

Эхографические признаки возрастной инволюции сосудистой стенки позвоночных артерий

А.Ю.Вишнякова¹, С.Э.Лелюк³, А.Н.Осипов², В.Г.Лелюк¹

¹Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И.Пирогова, НИИ цереброваскулярной патологии и инсульта, Москва (директор – чл.-кор. РАМН, проф. В.И.Скворцова);

²Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И.Пирогова, кафедра медицинской биофизики медико-биологического факультета, Москва (зав. кафедрой – проф. А.Н.Осипов);

³Российская медицинская академия последиplomного образования, кафедра ультразвуковой диагностики медико-биологического факультета, Москва (зав. кафедрой – проф. В.В.Митьков)

В целях оценки упруго-эластических свойств стенок позвоночных артерий (ПА), а также сопоставлении их со свойствами стенок общих сонных артерий (ОСА) обследованы 65 практически здоровых лиц в возрасте 20–60 лет. Методом дуплексного сканирования оценивали толщину сосудистой стенки, систолический и диастолический диаметры ОСА и ПА, показатели, характеризующие жесткость их сосудистой стенки (эластичность, растяжимость, коэффициенты эластичности, растяжимости, эластический модуль Петерсона, индекс жесткости, модуль Юнга, коэффициент деформации просвета). Жесткость стенки ПА достоверно выше, чем ОСА (индекс жесткости у лиц моложе 40 лет составил 9,7 для ПА и 2,8 для ОСА). У ПА не выявлено достоверного утолщения сосудистой стенки, увеличения диаметров и показателей жесткости с возрастом, характерных для ОСА, что связано с различиями процессов сосудистого ремоделирования разных по гистологическому типу артерий с возрастом.

Ключевые слова: дуплексное сканирование, позвоночная артерия, жесткость сосудистой стенки

Echographic equivalents of vascular wall aging of the vertebral artery

A.Yu.Vishnyakova¹, S.E.Lelyuk³, A.N.Osipov², V.G.Lelyuk¹

¹N.I.Pirogov Russian National Research Medical University, Research Institute of Cerebrovascular Pathology and Stroke, Moscow (Director – Corr. Member of RAMS, Prof. V.I.Skvortsova);

²N.I.Pirogov Russian National Research Medical University, Department of Medical Biophysics of Medical-Biological Faculty, Moscow (Head of the Department – Prof. A.N.Osipov);

³Russian Medical Academy of Postgraduate Education, Department of Ultrasound Diagnostics of Medical-Biological Faculty, Moscow (Head of the Department – Prof. V.V.Mitkov)

The aim of the study was to assess vascular properties of the vertebral arteries (VA) and compare them against common carotid arteries (CCA). 65 healthy voluntaries aged 20–60 years old were under study. Wall thickness, systolic and diastolic diameters of the VA and CCA were measured using ultrasonography and indexes characterizing elastic properties of their vascular walls (compliance, extensibility, compliance and extensibility coefficients, Peterson's elastic modulus, beta stiffness index, Young's modulus, lumen strain) were calculated. Wall stiffness of the VA is significantly higher than CCA (beta stiffness index for patients younger than 40 years old was 9.7 for VA and 2.8 for CCA). Wall thickness, vessel diameter and stiffness of the CCA were significantly correlated with age, however such correlations were not observed for VA. This finding is linked with the difference in the age-related remodeling processes in histologically distinct vascular walls of the compared arteries.

Key words: ultrasonography, vertebral artery, wall stiffness

Для корреспонденции:

Вишнякова Анастасия Юрьевна, врач функциональной диагностики НИИ цереброваскулярной патологии и инсульта Российского национального исследовательского медицинского университета им. Н.И.Пирогова

Адрес: 117997, Москва, ул. Островитянова, 1

Телефон: (499) 726-9953

E-mail: vishau@yandex.ru

Статья поступила 05.12.2011 г., принята к печати 21.02.2012 г.

Нарушения упруго-эластических свойств (повышение жесткости) сосудистой стенки являются основными показателями ее возрастной инволюции [1]. Подобная инволюция в большей степени связана с морфологическими изменениями, происходящими с возрастом в среднем слое артериальной стенки – меди [2]. Возрастной перестройке также сопутствует атеросклеротическое пораже-

ние с характерным комплексом патологических структурных изменений. Они происходят преимущественно в интимальном слое сосудистой стенки и приводят к ее утолщению. Выраженность структурной перестройки определяется видом и степенью изменений различных слоев сосудистой стенки и преобладает в артериях эластического и мышечно-эластического типа, в значительно меньшей мере – в сосудах мышечного типа [3, 4].

Степень изменений упруго-эластических характеристик сосудистой стенки в различных отделах артериальной системы неодинакова. Остаются открытыми вопросы относительно состояния стенок артерий среднего и малого калибров, к которым, в частности, относят позвоночные артерии (ПА).

Ультразвуковой метод является основным из ряда инструментальных, применяемых для косвенной оценки упруго-эластических характеристик сосудистой стенки. Данная работа – часть комплексного ультразвукового исследования, направленного на изучение упруго-эластических свойств стенок брахиоцефальных артерий (БЦА) у лиц без клинико-анатомических признаков сосудистой патологии, а также у больных с ишемическими инсультами и хроническими ишемическими нарушениями мозгового кровообращения.

Целью настоящего фрагмента исследования было определение упруго-эластических характеристик стенок позвоночных артерий и сопоставление с таковыми характеристиками стенок общих сонных артерий (ОСА) у практически здоровых лиц без признаков клинически значимой патологии сердечно-сосудистой системы с использованием высокочастотного дуплексного сканирования.

Материалы и методы

В исследование были включены сведения, полученные при обследовании 65 практически здоровых добровольцев – мужчин в возрасте от 20 до 60 лет (средний возраст –

Таблица 1. Биометрические и клиничко-лабораторные показатели лиц, включенных в исследование

Показатели	Общая группа (n = 65)	1-я подгруппа (n = 42)	2-я подгруппа (n = 23)
Возраст, лет	35,7 ± 11,6	26 ± 4	46 ± 7
Индекс массы тела, кг/м ²	27,4 ± 6,7	26 ± 3	29 ± 9
Некурящие, %	41,5	55,9	25,8
Курящие, %	38,5	32,4	41,9
Лица, бросившие курить, %	20,0	11,8	29,0
Лица, страдающие артериальной гипертонией, %	26,1	20,6	32,3
Обнаружены признаки атеросклероза брахиоцефальных артерий, %	30,8	0	64,5
Уровень общего холестерина в периферической крови, ммоль/л	5,1 ± 1,0	4,9 ± 1,1	5,3 ± 0,9
Уровень липопротеинов низкой плотности, ммоль/л	3,2 ± 1,0	3,0 ± 1,0	3,4 ± 0,9
Уровень липопротеинов высокой плотности, ммоль/л	1,3 ± 0,3	1,4 ± 0,3	1,3 ± 0,3
Уровень липопротеинов очень низкой плотности, ммоль/л	0,5 ± 0,2	0,5 ± 0,2	0,5 ± 0,2

36 ± 12 лет). Данную группу разделили на две разновозрастные подгруппы: 1-я подгруппа (42 человека) – лица моложе 40 лет, 2-я подгруппа (23 человека) – 40 лет и старше. Критериями исключения из исследования были мерцательная аритмия, сахарный диабет, нарушения мозгового кровообращения и инфаркты миокарда в анамнезе, а также объективные ультразвуковые (УЗ) признаки стеноокклюзирующих поражений крупных артерий вертебрально-базиллярной системы и атеросклеротического поражения сонных артерий со стенозами более 30% по диаметру. Биометрические и клиничко-лабораторные показатели лиц, включенных в исследование, представлены в табл. 1.

