

## МЕДИЦИНА

УДК 616-13-008.21

Е. И. ГАЙШУН<sup>1</sup>, академик И. В. ГАЙШУН<sup>2</sup>, А. М. ПРИСТРОМ<sup>3</sup>

## КЛАССИФИКАЦИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЛОКАЛЬНЫХ УПРУГИХ СВОЙСТВ АРТЕРИЙ

<sup>1</sup>1-я городская клиническая больница, Минск<sup>2</sup>Институт математики НАН Беларуси, Минск<sup>3</sup>Белорусская медицинская академия последипломного образования, Минск

Поступило 09.04.2014

**Введение.** Высокая ригидность крупных артерий способствует увеличению систолического артериального давления (АД) и снижению диастолического АД. Это приводит к возрастанию повреждающего действия пульсовой волны на сосуды органов-мишеней, уменьшает кровоснабжение миокарда и увеличивает нагрузку на него, что, в свою очередь, предрасполагает к развитию ишемической болезни сердца, сердечной и почечной недостаточности и др. Следовательно, оценка артериальной жесткости имеет важное значение для выявления лиц высокого сердечно-сосудистого риска.

В настоящее время разработаны различные методы определения как региональной, так и локальной жесткости сосудистой стенки. К первым относится скорость распространения пульсовой волны (СРПВ), получаемая каротидно-фemorальным способом (carotid-femoral pulse wave velocity), и сердечно-лодыжечный сосудистый индекс (cardio-ankle vascular index: CAVI) [1]. Ко вторым – локальная СРПВ, вычисляемая по известным формулам Bramwell–Hill или Moens–Kortweg [2–3], и различные показатели [4–6].

Некоторые из известных показателей упругих свойств артерий не учитывают такой важный параметр сосуда, как толщина комплекса интима-медиа (КИМ), другие существенно зависят от него. Поэтому возникает естественный вопрос: чем отличаются такие показатели. Кроме того, важно знать, почему и насколько сильно подвержен влиянию АД тот или иной показатель (поскольку чем сильнее это влияние, тем ниже надежность показателя [5; 7]).

Попытка ответить на эти вопросы привела нас к классификации показателей, которая и представлена в данной работе.

Цель исследования – установить различия между показателями упругих свойств артерий, учитывающими толщину КИМ, и показателями, не учитывающими этот параметр. Разработать классификацию показателей, положив в ее основу эти различия и степень зависимости от АД.

**Материалы и методы исследования.** В основе всех показателей (кроме СРПВ) лежит известный закон Гука, который применительно к исследованию упругих свойств артерий можно сформулировать следующим образом: если в сосуде, имеющем внутренний диаметр  $D_0$ , произошло увеличение давления на малую величину  $\delta P$ , то относительное приращение диаметра пропорционально  $\delta P$ , т. е.

$$\frac{D - D_0}{D_0} = b\delta P. \quad (1)$$

Коэффициент пропорциональности  $b$  (размерности  $\text{Па}^{-1}$ ) называется коэффициентом растяжимости диаметра. В нем содержится основная информация об упругих свойствах сосудистой стенки. Он зависит от многих факторов, в первую очередь, от давления в сосуде и от толщины КИМ.

Прежде чем высказать какие-либо заключения о коэффициенте  $b$ , уточним используемую нами терминологию. Под растяжимостью артерии мы понимаем способность ее диаметра увеличиваться при возрастании давления, а под эластичностью – способность материала сосудистой стенки деформироваться при воздействии давления. Эластичность и растяжимость – разные свойства. В этом легко убедиться, представив мысленно два сосуда с одинаковыми внутренними диаметрами и с одинаковым материалом сосудистой стенки. Ясно, что при одном и том же приращении давления больше увеличится диаметр у того сосуда, у которого тоньше КИМ, т. е. эластичность сосудов одинаковая, а растяжимость разная.

Таким образом, при прочих равных условиях, растяжимость артерии уменьшается вместе с возрастанием толщины КИМ. Количественно это можно представить следующей формулой:

$$\text{Растяжимость} = \frac{\text{эластичность}}{\text{толщина КИМ}}. \quad (2)$$

Выясним каким образом следует модифицировать коэффициент  $b$  (который, очевидно, определяется свойством растяжимости), чтобы он описывал эластичность материала сосудистой стенки. Согласно (2), для этого достаточно разделить его на толщину КИМ. Значит, если коэффициент  $b$  в (1) отражает растяжимость артерии, то коэффициент  $b/h$  ( $h$  – толщина КИМ) описывает эластичность материала сосудистой стенки. Отсюда, с учетом методики получения показателей упругих свойств артерий, предложенной в [8; 9], следует, что показатели, учитывающие толщину КИМ, оценивают эластичность материала сосудистой стенки, а показатели, не учитывающие этот параметр, оценивают растяжимость диаметра артерии. Первые мы называем показателями эластичности (ПЭ), вторые – индексами растяжимости (ИР).

Таким образом, все наиболее известные показатели упругих свойств артерий разделены нами на два класса, представленные в табл. 1.

Т а б л и ц а 1. Индексы растяжимости и показатели эластичности артерий

Индекс растяжимости	Показатель эластичности
$c_0 = D_d \sqrt{\frac{133,3(P_s - P_d)}{1,06 \cdot 10^3 (D_s^2 - D_d^2)}}$	
$\beta^{-1} = \frac{D_s - D_d}{D_d (\ln P_s - \ln P_d)}$	$B^{-1} = \beta^{-1} h$
$\gamma_m = \frac{(1-m)(D_s - D_d)}{D_d (P_s^{1-m} - P_d^{1-m})}$	$\Gamma_m = \gamma_m h$
$\Psi = \frac{1000(D_s - D_d)}{D_d ((190 - P_d)^{1,5} - (190 - P_s)^{1,5})}$	$\Psi = h \Psi$
$E_p^{-1} = \frac{D_s - D_d}{D_d (P_s - P_d)}$	$E_y^{-1} = E_p^{-1} h$

П р и м е ч а н и я:  $P_s$  и  $P_d$  – систолическое и диастолическое АД в мм рт. ст.,  $D_s$  и  $D_d$  – диаметры сосуда в систолу и диастолу в мм,  $h$  – толщина КИМ в мм,  $c_0$  – СРПВ в форме Моенс–Korteweg [3],  $\beta$  – индекс жесткости [6],  $B$  – модифицированный индекс жесткости,  $\gamma_m$  и  $\Gamma_m$  – параметрические ИР и ПЭ [8],  $E_p$  и  $E_y$  – модули упругости Петерсона и Юнга [8].

Оценим влияние АД на ИР и ПЭ. Коэффициент растяжимости достаточно сложным образом зависит от давления в сосуде и в настоящее время точно описать эту зависимость не представляется возможным. Поэтому обычно используются различные математические модели этого коэффициента. Наши исследования [10] показали, что влияние АД на показатель тем меньше, чем ближе используемая математическая модель к реальному коэффициенту растяжимости. Поскольку в модулях Петерсона  $E_p$  и Юнга  $E_y$  коэффициент растяжимости считается постоянным [11] (что не соответствует действительности), то эти показатели зависят от АД достаточно сильно (по данным [10] такая зависимость может составлять 30 % и более). В индексах жесткости  $\beta$  и  $B$ , в ИР  $\gamma_m$ ,  $\Psi$  и ПЭ  $\Gamma_m$ ,  $\Psi$  используются более точные, чем и модулях  $E_p$  и  $E_y$ , математические

модели коэффициента растяжимости [8–10]. Поэтому эти показатели зависят от АД мало. Согласно формулы Moens–Korteweg [3], СРПВ  $c_0$  получается извлечением квадратного корня из модуля Юнга, что уменьшает зависимость от АД (расчеты, проведенные в работе [10], показывают, что зависимость от АД составляет 10–15 %).

Таким образом, все показатели, представленные в табл. 1, по критерию зависимости от АД разбиваются на 3 группы: сильная зависимость (модули Петерсона  $E_p$  и Юнга  $E_y$ ), средняя зависимость (СРПВ  $c_0$ ) и слабая зависимость (индексы жесткости  $\beta$  и  $B$ , показатели  $\gamma_m$ ,  $\psi$ ,  $\Gamma_m$ ,  $\Psi$ ).

**Результаты и их обсуждение.** Объединяя приведенные данные о зависимости показателей от АД и учитывая разделение их на две группы, предложенное выше (см. табл. 1), приходим к классификации показателей локальных упругих свойств артерий, описанной в табл. 2.

Т а б л и ц а 2. Классификация показателей упругих свойств артерий

Индекс растяжимости. Позволяет оценить растяжимость сосудистой стенки	Показатель эластичности. Позволяет оценить эластичность материала сосудистой стенки	Зависимость от артериального давления	Примечание
$E_p^{-1}$	$E_y^{-1}$	Сильная	Необходима стандартизация условий применения
$c_0$	–	Средняя	Необходима стандартизация условий применения
$\psi$	$\Psi$	Слабая для практически здоровых людей старше 50 лет	Особенно надежны при артериальной гипертензии 2-й степени
$\beta^{-1}$	$B^{-1}$	Слабая	Особенно надежны для практически здоровых людей возраста $\leq 30$ лет
$\gamma_m$	$\Gamma_m$	Определяется категорией пациентов	Требуют выбора параметра $m$ в зависимости от упругих свойств артерий обследуемых пациентов
$m = 1,1$		Слабая для практически здоровых людей возраста $\leq 30$ лет	
$m = 1,2$		Слабая для практически здоровых людей в возрасте 31–50 лет	
$m = 1,4$		Слабая для практически здоровых людей в возрасте 51–60 лет	

**Выводы.** Предложена классификация показателей локальных упруго-эластических свойств артерий по следующим двум критериям: оцениваемое свойство (растяжимость или эластичность) и степень зависимости от АД. По первому критерию все показатели разбиты на 2 группы: ИР и ПЭ. Отличительная особенность ПЭ – наличие в них, как одного из основных параметров, толщины КИМ. В то же время в ИР толщина КИМ не учитывается. Вследствие этого ИР ориентированы на оценки растяжимости артерий, а ПЭ – на оценку эластичности материала сосудистой стенки. Согласно второму критерию, показатели разделены на три класса: сильно, средне и слабо зависящие от АД. К первому классу относятся модули Петерсона и Юнга, ко второму СРПВ, к третьему – индексы жесткости  $\beta$ ,  $B$  и все показатели, полученные в [8; 9].

В связи с различиями между ИР и ПЭ (количественные характеристики этих различий приведены в [12]) возникает естественный вопрос: в каких случаях целесообразно использовать ИР, а в каких ПЭ. Однозначный ответ на этот вопрос дать невозможно, все зависит от цели проводимого исследования. Например, гемодинамическая нагрузка на сердечную мышцу в большей степени зависит от растяжимости крупных артерий, чем от эластичности материала их стенок [13]. Следовательно, в этом случае целесообразно применять ИР. Однако при многих сердечно-сосудистых заболеваниях, а также с увеличением возраста, как правило, нарушается и растяжимость, и эластичность сосудистой стенки. Для повышения объективности выявления таких нарушений рекомендуется одновременно использовать и ИР и ПЭ в соответствии с методикой, предложенной в инструкции [14].

## Литература

1. Shirai K., Utino J., Otsuka K. et al. // J. Atheroscler. Thromb. 2006. Vol. 13. P. 101–107.
2. Bramwell J. S., Hill A. V., Bramwell J. S. // Proc. Roy. Soc. 1922. Vol. 93. P. 298–306.
3. Moens A. I. Die Pulskurve. Leiden, 1878.
4. Лелюк В. Г., Лелюк С. Э. Ультразвуковая ангиология. М., 2007.
5. Ультразвуковая диагностика сосудистых заболеваний. Руководство для врачей / Под ред. В. П. Куликова. М., 2011.
6. Манак Н. А., Пристром А. М., Гайшун Е. И. // Здоровоохранение. 2010. № 6. С. 36–38.
7. Поливода С. Н., Черепок А. А., Сычев Р. А. // Internetmap. Info. Запорожский гос. мед. ун-т. 2002. С. 1–20.
8. Манак Н. А., Пристром А. М., Гайшун Е. И. // Докл. НАН Беларуси. 2010. Т. 54, № 4. С. 105–108.
9. Гайшун И. В., Манак Н. А., Гайшун Е. И., Пристром А. М. // Весці НАН Беларусі. Сер. мед. навук. 2010. № 4. С. 25–31.
10. Манак Н. А., Пристром А. М., Гайшун Е. И. // Кардиология в Беларуси. 2010. № 3 (10). С. 72–81.
11. Каро К., Педли Т., Шротер Р., Сид У. Механика кровообращения. М., 1981.
12. Пристром А. М., Гайшун Е. И. // Тез. докл. 18 Российского национального конгресса «Человек и лекарство». М., 2011. С. 628.
13. Пристром А. М., Гайшун Е. И. // Медицина. 2011. № 4. С. 14–17.
14. Пристром А. М., Гайшун Е. И. Метод диагностики нарушения упругих свойств общей сонной артерии: Инструкция по применению. Рег. № 030–0313.-2013.

*E. I. GAISHUN, I. V. GAISHUN, A. M. PRYSTROM*

gaishun@im.bas-net.by

## CLASSIFICATION OF THE INDICES OF LOCAL ELASTIC PROPERTIES OF ARTERIES

### Summary

The classification of the indices of local elastic properties of arteries depending on the estimate of the vascular wall (dispensability or elasticity) and also depending on the extent of the arterial pressure influence on them is suggested.