

УДК 539.3

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТКАНИ ПОЧКИ С ЦЕЛЬЮ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГЕМОСТАТИЧЕСКИХ ШВОВ

© 2011 г.

Ю.А. Белова¹, Д.Ю. Потапов²

¹Саратовский госуниверситет им. Н.Г. Чернышевского

²Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского

Belova_ja@mail.ru

Поступила в редакцию 24.08.2011

Изучены деформационно-прочностные свойства тканей почек свиньи и человека. Проведен их сравнительный анализ и подтверждена возможность использования свиных почек в качестве заменителя человеческих тканей во время испытаний. Построена трехмерная модель почки, а также рассчитана двумерная задача воздействия швов на ткани почек.

Ключевые слова: почка, лоханка, капсула, паренхима, модуль Юнга, конечно-элементная модель.

Механические свойства тканей почек

Для определения механических свойств тканей почки были проведены эксперименты по одноосному растяжению образцов. Каждая почка рассекалась в продольном и поперечном направлениях на примерно одинаковые фрагменты. Механические свойства капсулы, паренхимы и лоханки почки были исследованы по отдельности. Изучение данных составляющих почки по отдельности обусловлено различным онтогенетическим происхождением и функциональной нагрузкой этих образований. К тому же, в ходе резекции почки именно эти элементы подвержены прошиванию.

Эксперимент был проведен для 15 свиных почек. В ходе эксперимента были исследованы 21 образец почечной капсулы, 28 образцов паренхимы и 25 образцов стенки лоханки (рис. 1, 2).

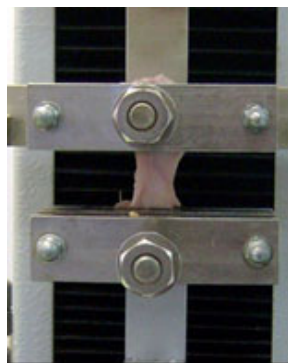


Рис. 1

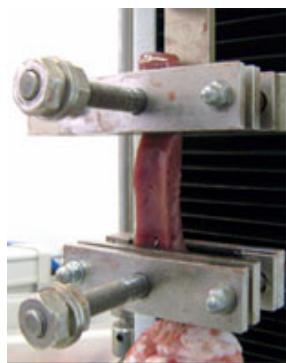


Рис. 2

На основе полученных данных построены графики зависимости напряжения от деформации

с шагом по деформации 0.01 (рис. 3). При анализе графиков получено, что наибольшей упругостью обладает капсула почки, наименьшей – паренхима.

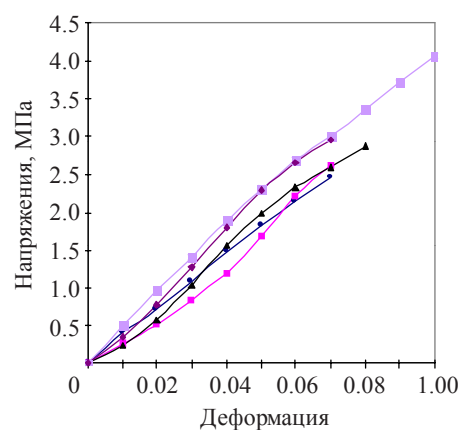


Рис. 3

После отработки данной методики эксперимент был проведен на человеческих почках. Почки с почечными артериями были изъяты у трупов людей обоего пола не позднее 16–18 часов после наступления смерти. Эксперименты проводились в день забора материала, не позднее двух часов после аутопсии. В ходе проведенных экспериментов были определены модули Юнга для тканей почек человека. Полученные данные позволили сделать заключение о механических свойствах различных частей почки. Кроме того, был проведен сравнительный анализ деформационно-прочностных свойств почки человека и свиньи. Значения модулей упругости имеют достаточно хорошее совпадение друг с другом и с литературными данными (рис. 4) [1, 2]. Таким образом, воз-

можно применение свиных почек в качестве заменителя человеческих почек для дальнейших экспериментов.

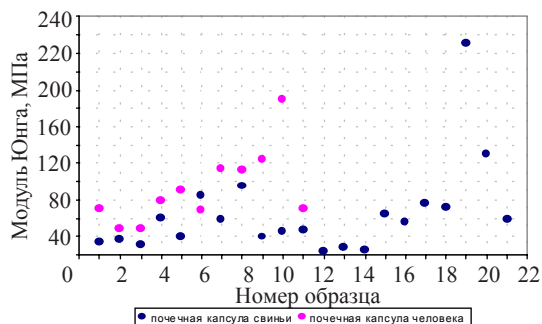


Рис. 4

Трехмерное моделирование почки

Для реконструкции трехмерной модели почки был использован *in vivo* метод. Этот метод основан на снимках, полученных с помощью магниторезонансной томографии (МРТ) или компьютерной томографии (КТ). Для настоящего исследования были использованы снимки компьютерной томограммы, полученные в Научном центре сердечнососудистой хирургии им. А.Н. Бакулева РАМН. Реконструкция геометрии проводилась по двумерным сечениям: снимки КТ, содержащие почку, открывались в графическом редакторе, область сечения почки выделялась сплайном и сохранялась в отдельном файле для каждо-

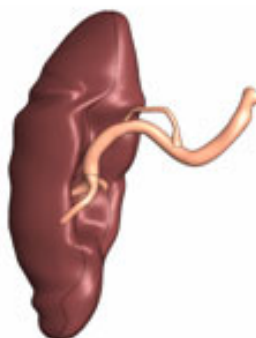


Рис. 5

го сечения. Далее сплайны импортировались в CAD пакет и соединялись. В итоге получалась трехмерная модель органа (рис. 5).

Воздействия швов на ткани почек

После проведенных исследований в конечно-элементном пакете ANSYS была поставлена двумерная задача для определения воздействия различных видов швов на ткани почки. Для этого экспериментально определена максимальная сила затягивания, приводившая к прорезанию тканей почки. Значение модуля упругости для данной задачи бралось как среднее среди полученных модулей с учетом толщины каждого слоя. Часть почки, подверженная прошиванию, была представлена прямоугольником с отверстиями, внутри которых приложены силы, соответствующие воздействию швов на ткань. В зависимости от вида шва менялись прикладываемые силы и вектор их направленности, а также количество отверстий. При решении задач расстояние между отверстиями и до края менялись с целью нахождения оптимального расстояния между швами. На рис. 6 показаны перемещения, возникающие при воздействии швов на ткани почки.

Список литературы

1. Snedeker J.G. et al. Strain energy density as a rupture criterion for the kidney: impact tests on porcine organs, finite element simulation, and a baseline comparison between human and porcine tissues // *Journal of Biomechanics*. 2005. V. 38. P. 993–1001.
2. Snedeker J.G. et al. Strain-rate dependent material properties of the porcine and human kidney capsule // *Journal of Biomechanics*. 2005. V. 38. P. 1011–1021.

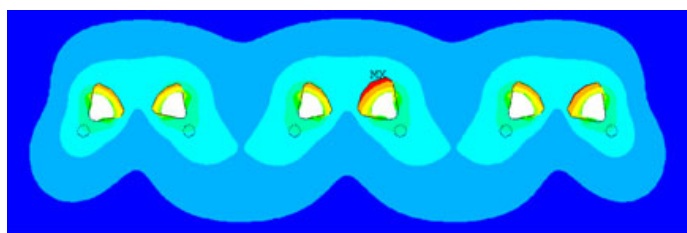


Рис. 6

INVESTIGATING THE MECHANICAL PROPERTIES OF THE KIDNEY TISSUE FOR MODELING HAEMOSTATIC SUTURE

Ju.A. Belova, D.Yu. Potanov

This study was performed to characterize the stress-strain properties of the human and porcine kidney tissues. Comparative analysis of the human and porcine kidney tissues was done. The properties of porcine renal tissues were found to match the material properties of human tissue closely enough, so that porcine tissue material can be used as a human test surrogate. The paper presents a three-dimensional model for kidney and a solution of the two-dimensional problem of the influence of seams on kidneys tissue.

Keywords: kidney, pelvis, capsular membrane, parenchyma, Young's modulus, finite element model.