Всем лицам, включенным в исследование, проводили высокоразрешающее дуплексное сканирование экстракраниальных отделов БЦА на ультразвуковых кардиоваскулярных системах экспертного класса датчиком линейного фор-

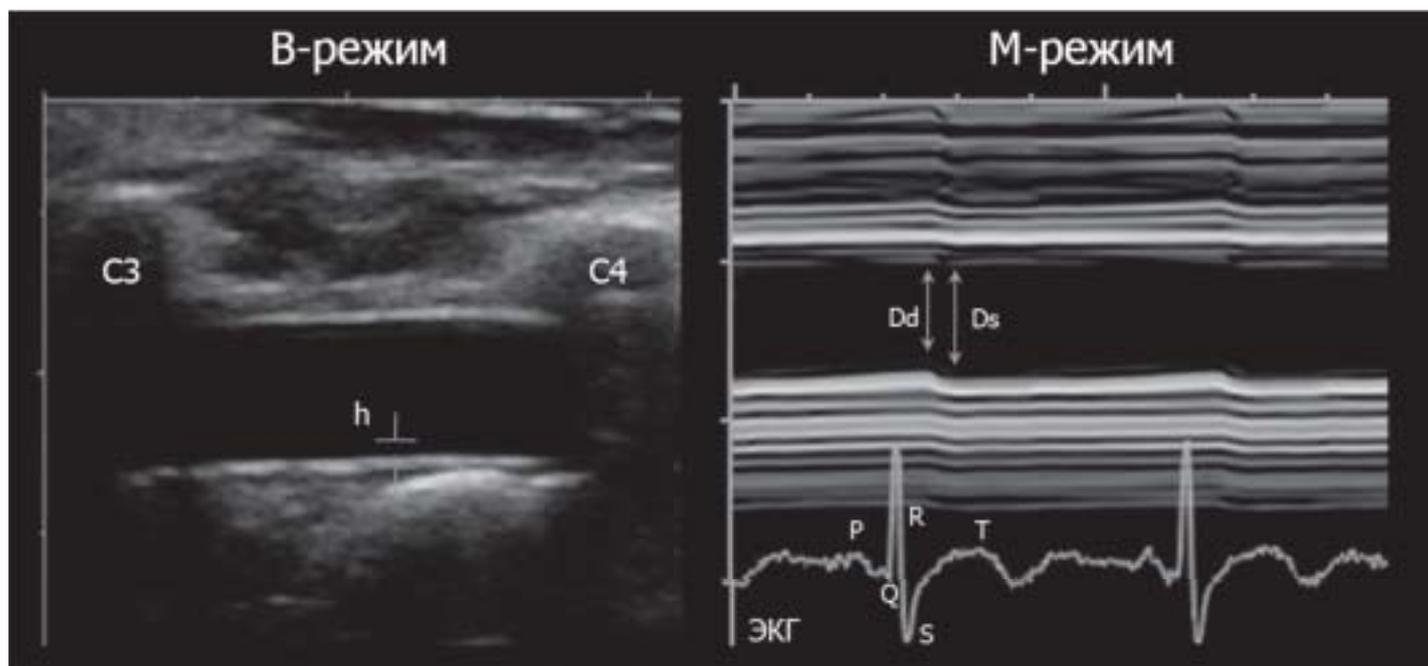


Рисунок. Методика исследования позвоночных артерий. Оценка толщины сосудистой стенки (h), систолического (Ds) и диастолического (Dd) диаметров.

Таблица 2. **Формулы расчета показателей упруго-эластических свойств сосудистой стенки [5]**

Показатель	Обозначение	Расчетная формула
Эластичность	C, мм ² /мм рт.ст.	$\frac{\pi(D_s^2 - D_d^2)}{4 \Delta P}$
Коэффициент эластичности	CC, мм ² /мм рт.ст.	$\frac{\pi \Delta D D_d}{2 \Delta P}$
Растяжимость	Di, 10 ⁻³ /мм рт.ст.	$\frac{\Delta D}{\Delta P D_d}$
Коэффициент растяжимости	DC, 10 ⁻³ /мм рт.ст.	$\frac{D_s^2 - D_d^2}{D_d^2 \Delta P}$
Эластический модуль Петерсона	E _p , мм рт.ст.	$\frac{\Delta P D_d}{\Delta D}$
Индекс жесткости	β	$\ln \frac{P_s}{P_d} D_d$
Модуль Юнга	E, мм рт.ст./мм	$\frac{\Delta P D_d}{\Delta D h}$
Деформация просвета	CS, %	$\frac{\Delta D}{D_d} 100$

Таблица 3. **Толщина комплекса интима-медиа (КИМ), сосудистых стенок (h), диаметры (Ds, Dd) общих сонных и позвоночных артерий в разновозрастных подгруппах**

Показатель	1-я подгруппа (20–39 лет)		2-я подгруппа (40–60 лет)		
	ОСА	ПА	ОСА	ПА	
КИМ, мм	справа	0,46 (0,39; 0,54)	–	0,55* (0,50; 0,66)	–
	слева	0,48 (0,46; 0,56)	–	0,62* (0,51; 0,73)	–
h, мм	справа	1,04 (0,93; 1,14)	0,62 (0,59; 0,69)	1,14 (0,96; 1,24)	0,61 (0,61; 0,76)
	слева	1,07 (0,91; 1,21)	0,64 (0,53; 0,76)	1,14 (1,01; 1,24)	0,61 (0,54; 0,69)
Ds, мм	справа	5,8 (5,64; 6,1)	3,24 (3,03; 3,60)	6,0 (5,7; 6,3)	3,51 (3,05; 3,81)
	слева	6,2 (5,7; 6,4)	3,57 (3,18; 3,98)	6,3 (5,8; 6,5)	3,66 (3,35; 3,89)
Dd, мм	справа	5,1 (4,7; 5,4)	3,13 (2,72; 3,35)	5,4* (5,2; 5,6)	3,43 (2,90; 3,74)
	слева	5,3 (4,9; 5,6)	3,43 (3,05; 3,81)	5,6* (5,2; 6,0)	3,51 (3,20; 3,74)

* достоверные различия с 1-й подгруппой (p < 0,05).
Результаты представлены в виде: медиана (25-й; 75-й процентиля).

мата с частотой 5–9 МГц (средняя частота во время исследования – 9 МГц, в режиме 2-й гармоники). При дуплексном сканировании экстракраниальных отделов БЦА анализировали проходимость просвета сосуда, наличие интима-медиа образований, состояние комплекса интима-медиа (КИМ) сонных артерий (эхогенность, степень дифференцировки на слои). Измеряли толщину КИМ ОСА на 1–1,5 см проксимальнее зоны ее бифуркации по задней по отношению к поверхности УЗ-датчика стенке сосуда, толщину стенок (h) ОСА и ПА. При анализе толщины стенок ОСА и ПА учитывали погрешность измерения, обусловленную близостью акустических сопротивлений адвентиции и окружающих сосуд тканей, и в дальнейшем принимали ее во внимание при трактовке получаемых данных. При исследовании в М-режиме оценивали систолический (Ds) и диастолический (Dd) диаметры ОСА и ПА (в V2 сегментах на уровне CIII–CV шейных позвонков) (рисунок). Величину пульсового диаметра сосуда (ΔD) рассчитывали как разность систолического и диастолического диаметров, измеряемых в М-режиме.

По формулам, представленным в табл. 2, рассчитывали эластичность, растяжимость, коэффициент эластичности, коэффициент растяжимости, эластический модуль Петер-

Таблица 4. **Показатели упруго-эластических свойств общих сонных и позвоночных артерий в разновозрастных подгруппах**

Показатель		1-я подгруппа (20–39 лет)		2-я подгруппа (40–60 лет)	
		ОСА	ПА	ОСА	ПА
Эластичность, мм ² /мм рт.ст.	справа	15,7 (12,5; 19,7)	1,7** (1,0; 2,5)	13,1* (10,4; 14,9)	1,3** (0,7; 2,3)
	слева	17,0 (14,5; 19,1)	1,6** (1,2; 2,3)	13,9* (10,9; 16,3)	1,4** (1,1; 1,7)
Коэффициент эластичности, мм ² /мм рт.ст.	справа	14,5 (11,8; 18,1)	1,7** (1,0; 2,4)	11,6* (9,9; 14,0)	1,2** (0,7; 2,2)
	слева	15,5 (13,6; 17,4)	1,7** (1,2; 2,7)	12,7* (10,4; 15,4)	1,3** (0,8; 2,2)
Растяжимость, 10 ⁻³ /мм рт.ст.	справа	3,7 (2,8; 4,3)	1,1** (0,7; 1,6)	2,5* (2,0; 3,5)	0,6** (0,5; 1,2)
	слева	3,7 (2,9; 4,3)	1,1** (0,6; 1,4)	2,5* (2,2; 3,3)	0,7** (0,5; 1,2)
Коэффициент растяжимости, 10 ⁻³ /мм рт.ст.	справа	7,9 (5,9; 9,4)	2,3** (1,5; 3,3)	5,4* (4,3; 7,5)	1,3** (1,1; 2,5)
	слева	8,0 (6,3; 9,4)	1,7** (1,3; 2,7)	5,2* (4,5; 7,1)	1,5** (1,1; 1,9)
Эластический модуль Петерсона, мм рт.ст.	справа	273 (233; 360)	866** (625; 1349)	393* (283; 492)	1603** (831; 1939)
	слева	273 (231; 345)	940** (705; 1760)	398* (301; 461)	1470** (830; 2104)
Индекс жесткости	справа	2,9 (2,3; 3,4)	9,2** (6,5; 13,6)	3,5* (2,7; 4,7)	14,8** (7,5; 19,4)
	слева	2,8 (2,3; 3,6)	9,7** (6,9; 17,3)	3,6* (3,1; 4,5)	14,8** (8,2; 20,0)
Модуль Юнга, мм рт.ст./мм	справа	266 (226; 346)	1474** (959; 2015)	344* (265; 458)	2109** (1268; 3086)
	слева	267 (211; 318)	1546** (1044; 2653)	330* (245; 461)	2408** (1438; 3276)
Деформация просвета, %	справа	15,3 (12,7; 18,5)	4,8** (2,8; 8,0)	10,8* (9,5; 14,1)	3,1** (2,0; 4,9)
	слева	16,4 (12,8; 18,7)	4,3** (2,3; 7,03)	11,5* (9,3; 13,3)	2,6** (2,2; 4,1)

* достоверные различия с 1-й подгруппой (p < 0,05);
** достоверные различия с ОСА внутри одной подгруппы (p < 0,05).
Результаты представлены в виде: медиана (25-й; 75-й процентиля).

сона, индекс жесткости, модуль Юнга, коэффициент деформации просвета [5, 6]. Непосредственно перед исследованием всем испытуемым измеряли артериальное давление (АД) на левой руке автоматическим тонометром. Пульсовое АД (ΔP) рассчитывали как разность систолического (Ps) и диастолического (Pd) АД.

Все полученные в исследовании результаты после формализации были преобразованы в электронные таблицы и обработаны с помощью методов статистического анализа, включенных в пакет программ «SPSS Statistics 17.0 for Windows». Полученные результаты представлены в табл. 3 и 4. Различия между исследуемыми выборками оценивали с помощью непараметрического критерия Манна–Уитни, между исследуемыми артериями в одной и той же выборке лиц – с помощью критерия Вилкоксона, связь между оцениваемыми параметрами – методом ранговой корреляции по Спирмену. Различия считали достоверными при уровне значимости p < 0,05.

Результаты исследования и их обсуждение

Толщина КИМ ОСА, сосудистых стенок ОСА и ПА, а также диаметры этих артерий, измеренные в М-режиме в группах сравнения, представлены в табл. 3. У обследованных нами практически здоровых лиц отсутствовала статистически значимая возрастная динамика толщины сосудистой стенки

ПА в экстракраниальных отделах. Анализ толщины КИМ и сосудистой стенки ОСА выявил тенденцию ($p = 0,1$) к увеличению последней в ОСА на 0,07–0,10 мм у лиц старшей возрастной группы. Кроме того, толщина КИМ сонных артерий была достоверно выше ($p < 0,01$) у лиц 2-й подгруппы (старше 40 лет) в сопоставлении с лицами 1-й подгруппы (от 20 до 40 лет) в среднем на 0,09–0,14 мм.

Статистически достоверных изменений диаметров ПА с возрастом также выявлено не было. У лиц старшей возрастной группы диаметры ПА в среднем несколько превышали таковые у молодых. Во 2-й подгруппе диастолический диаметр ОСА был достоверно выше, чем в 1-й (в среднем на 0,3 мм). Корреляционный анализ (с расчетом коэффициента ранговой корреляции Спирмена) выявил достоверную прямую связь между возрастом и значениями диастолических диаметров ОСА ($r = 0,3$, $p < 0,05$ и $r = 0,2$, $p < 0,05$ для правой и левой ОСА соответственно). Статистически достоверных различий между показателями систолических диаметров ОСА в исследуемых возрастных группах не выявлено. Подобные закономерности продемонстрированы другими авторами [5, 7].

Исследование упруго-эластических свойств сосудистой стенки ПА нами выполнено впервые. В обеих подгруппах практически здоровых лиц показатели, характеризующие эластичность и растяжимость сосудистой стенки ПА (эластичность, коэффициент эластичности, растяжимость, коэффициент растяжимости), были существенно ниже, а характеризующие жесткость сосудистой стенки (эластический модуль Петерсона, индекс жесткости, модуль Юнга и коэффициент деформации просвета) – достоверно выше, чем ОСА. Результаты расчета показателей, характеризующих упруго-эластические свойства стенок ОСА и ПА, представлены в табл. 4. В основе выявленных различий, по всей видимости, лежат особенности гистологического строения стенок ОСА и ПА. В структуре стенки ОСА преобладают эластические волокна, а в ПА – мышечные [5]. Малая выраженность эластического каркаса, вероятно, ограничивает растяжимость и эластичность стенки, способствуя повышению ее жесткости.

Достоверных межгрупповых различий показателей, отражающих упруго-эластические свойства стенок ПА, не выявлено. У лиц старшей возрастной подгруппы наблюдали тенденцию к снижению эластичности и растяжимости с одновременным повышением жесткости сосудистой стенки ПА.

При оценке упруго-эластических свойств стенок ОСА выявлены статистически значимые различия между разновозрастными подгруппами практически здоровых добровольцев по всем оцениваемым показателям. Для старшей возрастной подгруппы в сравнении с более молодыми лицами характерны более низкие значения показателей эластичности и растяжимости и более высокие значения показателей, отражающих жесткость сосудистой стенки ОСА. Корреляционный анализ (с расчетом коэффициента ранговой корреляции Спирмена) выявил достоверные обратные зависимости между эластичностью и возрастом (для правой ОСА – $r = -0,3$, $p = 0,03$; для левой ОСА – $r = -0,4$; $p = 0,001$), растяжимостью и возрастом (для правой ОСА – $r = -0,3$, $p = 0,02$; для левой ОСА – $r = -0,4$, $p = 0,004$), а также прямую взаимосвязь между возрастом и жесткостью стенки ОСА (для правой ОСА – $r = 0,2$, $p = 0,05$;

для левой ОСА – $r = 0,3$, $p = 0,04$). Таким образом, с возрастом происходит достоверное снижение эластичности и растяжимости и повышение жесткости сосудистой стенки сонных артерий, что соответствует литературным данным [7]. Менее выраженные изменения упруго-эластических свойств ПА с возрастом в отличие от сонных, вероятно, связаны с меньшей выраженностью процессов ремоделирования сосудистых стенок ПА, а также большей вариабельностью рассматриваемых показателей.

При оценке взаимосвязи между показателями жесткости стенок ОСА и ПА были выявлены следующие закономерности. Корреляционный анализ (с расчетом коэффициента ранговой корреляции Спирмена) продемонстрировал достоверную зависимость между растяжимостью и жесткостью сосудистой стенки правой и левой ПА с коэффициентами корреляции 0,8 ($p < 0,001$) и 0,8 ($p < 0,001$) соответственно, а также с несколько меньшими значениями коэффициентов корреляции между данными показателями в правой и левой ОСА – 0,5 ($p < 0,001$) и 0,6 ($p < 0,001$) соответственно. При этом достоверных связей между показателями жесткости стенок ОСА и ПА не выявлено, что косвенно свидетельствует об имеющихся различиях возрастной динамики изменений структурных элементов сосудистой стенки вышеозначенных артерий.

Оценивали также взаимосвязь показателей жесткости стенок ОСА и ПА с наличием у обследуемых лиц артериальной гипертонии, объективных УЗ-признаков атеросклероза экстракраниальных отделов БЦА, уровнем холестерина и фракций липопротеинов различной плотности, а также индексом массы тела. Проведенный анализ продемонстрировал отсутствие статистически значимых зависимостей. В основе полученных результатов может лежать выраженная неоднородность групп обследованных по наличию факторов риска, потенциально индуцирующих изменения упруго-эластических характеристик сосудистой стенки.

Результаты работы, характеризующие возрастные изменения стенок ОСА, соответствуют сегодняшним представлениям об особенностях процессов сосудистого старения и возрастного ремоделирования артериальной стенки. С возрастом происходит расширение просвета артерий, утолщение сосудистой стенки (КИМ) и снижение ее эластических свойств [4]. Последнее в большей степени связано с процессами в средней оболочке сосудистой стенки медиа, состоящей в основном из гладкомышечных клеток и эластических волокон [8]. С одной стороны, имеет место продолжительное механическое воздействие при прохождении пульсовой волны, которое оказывает прямое влияние на матричные белки, коллаген и эластин в сосудистой стенке. Это приводит к истончению, разрыву и фрагментации эластической мембраны [4]. С другой стороны, важную роль играет ферментативное влияние (в частности, матриксной металлопротеиназы 9) [9], которое способствует отложению кальция [10]. При этом с возрастом эластин и коллаген становятся более жесткими из-за накопления конечных продуктов гликолиза на белках [11], что нарушает их физические свойства и повышает жесткость волокон [10].

Инволюционные изменения также сопровождаются фиброзированием структурных элементов сосудистой стенки [12] и увеличением содержания коллагена, жесткость

которого существенно превышает жесткость эластина [2]. Определенный вклад в сосудистое старение вносят снижение антиоксидантных возможностей и оксидативный стресс [13, 14]. Сопутствующее атеросклеротическое поражение усугубляет возрастную перестройку сосудистой стенки. Компенсаторной реакцией в ответ на увеличение толщины сосудистой стенки служит дилатация просвета артерии, в большей степени выраженная в фазу диастолы. Все вышеописанные процессы происходят преимущественно в артериях эластического типа (ОСА), чем мышечного (ПА). Это связано с различиями в строении их сосудистой стенки, однако направленность указанных изменений в обоих типах артерий одинакова.

Заключение

Впервые количественно оценены упруго-эластические свойства стенок позвоночных артерий. Показано, что у практически здоровых лиц жесткость сосудистой стенки позвоночных артерий существенно выше, а эластичность и растяжимость ниже, чем таковые у общих сонных артерий. Для позвоночных артерий не обнаружены достоверные связи между показателями, отражающими упруго-эластические свойства их сосудистой стенки с возрастом. А для общих сонных артерий, напротив, с возрастом возникает статистически значимое увеличение толщины комплекса интима-медиа, сосудистой стенки и диастолического диаметра. Выявлены статистически значимые связи показателей жесткости сосудистой стенки общих сонных артерий с двух сторон и позвоночных артерий с двух сторон. При этом не обнаружено достоверных зависимостей между показателями жесткости стенок общих сонных и позвоночных артерий. Сказанное выше отражает различия реализации процессов ремоделирования сосудистой стенки, происходящих в разных по гистологическому строению артериях. Однако направленность указанных изменений в обоих типах артерий, по-видимому, различается незначительно, либо не различается вовсе.

Литература

1. Brunner E.J., Shipley M.J., Witte D.R. et al. Arterial stiffness, physical function, and functional limitation: the Whitehall II Study // *Hypertension*. 2011. V.57. №5. P.1003–1009.
2. Greenwald S.E. Ageing of the conduit arteries // *J Pathol*. 2007. V.211. №2. P.157–172.
3. Hashimoto J., Ito S. Some mechanical aspects of arterial aging: physiological overview based on pulse wave analysis // *Ther Adv Cardiovasc Dis*. 2009. V.3. №5. P.367–378.

4. Lee H.Y., Oh B.H. Aging and arterial stiffness // *Circ. J*. 2010. V.74. №11. P.2257–2262.
5. Лелюк В.Г., Лелюк С.Э. Ультразвуковая ангиология / 3-е изд., доп. М.: Реал Тайм, 2007. 398 с.
6. Laurent S., Cockcroft J., Van Bortel L. et al. Expert consensus document on arterial stiffness: methodological issues and clinical applications // *Eur. Heart J*. 2006. V.27. №21. P.2588–2605.
7. Izzo J.L.Jr., Shykoff B.E. Arterial stiffness: clinical relevance, measurement, and treatment // *Rev Cardiovasc Med*. 2001. V.2. №1. P.29–34, 37–40.
8. Jacob M.P. Extracellular matrix remodeling and matrix metalloproteinases in the vascular wall during aging and in pathological conditions // *Biomed. Pharmacother*. 2003. V.57. №5–6. P.195–202.
9. Bouvet C., Moreau S., Blanchette J. et al. Sequential activation of matrix metalloproteinase 9 and transforming growth factor beta in arterial elastocalcinosis // *Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol*. 2008. V.28. №5. P.856–862.
10. Atkinson J. Age-related medial elastocalcinosis in arteries: mechanisms, animal models, and physiological consequences // *J Appl Physiol*. 2008. V.105. №5. P.1643–1651.
11. McEnery C.M., McDonnell B.J., So A. et al. Aortic calcification is associated with aortic stiffness and isolated systolic hypertension in healthy individuals // *Hypertension*. 2009. V.53. №3. P.524–531.
12. Dao H.H., Essalihi R., Bouvet C. et al. Evolution and modulation of age-related medial elastocalcinosis: impact on large artery stiffness and isolated systolic hypertension // *Cardiovasc. Res*. 2005. V.66. №2. P.307–317.
13. Ha C.Y., Kim J.Y., Paik J.K. et al. The association of specific metabolites of lipid metabolism with markers of oxidative stress, inflammation and arterial stiffness in men with newly diagnosed type 2 Diabetes // *Clin. Endocrinol. (Oxf)*. May 2012. V.76. №5. P.674–682. [Epub ahead of print].
14. Lalaoui M.Z., El Midaoui A., de Champlain J. et al. Is there a role for reactive oxygen species in arterial medial elastocalcinosis? // *Vascul. Pharmacol*. 2007. V.46. №3. P.201–206.

Информация об авторах:

Лелюк Светлана Эдуардовна, доктор медицинских наук, профессор кафедры ультразвуковой диагностики медико-биологического факультета Российской медицинской академии последипломного образования
Адрес: 123995, Москва, ул. Баррикадная, 2/1
Телефон: (499) 150-9061
E-mail: s.e.lelyuk@gmail.com

Осипов Анатолий Николаевич, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой медицинской биофизики медико-биологического факультета Российского национального исследовательского медицинского университета им. Н.И.Пирогова
Адрес: 117997, Москва, ул. Островитянова, 1
Телефон: (495) 434-1174
E-mail: anosipov@yahoo.com

Лелюк Владимир Геннадьевич, доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник НИИ цереброваскулярной патологии и инсульта Российского национального исследовательского медицинского университета им. Н.И.Пирогова
Адрес: 117997, Москва, ул. Островитянова, 1
Телефон: (499) 726-9953
E-mail: v.g.lelyuk@gmail.com