследование включало по 50 пациентов с нормальными и патологическими показателями коронароангиографии. Индекс β и локальная PWV оказались статистически значимо выше при снижении скорости коронарного кровотока, что может косвенно свидетельствовать о микроваскулярной патологии, эндотелиальной дисфункции, атеросклерозе мелких и эпикардальных артерий. С этими же показателями

достоверно коррелировал уровень высокочувствительного С-реактивного белка.

Предиктивная роль аортальной жесткости в прогнозировании общей и сердечно-сосудистой летальности доказана у больных с АГ [52–55], сахарным диабетом [56, 57], терминальным поражением почек, а также у пожилых лиц [52, 55]. В большинстве исследований жесткость оценивалась по каротидно-фemorальной СРПВ как наиболее точно отражающей состояние сосудов эластического типа. Известно, что с возрастом и при наличии АГ поражение артерий различной локализации происходит не совсем одинаково [58–60]. Так, периферические артерии преимущественно мышечного типа, такие как плечевая, лучевая и бедренная, в меньшей степени подвержены изменениям в результате действия указанных выше факторов. Прогностическая значимость каротидной жесткости установлена в развитии сердечно-сосудистых осложнений для пациентов с терминальной почечной недостаточностью и после трансплантации почек [61–68]. Величина ТКМ общей сонной артерии является доказанным предиктором сердечно-сосудистых событий в различных когортах пациентов [7, 26, 30, 69–74].

С целью определения взаимосвязи между параметрами артериальной жесткости, измеренными локально в сонной артерии (эхотрекинг), и аортальной жесткостью, оцененной по каротидно-фemorальной СРПВ, проведено сравнительное исследование трех групп пациентов [75]. Из 463 обследованных лиц было 94 здоровых, 243 больных эссенциальной АГ и 126 лиц с АГ в сочетании с сахарным диабетом 2-го типа. Выявлено, что растяжимость сонных артерий была значительно ниже, а локальная СРПВ выше у пациентов с АГ (изолированной и в сочетании с сахарным диабетом 2-го типа) по сравнению с группой нормотензивных лиц. При проведении корреляционного анализа параметров 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 установлены в группе здоровых лиц. Эти данные подтверждают результаты других исследований о предиктивной роли определения каротидной жесткости в группах лиц без сопутствующей сердечно-сосудистой патологии [75–83].

При наличии у пациентов с АГ атеросклеротической бляшки в сонных артериях с помощью эхотрекинга Н. Beaussier с соавт. [84, 85] 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» [85–90].

Несомненно, данная методика не может заменить классическое УЗ-исследование сонных артерий [37, 91–94], 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 с помощью эхотрекинга отмечено достоверное снижение ТКМ, а также улучшение большинства характеристик локальной ригидности, в частности *SP* и *DP*, индекса β , коэффициента *CC*, *PWV* сонной артерии [95].

Безусловно, необходимы дальнейшие исследования, чтобы определить все возможности эхотрекинга в диагностике 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 [96–99].

Финансирование исследования. Исследование не финансировалось из каких-либо источников.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов по данной работе.

Литература/References

1. Национальные рекомендации по сердечно-сосудистой профилактике. Кардиоваскулярная терапия и профилактика 2011; 10(6): прил. 2. National guidelines on cardiovascular prevention. *Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika* 2011; 10(6): Suppl 2.
2. Национальные клинические рекомендации. Под ред. Оганова Р.Г. М: Силицея-Полиграф; 2010; 592 с. *Natsional'nye klinicheskie rekomendatsii* [National clinical guidelines]. Pod red. Oganova R.G. [Oganov R.G. (editor)]. Moscow: Silitseya-Poligraf; 2010; 592 p.
3. Диагностика и коррекция нарушений липидного обмена с целью профилактики и лечения атеросклероза. Российские рекомендации, V пересмотр. Атеросклероз и дислипидемии 2012; 4(9): 5–45. Diagnostics and correction of lipid metabolism disorders for prevention and treatment of atherosclerosis. Russian recommendation, version V. *Ateroskleroz i dislipidemii* 2012; 4(9): 5–45.
4. Van Bortel L.M., Laurent S., Boutouyrie P., Chowienczyk P., Cruickshank J.K., De Backer T., Filipovsky J., Huybrechts S., Mattace-Raso F.U., Protogerou A.D., 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. Expert consensus document on the measurement of aortic stiffness in daily practice using carotid-femoral pulse wave velocity. *J Hypertens* 2012; 30(3): 445–448, <http://dx.doi.org/10.1097/HJH.0b013e32834fa8b0>.
5. Милагин В.А., Комиссаров В.Б. Современные методы определения жесткости сосудов. Артериальная гипер-

- тензия 2010; 2(16): 134–143. Milyagin V.A., Komissarov V.B. Modern methods of evaluation of vascular stiffness. *Arterial'naya gipertenziya* 2010; 2(16): 134–143.
6. Кобалава Ж.Д., Котовская Ю.В., Моисеев В.С. Артериальная гипертония. Ключи к диагностике и лечению. М: ГЭОТАР-Медиа 2009; 864 с. Kobalava Zh.D., Kotovskaya Yu.V., Moiseev V.S. *Arterial'naya gipertoniya. Klyuchi k diagnostike i lecheniyu* [Arterial hypertension. The keys to diagnosis and treatment]. Moscow: GEOTAR-Media 2009; 864 p.
7. Laurent S., Cockcroft J., Van Bortel L., Boutouyrie P., Giannattasio C., Hayoz D., Pannier B., Vlachopoulos C., Wilkinson I., Struijker-Boudier H. Expert consensus document on arterial stiffness: methodological issues and clinical applications. *Eur Heart J* 2006; 27(21): 2588–2605, <http://dx.doi.org/10.1093/eurheartj/ehl254>.
8. Олейников В.Э., Матросова И.Б., Гусаковская Л.И., Сергацкая Н.В. Роль определения аортального давления и ригидности аорты у пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями. *Терапевтический архив* 2014; 86(4): 91–95. Oleynikov V.E., Matrosova I.B., Gusakovskaya L.I., Sergatskaya N.V. Role of the determination of aortic pressure and rigidity aortic in patients with cardiovascular diseases. *Terapevticheskiy arkhiv* 2014; 86(4): 91–95.
9. Кривчик В.Д., Олейников В.Э., Матросова И.Б., Гусаковская Л.И., Сергацкая Н.В. Гемодинамические эффекты взаимодействия прямой и отраженной пульсовых волн. *Медицинская физика* 2012; 2: 91–96. Krevchik V.D., Oleynikov V.E., Matrosova I.B., Sergatskaya N.V., Gusakovskaya L.I. Hemodynamic effects of direct and reflected pulse waves's interaction. *Meditsinskaya fizika* 2012; 2: 91–96.
10. Поздняков Ю.М., Волков В.С. Амбулаторное лечение основных заболеваний внутренних органов. М; 2008; 322 с. Pozdnyakov Yu.M., Volkov V.S. *Ambulatornoe lechenie osnovnykh zabolevaniy vnutrennikh organov* [Outpatient treatment of major diseases of internal organs]. Moscow; 2008; 322 p.
11. Аронов Д.М., Лупанов В.П. Некоторые аспекты патогенеза атеросклероза. *Атеросклероз и дислипидемии* 2011; 1: 46–58. Aronov D.M., Lupanov V.P. Some aspects of the pathogenesis of atherosclerosis. *Ateroskleroz i dislipidemii* 2011; 1: 46–58.
12. Гуревич В.С. Современные представления о патогенезе атеросклероза. *Болезни сердца и сосудов* 2006; 4: 4–7. Gurevich V.S. Modern views on the pathogenesis of atherosclerosis. *Bolezni serdtsa i sosudov* 2006; 4: 4–7.
13. Oikawa M., Ota H., Takaya N., Miller Z., Hatsukami T.S., Yuan C. Carotid magnetic resonance imaging. A window to study atherosclerosis and identify high-risk plaques. *Circ J* 2009; 73(10): 1765–1773, <http://dx.doi.org/10.1253/circj.cj-09-0617>.
14. Celermajer D.S., Sorensen K.E., Gooch V.M., Spiegelhalter D.J., Miller O.I., Sullivan I.D., Lloyd J.K., Deanfield J.E. Non-invasive detection of endothelial dysfunction in children and adults at risk of atherosclerosis. *Lancet* 1992; 340(8828): 1111–1115, [http://dx.doi.org/10.1016/0140-6736\(92\)93147-f](http://dx.doi.org/10.1016/0140-6736(92)93147-f).
15. Недогода С.В., Чаляби Т.А. Сосудистая жесткость и скорость распространения пульсовой волны: новые факторы риска сердечно-сосудистых осложнений и мишени для фармакотерапии. *Болезни сердца и сосудов* 2006; 4: 21–32. Nedogoda S.V., Chalyabi T.A. Arterial stiffness and pulse wave velocity: new risk factors for cardiovascular disease and targets for pharmacotherapy. *Bolezni serdtsa i sosudov* 2006; 4: 21–32.
16. Reneman R.S., Meinders J.M., Hoeks A.P.G. Non-invasive ultrasound in arterial wall dynamics in humans: what have we learned and what remains to be solved. *Eur Heart J* 2005; 26(10): 960–966, <http://dx.doi.org/10.1093/eurheartj/ehi177>.
17. Лелюк В.Г., Лелюк С.Э. Основы клинической интерпретации данных ультразвуковых ангиологических исследований. М; 2005. Lelyuk V.G., Lelyuk S.E. *Osnovy klinicheskoy interpretatsii dannykh ul'trazvukovykh angiologicheskikh issledovaniy* [Basics of clinical data interpretation at ultrasound angiological research]. Moscow; 2005.
18. Лелюк В.Г., Лелюк С.Э. Принципы ультразвуковой диагностики поражений сосудистой системы. М; 2002. Lelyuk V.G., Lelyuk S.E. *Printsipy ul'trazvukovoy diagnostiki porazheniy sosudistoy sistemy* [Principles of diagnostic ultrasound of lesions of the vascular system]. Moscow; 2002.
19. Laurent S., Boutouyrie P., Lacolley P. Structural and genetic bases of arterial stiffness. *Hypertension* 2005; 45(6): 1050–1055, <http://dx.doi.org/10.1161/01.HYP.0000164580.39991.3d>.
20. Mattace-Raso F.U., van der Cammen T.J., Hofman A., van Popele N.M., Bos M.L., Schalekamp M.A., Asmar R., Reneman R.S., Hoeks A.P., Breteler M.M., Witteman J.C. Arterial stiffness and risk of coronary heart disease and stroke: the Rotterdam Study. *Circulation* 2006; 113(5): 657–663, <http://dx.doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.105.555235>.
21. Van Bortel L.M., Balkestein E.J., van der Heijden-Spek J.J., Vanmolkot F.H., Staessen J.A., Kragten J.A., Vredeveld J.W., Safar M.E., Struijker Boudier H.A., Hoeks A.P. Non-invasive assessment of local arterial pulse pressure: comparison of applanation tonometry and echotracking. *J Hypertens* 2001; 19(6): 1037–1044, <http://dx.doi.org/10.1097/00004872-200106000-00007>.
22. Рогоза А.Н., Балахонова Т.В., Чихладзе Н.М., Погорелова О.А., Моисеева Н.М., Сивакова О.А. Современные методы оценки состояния сосудов у больных артериальной гипертонией. М; 2008. Rogoza A.N., Balakhonova T.V., Chikhladze N.M., Pogorelova O.A., Moiseeva N.M., Sivakova O.A. *Sovremennyye metody otsenki sostoyaniya sosudov u bol'nykh arterial'noy gipertoniyei* [Modern methods of evaluation of the state of blood vessels in patients with arterial hypertension]. Moscow; 2008.
23. Eriksson A., Greiff E., Loupas T., Persson M., Pesque P. Arterial pulse wave velocity with tissue Doppler imaging. *Ultrasound Med Biol* 2002; 28(5): 571–580, [http://dx.doi.org/10.1016/s0301-5629\(02\)00495-7](http://dx.doi.org/10.1016/s0301-5629(02)00495-7).
24. Carerj S., Nipote C., Zimbalatti C., Zito C., Sutera Sardo L., Dattilo G., Oreto G., Arrigo F. 388 Normal vascular aging evaluated by a new tool: e-tracking. *Eur J Echocardiogr* 2006; 7(Suppl 1): S49, [http://dx.doi.org/10.1016/s1525-2167\(06\)60178-9](http://dx.doi.org/10.1016/s1525-2167(06)60178-9).
25. Harada A., Okada T., Niki K., Chang D., Sugawara M. On-line non-invasive one-point measurements of pulse wave velocity. *Heart Vessels* 2002; 17(2): 61–68, <http://dx.doi.org/10.1007/s003800200045>.
26. Touboul P.-J., Hennerici M.G., Meairs S., Adams H., Amarenco P., Bornstein N., Csiba L., Desvarieux M., Ebrahim S., Fatar M., Hernandez Hernandez R., Jaff M., Kownator S., Prati P., Rundek T., Sitzer M., Schminke U., Tardif J.-C., Taylor A., Vicaute E., Woo K.S., Zannad F.,

- Zureik M. Mannheim carotid intima-media thickness consensus (2004–2006). *Cerebrovasc Dis* 2007; 23: 75–80, <http://dx.doi.org/10.1159/000097034>.
27. Riley W.A., Evans G.W., Sharrett A.R., Burke G.L., Barnes R.W. Variation of common carotid artery elasticity with intimal-medial thickness: the ARIC Study. *Ultrasound Med Biol* 1997; 23(2): 157–164, [http://dx.doi.org/10.1016/s0301-5629\(96\)00211-6](http://dx.doi.org/10.1016/s0301-5629(96)00211-6).
28. Yang E.Y., Chambless L., Sharrett A.R., Virani S.S., Liu X., Tang Z., Boerwinkle E., Ballantyne C.M., Nambi V. Carotid arterial wall characteristics are associated with incident ischemic stroke but not coronary heart disease in the Atherosclerosis Risk in Communities (ARIC) Study. *Stroke* 2012; 43(1): 103–108, <http://dx.doi.org/10.1161/STROKEAHA.111.626200>.
29. Сидоренко Г.И., Фролов А.В., Воробьев А.П., Мельникова О.П., Золотухина С.Ф. Скорость пульсовой волны как ключ к оценке дисфункции эндотелия. В кн.: Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы. М.; 2008; с. 99–106. Sidorenko G.I., Frolov A.V., Vorob'ev A.P., Mel'nikova O.P., Zolotukhina S.F. Skorost' pul'sovoy volny kak klyuch k otsenke disfunktsii endoteliya. V kn.: *Diagnostika i lechenie narusheniy regulyatsii serdechno-sosudistoy sistemy* [Pulse wave velocity as a key to the assessment of endothelial dysfunction. In: Diagnosis and treatment of disorders of the cardiovascular system regulation]. Moscow; 2008; p. 99–106.
30. Орлова Я.А., Агеев Ф.Т. Жесткость артерий как интегральный показатель сердечно-сосудистого риска: физиология, методы оценки и медикаментозной коррекции. *Сердце* 2006; 5(2): 65–69. Orlova Ya.A., Ageev F.T. Arterial stiffness as an integral indicator of cardiovascular risk: physiology, methods of assessment and medical correction. *Serd'tse* 2006; 5(2): 65–69.
31. Lunder M., Janic M., Kejzar N., Sabovic M. Associations among different functional and structural arterial wall properties and their relations to traditional cardiovascular risk factors in healthy subjects: a cross-sectional study. *BMC Cardiovasc Disord* 2012; 12: 29, <http://dx.doi.org/10.1186/1471-2261-12-29>.
32. Bennett M.J., McLaughlin S., Anderson T., McDicken W.N. Error analysis of ultrasonic tissue Doppler velocity estimation techniques for quantification of velocity and strain. *Ultrasound Med Biol* 2007; 33(1): 74–81, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2006.07.040>.
33. Meinders J.M., Brands P.J., Willigers J.M., Kornet L., Hoeks A.P. Assessment of the spatial homogeneity of artery dimension parameters with high frame rate 2-D B-mode. *Ultrasound Med Biol* 2001; 27(6): 785–794, [http://dx.doi.org/10.1016/s0301-5629\(01\)00351-9](http://dx.doi.org/10.1016/s0301-5629(01)00351-9).
34. Милягин В.А., Милягина И.В., Грекова М.В. Новый автоматизированный метод определения скорости распространения пульсовой волны. *Функциональная диагностика* 2004; 1: 33–39. Milyagin V.A., Milyagina I.V., Grekova M.V. The new automated method for determining the speed of the pulse wave propagation. *Funktsional'naya diagnostika* 2004; 1: 33–39.
35. Jatoi N.A., Mahmud A., Bennett K., Feely J. Assessment of arterial stiffness in hypertension: comparison of oscillometric (Arteriograph), piezoelectronic (Complior) and tonometric (SphygmoCor) techniques. *J Hypertens* 2009; 27(11): 2186–2191, <http://dx.doi.org/10.1097/hjh.0b013e32833057e8>.
36. Лелюк В.Г., Лелюк С.Э. Ультразвуковая ангиология. М.; 2003; 336 с. Lelyuk V.G., Lelyuk S.E. *Ul'trazvukovaya angiologiya* [Ultrasonic angiology]. Moscow; 2003; 336 p.
37. Laurent S., Katsahian S., Fassot C., Tropeano A.-I., Gautier I., Laloux B., Boutouyrie P. Aortic stiffness is an independent predictor of fatal stroke in essential hypertension. *Stroke* 2003; 34(5): 1203–1206, <http://dx.doi.org/10.1161/01.STR.0000065428.03209.64>.
38. Malshi E., Morizzo C., Florescu M., Kozakova M., Vinereanu D., Palombo C. P.054 Local arterial wave speed at carotid artery level is representative of carotido-femoral pulse wave velocity and aortic stiffness: evidence by a new echo-tracking approach. *Artery Research* 2006; 1(Suppl 1): S40, [http://dx.doi.org/10.1016/s1872-9312\(07\)70077-7](http://dx.doi.org/10.1016/s1872-9312(07)70077-7).
39. Wilkinson I.B., Prasad K., Hall I.R., Thomas A., MacCallum H., Webb D.J., Frenneaux M.P., Cockcroft J.R. Increased central pulse pressure and augmentation index in subjects with hypercholesterolemia. *J Am Coll Cardiol* 2002; 39(6): 1005–1011, [http://dx.doi.org/10.1016/s0735-1097\(02\)01723-0](http://dx.doi.org/10.1016/s0735-1097(02)01723-0).
40. Ziemann S.J., Melenovsky V., Kass D.A. Mechanisms, pathophysiology, and therapy of arterial stiffness. *Arterioscler Thromb Vasc Biol* 2005; 25(5): 932–943, <http://dx.doi.org/10.1161/01.atv.0000160548.78317.29>.
41. Homma S., Hirose N., Ishida H., Ishii T., Araki G. Carotid plaque and intima-media thickness assessed by B-mode ultrasonography in subjects ranging from young adults to centenarians. *Stroke* 2001; 32(4): 830–501, <http://dx.doi.org/10.1161/01.str.32.4.830>.
42. Моисеева Н.М., Пономарев Ю.А., Сергеева М.В., Рогоза А.Н. Оценка показателей ригидности магистральных артерий по данным бифункционального суточного мониторирования АД и ЭКГ прибором BPLab. *Артериальная гипертензия* 2007; 13(1): 34–38. Moiseeva N.M., Ponomarev Yu.A., Sergeeva M.V., Rogoza A.N. Evaluation of main arteries rigidity indices according to the data of bifunctional 24-hour BP and ECG monitoring with the BPLab device. *Arterial'naya gipertenziya* 2007; 13(1): 34–38.
43. Meinders J.M., Kornet L., Brands P.J., Hoeks A.P. Assessment of local pulse wave velocity in arteries using 2D distension waveforms. *Ultrasound Imaging* 2001; 23(4): 199–215, <http://dx.doi.org/10.1177/016173460102300401>.
44. Riley W.A., Barnes R.W., Evans G.W., Burke G.L. Ultrasonic measurement of the elastic modulus of the common carotid artery. The Atherosclerosis Risk in Communities (ARIC) Study. *Stroke* 1992; 23(7): 952–956, <http://dx.doi.org/10.1161/01.STR.23.7.952>.
45. Vriz O., Driussi C., La Carrubba S., Di Bello V., Zito C., Carerj S., Antonini-Canterin F. Comparison of sequentially measured Aloka echo-tracking one-point pulse wave velocity with SphygmoCor carotid-femoral pulse wave velocity. *SAGE Open Med* 2013; 1: 2050312113507563, <http://dx.doi.org/10.1177/2050312113507563>.
46. Magda S.L., Ciobanu A.O., Florescu M., Vinereanu D. Comparative reproducibility of the noninvasive ultrasound methods for the assessment of vascular function. *Heart Vessels* 2013; 28(2): 143–150, <http://dx.doi.org/10.1007/s00380-011-0225-2>.
47. Arterial elasticity in healthy Chinese. *Chinese Journal of Ultrasonography* 2008; 17(7): 571–575.
48. Zhang P., Guo R., Li Z., Xiao D., Ma L., Huang P., Wang C. Effect of smoking on common carotid artery wall elasticity evaluated by echo tracking technique. *Ultrasound*

- Med Biol* 2014; 40(3): 643–649, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2013.10.009>.
49. Ferraioli G., Tinelli C., Maggi P., Gervasoni C., Grima P., Viskovic K., Carerj S., Filice G., Filice C. Arterial stiffness evaluation in HIV-infected: a multicenter matched control study. *AJR Am J Roentgenol* 2011; 197(5): 1258–1262, <http://www.ajronline.org/doi/abs/10.2214/AJR.11.6712>.
50. Sudano I., Spieker L.E., Noll G., Corti R., Weber R. Cardiovascular disease in HIV infection. *Am Heart J* 2006; 151(6): 1147–1155, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ahj.2005.07.030>.
51. Yang S., Wang D., Zhang H., He W., Chen B. Echo-tracking technology assessment of carotid artery stiffness in patients with coronary slow flow. *Ultrasound Med Biol* 2015; 41(1): 72–76, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2014.08.015>.
52. Sutton-Tyrrell K., Najjar S.S., Boudreau R.M., Venkitachalam L., Kupelian V., Simonsick E.M., Havlik R., Lakatta E.G., Spurgeon H., Kritchevsky S., Pahor M., Bauer D., Newman A.; for the Health ABC Study. Elevated aortic pulse wave velocity, a marker of arterial stiffness, predicts cardiovascular events in well-functioning older adults. *Circulation* 2005; 111(25): 3384–3390, <http://dx.doi.org/10.1161/circulationaha.104.483628>.
53. Arnett D.K., Chambless L.E., Kim H., Evans G.W., Riley W. Variability in ultrasonic measurements of arterial stiffness in the atherosclerosis risk in communities study. *Ultrasound Med Biol* 1999; 25(2): 175–180, [http://dx.doi.org/10.1016/s0301-5629\(98\)00165-3](http://dx.doi.org/10.1016/s0301-5629(98)00165-3).
54. Hollander M., Hak A.E., Koudstaal P.J., Bots M.L., Grobbee D.E., Hofman A., Witteman J.C., Breteler M.M. Comparison between measures of atherosclerosis and risk of stroke. The Rotterdam Study. *Stroke* 2003; 34(10): 2367–2372, <http://dx.doi.org/10.1161/01.str.0000091393.32060.0e>.
55. Dijk J.M., Algra A., van der Graaf Y., Grobbee D.E., Bots M.L. Carotid stiffness and the risk of new vascular events in patients with manifest cardiovascular disease. The SMART study. *Eur Heart J* 2005; 26(12): 1213–1220, <http://dx.doi.org/10.1093/eurheartj/ehi254>.
56. Henry R.M., Kostense P.J., Spijkerman A.M., Dekker J.M., Nijpels G., Heine R.J., Kamp O., Westerhof N., Bouter L.M., Stehouwer C.D. Arterial stiffness increases with deteriorating glucose tolerance status: the Hoorn Study. *Circulation* 2003; 107(16): 2089–2095, <http://dx.doi.org/10.1161/01.CIR.0000065222.34933.FC>.
57. Schram M.T., Schalkwijk C.G., Bootsma A.H., Fuller J.H., Chaturvedi N., Stehouwer C.D.; 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. *Hypertension* 2005; 46(1): 232–237, <http://dx.doi.org/10.1161/01.HYP.0000164574.60279.ba>.
58. Гурфинкель Ю.И., Каце Н.В., Парфенова Л.М., Иванова И.Ю., Орлов В.А. Сравнительное исследование скорости распространения пульсовой волны и эндотелиальной функции у здоровых и пациентов с сердечно-сосудистой патологией. *Российский кардиологический журнал* 2009; 2(76): 38–43. Gurfinkel Yu.I., Katse N.V., Parfenova L.M., Ivanova I.Yu., Orlov V.A. Pulse wave velocity and endothelial function comparison in healthy people and cardiovascular patients. *Rossiyskiy kardiologicheskiy zhurnal* 2009; 2(76): 38–43.
59. Илюхин О.В., Лопатин Ю.М. Скорость распространения пульсовой волны и эластические свойства магистральных артерий: факторы, влияющие на их механические свойства, возможности диагностической оценки. *Вестник Волгоградского государственного медицинского университета* 2006; 1(17): 3–9. Ilyukhin O.V., Lopatin Yu.M. Pulse wave velocity and elastic features of magistral arteries: factors, affecting their mechanical properties and possibilities of their diagnostic evaluation. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta* 2006; 1(17): 3–9.
60. Милягин В.А., Филичкин Д.Е., Шпынев К.В., Шпынева З.М., Милягина И.В. Контурный анализ центральной и периферической пульсовых волн у здоровых людей и больных артериальной гипертензией. *Артериальная гипертензия* 2009; 15(1): 78–85. Milyagin V.A., Filichkin D.E., Shpynev K.V., Shpyneva Z.M., Milyagina I.V. Contour analysis of central and peripheral pulse wave in healthy people and in hypertensive patients. *Arterial'naya gipertenziya* 2009; 15(1): 78–85.
61. London G.M., Marchais S.J., Guerin A.P., Metivier F., Adda H. Arterial structure and function in end-stage renal failure. *Nephrol Dial Transplant* 2002; 17(10): 1713–1724, <http://dx.doi.org/10.1093/ndt/17.10.1713>.
62. Tozawa M., Iseki K., Takishita S. Pulse pressure and risk of total mortality and cardiovascular events in patients on chronic hemodialysis. *Kid Int* 2002; 61(2): 717–726, <http://dx.doi.org/10.1046/j.1523-1755.2002.00173.x>.
63. Seyrek N., Balal M., Karayaylali I., Paydaş S., Aikimbaev K., Cetiner S., Seydaoglu G. Which parameter is more influential on the development of arteriosclerosis in hemodialysis patients? *Renal Fail* 2003; 25(6): 1011–1018, <http://dx.doi.org/10.1081/jdi-120026036>.
64. Mourad J.J., Pannier B., Blacher J., Rudnichi A., Benetos A., London G.M., Safar M.E. Creatinine clearance, pulse wave velocity, carotid compliance and essential hypertension. *Kidney Int* 2001; 59(5): 1834–1841, <http://dx.doi.org/10.1046/j.1523-1755.2001.0590051834.x>.
65. Covic A., Gusbeth-Tatomir P., Goldsmith D.J.A. Arterial stiffness in renal patient: an update. *Am J Kidney Dis* 2005; 45(6): 965–977, <http://dx.doi.org/10.1053/j.ajkd.2005.02.026>.
66. Barenbrock M., Kosch M., Jöster E., Kisters K., Rahn K.H., Hausberg M. Reduced arterial distensibility is a predictor of cardiovascular disease in patients after renal transplantation. *J Hypertens* 2002; 20(1): 79–84, <http://dx.doi.org/10.1097/00004872-200201000-00012>.
67. Pannier B., Guérin A.P., Marchais S.J., Safar M.E., London G.M. Stiffness of capacitive and conduit arteries: prognostic significance for end-stage renal disease patients. *Hypertension* 2005; 45(4): 592–596, <http://dx.doi.org/10.1161/01.hyp.0000159190.71253.c3>.
68. Niki K., Sugawara M., Chang D., Harada A., Okada T., Sakai R., Uchida K., Tanaka R., Mumford C.E. A new noninvasive measurement system for wave intensity: evaluation of carotid arterial wave intensity and reproducibility. *Heart Vessels* 2002; 17(1): 12–21, <http://dx.doi.org/10.1007/s003800200037>.
69. Yusuf S., Hawken S., Ounpuu S., Dans T., Avezum A., Lanas F., McQueen M., Budaj A., Pais P., Varigos J., Lisheng L.; on behalf of the INTERHEART Study Investigators. Effect of potentially modifiable risk factors associated with myocardial infarction in 52 countries (the INTERHEART study): case-control study. *Lancet* 2004; 364(9838): 937–952, [http://dx.doi.org/10.1016/s0140-6736\(04\)17018-9](http://dx.doi.org/10.1016/s0140-6736(04)17018-9).
70. Руководство ЕКО/ЕОА по лечению дислипидемий.

Атеросклероз и дислипидемии 2011; 4: 5–7. ESC/EAS Guidelines for the management of dyslipidaemias. *Ateroskleroz i dislipidemii* 2011; 4: 5–7.

71. Кухарчук В.В. Артериальная гипертония, нарушения липидного обмена и атеросклероз. В кн.: Руководство по артериальной гипертонии. Под ред. Чазова Е.И., Чазовой И.Е. М: Медиа Медика; 2005; с. 289–299. Kukharchuk V.V. Arterial'naya gipertoniya, narusheniya lipidnogo obmena i ateroskleroz. V kn.: *Rukovodstvo po arterial'noy gipertonii* [Arterial hypertension, lipid disorders and atherosclerosis. In: Guide to an arterial hypertension]. Pod red. Chazova E.I., Chazovoy I.E. [Chazov E.I., Chazova I.E. (editors)]. Moscow: Media Medika; 2005; p. 289–299.

72. Brunner H., Cockcroft J.R., Deanfield J., Donald A., Ferrannini E., Halcox J., Kiowski W., Lüscher T.F., Mancia G., Natali A., Oliver J.J., Pessina A.C., Rizzoni D., Rossi G.P., Salvetti A., Spieker L.E., Taddei S., Webb D.J. Endothelial function and dysfunction. Part II: Association with cardiovascular risk factors and diseases. A statement by the Working Group on Endothelins and Endothelial Factors of the European Society of Hypertension. *J Hypertens* 2005; 23(2): 233–246, <http://dx.doi.org/10.1097/00004872-200502000-00001>.

73. Waddell T.K., Dart A.M., Medley T.L., Cameron J.D., Kingwell B.A. Carotid pressure is a better predictor of coronary artery disease severity than brachial pressure. *Hypertension* 2001; 38(4): 927–931, <http://dx.doi.org/10.1161/hy1001.096107>.

74. DeLoach S.S., Townsend R.R. Vascular stiffness: its measurements and significance for epidemiologic and outcome studies. *Clin J Am Soc Nephrol* 2008; 3(1): 184–192, <http://dx.doi.org/10.2215/cjn.03340807>.

75. Paini A., Boutouyrie P., Calvet D., Tropeano A.-I., Laloux B., Laurent S. Carotid and aortic stiffness: determinants of discrepancies. *Hypertension* 2006; 47(3): 371–376, <http://dx.doi.org/10.1161/01.hyp.0000202052.25238.68>.

76. Hughes A.D., Sinclair A.M., Geroulakos G., Mayet J., Mackay J., Shahi M., Thom S., Nicolaides A., Sever P.S. Structural changes in the heart and carotid arteries associated with hypertension in humans. *J Human Hypertens* 1993; 7(4): 395–397.

77. Jiang B., Liu B., McNeill K.L., Chowienczyk P.J. Measurement of pulse wave velocity using pulse wave Doppler ultrasound: comparison with arterial tonometry. *Ultrasound Med Biol* 2008; 34(3): 509–512, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2007.09.008>.

78. Simons P.C., Algra A., Bots M.L., Grobbee D.E., van der Graaf Y. Common carotid intima-media thickness and arterial stiffness. Indicators of cardiovascular risk in high-risk patients. The SMART Study (Second Manifestations of ARterial disease). *Circulation* 1999; 100(9): 951–957, <http://dx.doi.org/10.1161/01.cir.100.9.951>.

79. Boutouyrie P., Pannier B. Measurement of arterial stiffness. In: *Central aortic blood pressure*. Laurent S., Cockcroft J. (editors). France; 2008; p. 41–47.

80. Kelly R., Hayward C., Ganis J., Daley J., Avolio A., O'Rourke M. Noninvasive registration of the arterial pressure pulse waveform using high-fidelity applanation tonometry. *J Vasc Med Biol* 1989; 1: 142–149.

81. Ahuja K.D., Robertson I.K., Ball M.J. Acute effects of food on postprandial blood pressure and measures of arterial stiffness in healthy humans. *Am J Clin Nutr* 2009; 90(2): 298–303, <http://dx.doi.org/10.3945/ajcn.2009.27771>.

82. Cheng K.S., Baker C.R., Hamilton G., Hoeks A.P.,

Seifalian A.M. Arterial elastic properties and cardiovascular risk/event. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2002; 24(5): 383–397, <http://dx.doi.org/10.1053/ejvs.2002.1756>.

83. Gamble G., Zorn J., Sanders G., MacMahon S., Sharpe N. Estimation of arterial stiffness, compliance, and distensibility from M-mode ultrasound measurements of the common carotid artery. *Stroke* 1994; 25(1): 11–16, <http://dx.doi.org/10.1161/01.str.25.1.11>.

84. Beaussier H., Masson I., Collin C., Bozec E., Laloux B., Calvet D., Zidi M., Boutouyrie P., Laurent S. Carotid plaque, arterial stiffness gradient, and remodeling in hypertension. *Hypertension* 2008; 52(4): 729–736, <http://dx.doi.org/10.1161/hypertensionaha.108.115972>.

85. Beaussier H., Naggara O., Calvet D., Joannides 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. Mechanical and structural characteristics of carotid plaques by combined analysis with echotracking system and MR imaging. *JACC Cardiovasc Imaging* 2011; 4(5): 468–477, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcmg.2011.01.017>.

86. Мартынов А.И., Синицын В.Е., Терновой С.К., Пустовитова Т.С., Остроумова О.А., Шаркова Н.Е., Гедгафова С.Ю. Особенности изменения растяжимости аорты у пожилых больных на фоне длительной терапии различными классами гипотензивных средств (по данным магнитно-резонансной томографии). *Кардиология* 2002; 42(5): 19–22. Martynov A.I., Sinitsyn V.E., Ternovoy S.K., Pustovitova T.S., Ostroumova O.D., Sharkova N.E., Gedgafova S.Yu. Changes of distensibility of the aorta in elderly patients during long-term therapy with various classes of hypotensive drugs. *Kardiologiya* 2002; 42(5): 19–22.

87. Blacher J., Pannier B., Guerin A.P., Marchais S.J., Safar M.E., London G.M. Third workshop on structure and function of large arteries: part III. Carotid arterial stiffness as a predictor of cardiovascular and all-cause mortality in end-stage renal disease. *Hypertension* 1998; 32(3): 570–574, <http://dx.doi.org/10.1161/01.hyp.32.3.570>.

88. Boutouyrie P., Laurent S., Benetos A., Girerd X.J., Hoeks A.P.G., Safar M.E. Opposing effects of ageing on distal and proximal large arteries in hypertensives. *J Hypertens Suppl* 1992; 10(6): S87–S91, <http://dx.doi.org/10.1097/00004872-199208001-00023>.

89. Williams B., Lacy P.S., Thom S.M., Cruickshank K., Stanton A., Collier D., Hughes A.D., Thurston H., O'Rourke M.; CAFE Investigators; Anglo-Scandinavian Cardiac Outcomes Trial Investigators; CAFE Steering Committee and Writing Committee. Differential impact of blood pressure-lowering drugs on central aortic pressure and clinical outcomes: principal results of the Conduit Artery Function Evaluation (CAFE) study. *Circulation* 2006; 113(9): 1213–1225, <http://dx.doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.105.595496>.

90. Cruickshank K., Riste L., Anderson S.G., Wright J.S., Dunn G., Gosling R.G. Aortic pulse-wave velocity and its relationship to mortality in diabetes and glucose intolerance: an integrated index of vascular function? *Circulation* 2002; 106(16): 2085–2090, <http://dx.doi.org/10.1161/01.cir.0000033824.02722.f7>.

91. Millasseau C., Kelly R., Ritter J., Chowienczyk P.J. The vascular impact of aging and vasoactive drugs: comparison of two digital volume pulse measurement. *Am J Hypertens* 2003; 16(6): 467–472, [http://dx.doi.org/10.1016/s0895-7061\(03\)00569-7](http://dx.doi.org/10.1016/s0895-7061(03)00569-7).

92. Лопатин Ю.М., Илюхин О.В., Илюхина М.В., Иваненко В.В. Эластичность артерий и скорость пульсовой волны у больных с хронической сердечной недостаточностью различной этиологии. *Журнал сердечная недостаточность* 2004; 5(4): 130–131. Lopatin Yu.M., Ilyukhin O.V., Ilyukhina M.V., Ivanenko V.V. Arterial elasticity and pulse wave velocity in patients with chronic heart failure of various etiologies. *Zhurnal serdechnaya nedostatochnost'* 2004; 5(4): 130–131.
93. Трипотень М.И., Балахонова Т.В., Рогоза А.Н. Сравнительная оценка ультразвуковых методов определения жесткости общих сонных артерий (М-режим и Echo-Tracking-метод). Ультразвуковая и функциональная диагностика 2011; 6: 50–56. Tripoten' M.I., Balakhonova T.V., Rogoza A.N. Comparative assessment of M-mode and Echo-Tracking technology in determination of common carotid arteries stiffness. *Ul'trazvukovaya i funktsional'naya diagnostika* 2011; 6: 50–56.
94. Милягина И.В., Милягин В.А., Поздняков Ю.М., Лексина Ю.Н., Коптева В.В. Сердечно-лодыжечный сосудистый индекс — новый предиктор сердечно-сосудистого риска. Кардиоваскулярная терапия и профилактика 2008; 7(7): 22–26. Milyagina I.V., Milyagin V.A., Pozdnyakov Yu.M., Leksina Yu.N., Kopteva V.V. Cardio-ankle vascular index — a new cardiovascular risk predictor. *Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika* 2008; 7(7): 22–26.
95. Матросова И.Б., Мельникова Е.А., Олейников В.Э. Влияние олмесартана на локальную и региональную ригидность артерий у больных ишемической болезнью сердца. Кардиоваскулярная терапия и профилактика 2014; 13(3): 41–46. Matrosova I.B., Melnikova E.A., Oleynikov V.E. Effects of olmesartan on local and regional rigidity of arteries in ischemic heart disease. *Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika* 2014; 13(3): 41–46.
96. Wilkinson I.B. The pharmacodynamics of central blood pressure. In: *Central aortic blood pressure*. Laurent S., Cockcroft J. (editors). France; 2008; p. 69–74.
97. Chow B., Rabkin S.W. Brachial-ankle pulse wave velocity is the only index of arterial stiffness that correlates with a mitral valve indices of diastolic dysfunction, but no index correlates with left atrial size. *Cardiol Res Pract* 2013; 2013: 986847, <http://dx.doi.org/10.1155/2013/986847>.
98. Kampus P., Serg M., Kals J., Zagura M., Muda P., Karu K., Zilmer M., Eha J. Differential effects of nebivolol and metoprolol on central aortic pressure and left ventricular wall thickness. *Hypertension* 2011; 57(6): 1122–1128, <http://dx.doi.org/10.1161/hypertensionaha.110.155507>.
99. Leone N., Ducimetière P., Gariépy J., Courbon D., Tzourio C., Dartigues J.-F., Ritchie K., Alperovitch A., Amouyel P., Safar M.E., Zureik M. Distension of the carotid artery and risk of coronary events: the three-city study. *Arterioscler Thromb Vasc Biol* 2008; 28(7): 1392–1397, <http://dx.doi.org/10.1161/atvbaha.108.164582>.