

DOI: <https://doi.org/10.25276/2410-1257-2020-3-23-25>
УДК 617.721

Экспериментальная оценка вязкопластических свойств тканей радужной оболочки глаза

Г.В. Воронин¹, И.А. Новиков¹, С.Ю. Петров¹, А.А. Эль-Сангахави²

¹ФГБНУ «Научно-исследовательский институт глазных болезней»

²Кафедра глазных болезней ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» Минздрава России, Москва

РЕФЕРАТ

Цель. Изучение вязкопластических свойств слоев радужной оболочки глаза.

Материал и методы. Экспериментальный материал был получен из радужной оболочки глаз у 20 пациентов в возрасте 60-70 лет с первичной открытоугольной глаукомой II-III стадии во время синустрабекулэктомии. С помощью испытательного прибора, оказывающего разрушающее (поступательным проникновением индентора в ткани) воздействие на образцы тканей радужной оболочки глаза, были получены данные о динамической вязкости вещества слоев тканей радужки.

Результаты. Во всех протестированных образцах была обнаружена выраженная неоднородность биомеханических свойств по глубине. Каждый образец радужки проявил трехзонное строение, которое можно схематично сопоставить с бессосудистой частью стромы

(S), богатой сосудами рыхлой частью стромы (V) и структурным комплексом, включающим мышечные волокна и пигментный листок с его (условной) базальной мембраной (M).

Выводы. Впервые была изучена изменчивость по глубине биомеханических свойств периферической части радужки без строгой привязки к ее архитектонике. Выявлено три слоя, отличающихся по уровню биомеханической состоятельности. Доказано наличие относительно рыхлого слоя между передней бессосудистой стромой радужки, обладающей максимально выраженными вязко-пластическими свойствами, и структурным комплексом, включающим в себя мышцу и задний пигментный листок.

Ключевые слова: биомеханика, биомеханические характеристики, радужная оболочка, вязкопластические свойства. ■

Точка зрения. Восток – Запад. 2020;3:23–25.

ABSTRACT

Experimental evaluation of the viscoplastic properties of the iris tissue

G.V. Voronin¹, S.Y. Petrov¹, I.A. Novikov¹, A.A. El-Sangahawi²

¹Federal State Budgetary Scientific Educational Institution «Scientific Research Institute of Eye Diseases»

²Department of Eye Diseases «I.M. Sechenov First Moscow State Medical University», Moscow

Purpose. The study of the viscoplastic properties of the layers of the iris.

Material and methods. The experimental material was obtained from the iris of 20 patients during trabeculectomy at the age of 60-70 years with primary open-angle glaucoma of the II-III stage. Using a test device that has a destructive (translational penetration into the indenter tissue) effect on the tissue samples of the iris, data were obtained on the dynamic viscosity of the substance of the layers of the tissue of the iris.

Results. In all tested samples, a pronounced heterogeneity of the biomechanical properties in depth was found. Each iris sample showed a three-zone structure, which can be schematically compared with the avascular part of the stroma (S), which is rich in vessels with the loose

part of the stroma (V) and a structural complex that includes muscle fibers and a pigment sheet with its (conditional) basement membrane (M).

Conclusion. For the first time, the variability in depth of the biomechanical properties of the peripheral part of the iris was studied without strict reference to its architectonics. Three layers were identified that differ in the level of biomechanical solvency. The presence of a relatively loose layer between the anterior avascular stroma of the iris, which has the most pronounced visco-plastic properties, and the structural complex, which includes muscle and posterior pigment leaf, is proved.

Key words: biomechanics, biomechanical characteristics, iris, viscoplastic properties. ■

Point of View. East – West. 2020;3:23–25.

Биомеханика – это наука о применении принципов механики для изучения строения и функций живых организмов. Взаимосвязь между силой и функциями играет значимую роль при большом количестве офтальмологических расстройств. Это неудивительно, поскольку глазное яблоко пред-

ставляет собой закрытую емкость сосудов, постоянно требующих баланса сил для поддержки своего гомеостаза.

За последнее десятилетие фундаментальные научные исследования в офтальмологии показали, что биомеханика глаза может частично объяснить механизмы, вовле-

ченные во многие офтальмологические расстройства, такие как невропатии диска зрительного нерва, аметропия, пресбиопия, катаракта, патология роговицы, отслойка сетчатки, макулярная дистрофия сетчатки и глаукома. Однако изучение биомеханики в офтальмологии находится скорее на начальном этапе.

Так, радужная оболочка рассматривается только с функциональной и сосудистой точек зрения, а детальное изучение биомеханических ее свойств пока не проводилось.

Это исследование направлено на развитие идеи о том, что изучение биомеханических свойств радужки имеет перспективы на будущее. Оно необходимо, так как мы получили данные о различном поведении радужной оболочки при одинаковой степени мидриаза. Такое различие может быть объяснено биомеханическими свойствами радужной оболочки, в частности, различным поведением сосудистого слоя.

ЦЕЛЬ

Изучить вязкопластические свойства различных слоев радужной оболочки глаза.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Экспериментальный материал был получен из радужной оболочки глаз во время синустрабекулэктомии у 20 пациентов в возрасте 60-70 лет с первичной открытоугольной глаукомой II-III стадии.

После формирования колобомы радужки, для предотвращения дегидратации образцов, их помещали в специальный контейнер с изотоническим раствором хлорида натрия 0,9%-м. С помощью испытательного прибора, оказывающего разрушающее (поступательным проникновением индентора в ткани) воздействие на образцы тканей радужной оболочки глаза, были получены данные о динамической вязкости вещества слоев тканей радужки (рис. 1).

Для этого совершали прокол каждого образца, расплавленного в капле физраствора на твердой восковой поверхности, с внешней стороны радужки, стараясь сориентировать клиновидный индентор поперек крипт. Для проведения механического теста использовали сапфировый индентор односторонне скошенной клиновидной формы диаметром 0,5652 мм с программируемой постоянной скоростью подачи (4 мл/час) и системой оценки усилия, передаваемого через образец



Рис. 1. Биомеханическая испытательная установка в момент прокалывания образца

на датчик (частота регистрации – 5 значений /сек; разрешение по усилию 0,02 гс). После обработки были получены данные разрушающего усилия плунжера по мере его прохождения через структуры радужки с равной скоростью (динамическая вязкость) и интегральное вязкое сопротивление каждого из слоев при заданной скорости вдавливания, близкое к величине предельной устойчивости образца. Все образцы были испытаны по специальной программе, разработанной для экспериментального стенда в режиме реального времени.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Во всех протестированных образцах была обнаружена выраженная неоднородность биомеханических свойств по глубине. Каждый образец радужки проявил трехзонное строение, которое можно схематично сопоставить с бессосудистой частью стромы (S), богатой сосудами рыхлой частью стромы (V) и структурным комплексом, включающим мышечные волокна и пигментный листок с его (условной) базальной мембраной (M).

При этом было отмечено, что первая и вторая биомеханические зоны составляют большую часть радужки по глубине (рис. 2). Наиболее состоятельной в биомехани-

ском выражении является бессосудистая часть стромы (на диаграмме отмечена «S»). Она характеризуется как наибольшими усилиями вязкого динамического сопротивления индентору (0,4-2,0 гс/мм²·с), так и наибольшим интегральным усилием на разрыв (до $4,9 \cdot 10^{-2}$ Н).

Наименьшей динамической вязкостью обладает внутренняя сосудистая часть стромы («V» на рис. 2). При этом образцы сильно разнятся как по биомеханическим характеристикам этого «слоя», так и по его относительной толщине. В отдельных радужках он может быть значительным по толщине (50-70 мкм), но при этом практически не оказывать сопротивления инденторированию (0,0-0,2 гс/мм²·с), что по биомеханическим характеристикам соответствует полостям в тканях (образец №3 на рис. 2). Возможно, что такая низкая биомеханическая компетентность второго слоя связана со сближенными просветами сосудов. В ряде случаев (образец №2 на рис. 2) толщина этой рыхлой структуры незначительна. Было отмечено, что при частичной дегидратации образца (например, в результате ошибки при подготовке образца к испытанию), эта биомеханически несостоятельная структура полностью спадается и перестает себя проявлять.

Третья структура (слой «M») имеет толщину 70-120 мкм, иногда проявляет двучленное строение (обра-

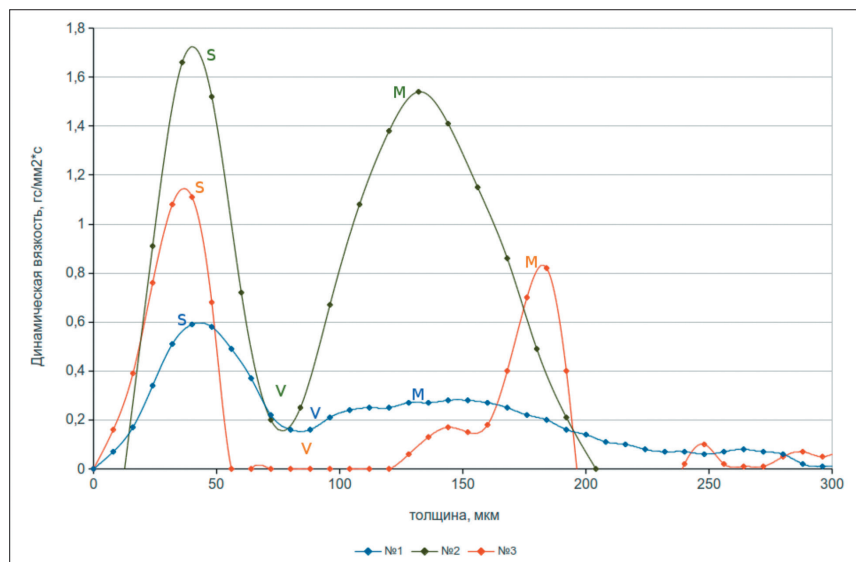


Рис. 2. Варианты изменчивости биомеханических свойств радужек по глубине. Результаты по-слойного измерения динамических вязко-пластических свойств тканей методом индентирования с постоянной скоростью

зец №3 на *рис. 2*). Динамические вязко-пластические характеристики слагающих ее тканей, как правило, немного ниже, чем у передней бессосудистой стромы радужки (0,4-1,8 гс/мм²·с). Однако интегральное сопротивление индентору (при его прохождении на полную толщину) может быть наибольшим среди всех рассматриваемых «слоев» (до $9,9 \cdot 10^{-2}$ Н), что, вероятно, опреде-

ляется длительным прохождением индентора через относительно толстую мышечную ткань (образец №2 на *рис. 2*).

ВЫВОДЫ

Впервые была изучена изменчивость по глубине биомеханических свойств периферической части ра-

дужки без строгой привязки к ее архитектонике. Выявлено три слоя, отличающихся по уровню биомеханической состоятельности. Доказано наличие относительно рыхлого слоя между передней бессосудистой стромой радужки, обладающей максимально выраженными вязко-пластическими свойствами, и структурным комплексом, включающим в себя мышцу и задний пигментный листок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Avetisov KS, Novikov IA, Sipliviy VI, Markosian AG. Test device for estimation of viscoelastic properties of biological tissues. *Vestn Oftalmol.* 2011 Mar-Apr;127(2):56-8.
2. Lowe RF. Aetiology of the anatomical basis for primary angle-closure glaucoma. Biometrical comparisons between normal eyes and eyes with primary angle-closure glaucoma. *Br J Ophthalmol.* 1970;54(3):161-169.
3. Freddo TF. Ultrastructure of the iris. *Microsc Res Tech.* 1996;33(5):369-389.
4. Gregersen E. The tissue spaces in the human iris and their communications with the anterior chamber by way of the iridic crypts. *Acta Ophthalmol (Copenh).* 1958;36(5):819-828.
5. Hongfang Y, Paula KY, Cringle SJ, Xinghuai S, Dao-Yi Y. