

*Л.В.АВТОНОМОВА*, канд.техн.наук, вед.наук.сотр., НТУ «ХПИ»;

*С.М.ДЕРГУН*, науч.сотр., НТУ «ХПИ»;

*Г.А.ГОНЧАРОВА*, мл.науч.сотр., НТУ «ХПИ»;

*А.В.СТЕПУК*, канд.физ.-мат.наук, ст.науч.сотр., НТУ «ХПИ»

## **МЕХАНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ НА РАСТЯЖЕНИЕ И ВНУТРЕННЕЕ ДАВЛЕНИЕ СОСУДОВ ИМПЛАНТАНТОВ**

Стаття присвячено визначенням впливу технології виготовлення і умов збереження на міцність при розтягуванні та внутрішньому тиску кровоносних судин імплантатів. Надані рекомендації умов зберігання судин імплантатів.

The article is dedicated to determine the influence of production technology and storage conditions on tensile strength and intrinsic pressure of blood vessels implants. The recommendations to be given concerning storage conditions of implant vessels.

**Введение.** Кровеносные сосуды – эластичные трубчатые образования в теле человека, по которым силой ритмически сокращающегося сердца или пульсирующего сосуда осуществляется перемещение крови по организму: к органам и тканям по артериям, артериолам, артериальным капиллярам, и от них к сердцу – по венозным капиллярам, венам и венулам. Адвентиция стенки кровеносного сосуда может быть представлена в виде каркаса из эластико-коллагеновых элементов, заполненного рыхлой соединительной тканью. При изучении строения стенки кровеносных сосудов вполне определенно установлено, что их наружная оболочка (adventia) в рыхлом слое соединительной ткани содержит большое количество косых и продольных толстых эластичных и коллагеновых волокон, которые и обуславливают необходимую жесткость стенки сосуда для неизменности формы просвета сосуда при его деформировании (изгибе) [1,2,3]. Эластиновые и коллагеновые волокна в совокупности образуют в адвентиции своеобразный жесткий (по сравнению с окружением) каркас [4], расположение и количество отдельных элементов которого вариабельно в зависимости от многих факторов: вида сосуда, его локализации, возраста, патологии и пр. Каждый такой эластиново-коллагеновый элемент обладает вполне определенными механическими свойствами. Модуль упругости крупных кровеносных сосудов в радиальном направлении изменяется от 0,11 МПа до 0,79 МПа [5, 7-9], а коэффициент Пуассона имеет значение немногим больше нуля [6].

**Цель исследования и постановка задачи.** В медицинской практике часто используются имплантанты-сосуды при разных сердечно-сосудистых, варикозных и прочих заболеваниях. В связи с необходимостью сохранения имплантантов на протяжении долгого времени разрабатываются разные спо-

собы их хранения, которые не ухудшали бы их механические свойства. Институтом проблем криобиологии и криомедицины Национальной академии наук Украины были предоставлены биоматериалы (сосуды-имплантанты), отличающиеся технологией изготовления и хранения которых осуществлялось в различных условиях: при комнатной температуре, в морозильной камере при температуре  $-24^{\circ}\text{C}$ , прошедшие азотную криообработку. В связи с этим, были проведены экспериментальные исследования с целью определения влияния технологии изготовления и условий хранения на прочность имплантантов.

**Эксперимент.** В ходе работы были проведены два типа экспериментов для различных сосудов-имплантантов: деформирование их внутренним давлением и при растяжении.

Определение прочности в продольном направлении проводилось на разрывной машине FP 100/1BR при шкале нагрузки 40 Н и скорости перемещения активного захвата 66 мм/мин. Погрешность измерения составляла не более 2 %. Для исключения проскальзывания фиксация концов образца имплантанта в зажимном устройстве осуществлялась через прокладки из шлифовальной бумаги.

Внутренний диаметр сосуда определялся с помощью конического градуированного измерителя с нанесенной шкалой с погрешностью  $\pm 0,5$  мм. Толщина стенки имплантанта измерялась микрометром на разрезанном вдоль сосуда.

Диаграмма растяжения в координатах усилие/удлинение через блок аналого-цифрового преобразователя регистрировалась на персональном компьютере.

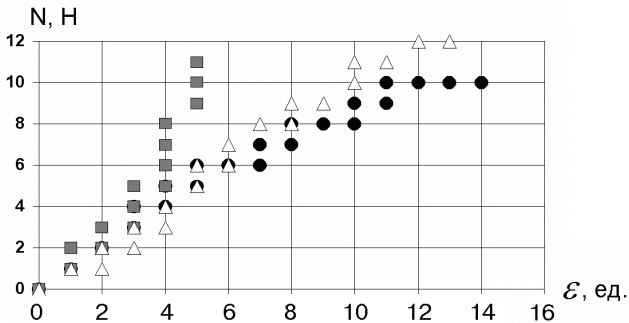


Рисунок 1 – Экспериментальная диаграмма деформирования образцов крупного кровеносного сосуда облученного 24 Гр при формировании: ■ ■ ■ – при комнатной температуре, ● ● ● – в морозильной камере при температуре  $-24^{\circ}\text{C}$ ,  $\Delta \Delta \Delta$  – прошедшие азотную криообработку

Для проведения эксперимента у испытуемого крупного кровеносного

сосуда вырезалась в продольном направлении полоса прямоугольной формы. Испытуемый образец закрепляли и растягивали до момента разрушения. На рис. 1 представлена экспериментальная картина распределения деформации образцов из крупного кровеносного сосуда-имплантанта при различных условиях хранения и изготовления.

Прочность сосуда в радиальном направлении определялась при нагружении имплантанта внутренним давлением с фиксацией давления при разрушении сосуда. При испытаниях использовался электронный датчик измерения давления на базе МРХ5700 и с помощью аналого-цифрового преобразователя записывалось изменения давления в сосуде при шкале в 700 кПа и погрешности измерения равной 2,5 %. Схема экспериментальной установки для измерения разрушающего внутреннего давления сосудов-имплантантов представлена на рис. 2.

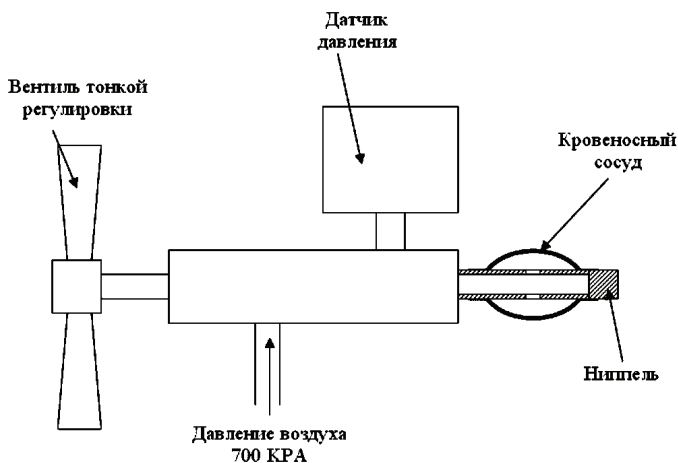


Рисунок 2 – Схема экспериментальной установки для измерения внутреннего давления при разрушении сосуда

Эксперимент осуществлялся следующим образом: образец кровеносного сосуда необходимой длины (~20-25 мм) фиксировался на ниппеле диаметра соответствующего диаметру имплантанта. Концы сосуда плотно закреплялись нитью. Через вентиль тонкой регулировки давление воздуха с малой скоростью подачи нагнеталось внутрь сосуда до момента его разрушения. По регистрируемым значениям давления с помощью блока аналого-цифрового преобразователя на персональном компьютере строилась диаграмма разрушения сосуда в координатах давление/время.

**Анализ экспериментальных данных.** Как ранее отмечалось, для изучения механических свойств крупных кровеносных сосудов-имплантантов

диаметром  $3,5 \pm 0,5$  мм, были проведены два типа экспериментов: растяжение сосудов и нагружение их внутренним давлением. Исследовались имплантаты при дозе облучения 24 Гр и 49Гр, которые хранились в разных условиях.

Величины разрывного усилия при растяжении для исследуемых кровеносных сосудов-имплантатов диаметром  $3,5 \pm 0,5$  мм приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Величина разрывного усилия при растяжении кровеносных сосудов-имплантатов

Способ хранения	Доза облучения, Гр	
	24	49
	Разрывное усилие, Н	Разрывное усилие, Н
Комнатная температура	11,3	11
Морозильная камера, $-24\text{ C}^\circ$	11,6	-
Азотная обработка	12	8,8

Из табл. 1 видно, что величина разрывного усилия при растяжении для сосудов с дозой облучения равной 49 Гр ниже, чем для сосудов с дозой облучения равной 24 Гр на 2,7 % при комнатной температуре хранения и на 26,7 % для сосудов, хранящихся в азотной камере. Также стоит отметить, что для сосудов с дозой облучения равной 24 Гр с уменьшением температуры хранения прослеживается увеличение прочности на растяжение. Так, при хранении сосудов при комнатной температуре значение величины разрывного усилия на 5,8 % ниже, чем для сосудов, хранящихся в азотной камере. Таким образом, более высокая прочность на растяжение сосудов-имплантатов с дозой облучения равной 24 Гр наблюдается при хранении с использованием азотной заморозки, в то время как для сосудов с дозой облучения равной 49 Гр лучший результат показывает хранение при комнатной температуре.

Значения величины разрушающего внутреннего давления для исследуемых кровеносных сосудов-имплантатов диаметром  $3,5 \pm 0,5$  мм приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Величина разрушающего внутреннего давления в кровеносных сосудах-имплантатах

Способ хранения	Доза облучения, Гр	
	24	49
	Разрушающее давление, кПа	Разрушающее давление, кПа
Комнатная температура	396,0	355,4
Морозильная камера, $-24\text{C}^\circ$	301,4	413,9
Азотная заморозка	449,0	392,2

Из табл. 2 видно, что значение разрушающего внутреннего давления для сосудов, обработанных дозой облучения равной 24 Гр, на 10 % выше, чем для сосудов – с дозой облучения равной 49 Гр при комнатной температуре хранения и на 12,6 % при хранении их в азотной камере. В то же время при хранении сосудов в морозильной камере более интенсивно облученные сосуды-имплантанты на 27 % прочнее в радиальном направлении чем сосуды, облученные дозой 24 Гр. Следует отметить, при испытании сосудов с дозой облучения 24 Гр лучшую прочность показали сосуды, которые хранились при азотной заморозке, а для сосудов с дозой облучения равной 49 Гр предпочтительнее хранение в морозильной камере при температуре 24 С°.

**Выводы.** В данной статье были представлены результаты экспериментов при растяжении и нагружении внутренним давлением сосудодимплантантов с разной дозой облучения и при разных условиях их хранения. Показано, что наилучшими прочностными характеристиками обладают сосуды-имплантанты с дозой облучения равной 24 Гр, которые находились в условиях азотной заморозки.

**Список литературы.** 1. Пурина Б. Я., Касьянов В. А. Биомеханика крупных кровеносных сосудов человека. – Рига: Зинатне, 1980. 2. Никулин А.А., Петров В.К. Кровеносные сосуды. – Тула: Приокское книжное издательство, 1981. 3. Ванков В. Н. Строение вен. – М.: Медицина, 1974. 4. Капо К., Педли Т., Шротер Р., Сид У. Механика кровообращения. – М.: Мир, 1981. 5. Jimenez M.I.B. An object oriented modeling framework for the arterial wall // PhD thesis, University of Los Andes, Bogota, Colombia. – 2007. 6. Liao D., Arnett D.K., Tyroler H.A., Riley W.A., Chambless L.E., Szklo M., Heiss G. Arterial stiffness and the development of hypertension: The ARIC study // The importance of arterial stiffness measurement, Lannert A. (Ed.). – The Hungarian Arterial Stiffness Society: Medexpert Ltd., 2007. – PP. 8-9. 7. Levesque M.L., Liepsch D., Moravec S., Nerem R.M. Correlation of endothelial cell shape and wall shear stress in a stenosed dog aorta // Arteriosclerosis, Trombosis, and Vascular Biology. – 1986. – 6. – PP. 220-229. 8. Schmid F., Sommer G., Rappolt M., Schulze-Bauer C.A.J., Regitnig T.P., Holzapfel G.A., Laggner P., Amenitsch H. In situ tensile testing of human aortas by time-resolved small-angle X-ray scattering // Journal of Synchrotron Radiation. – 2005. – 12. – PP. 727-733. 9. Mehnen L.H. Ferromagnetic amorphous bending sensors for artery wall displacement measurement simulation and practice // Ph.D Thesis, Institut für Analysis und Technische Mathematik, Wien. – 2002.

*Поступила в редколлегию 06.09.2009*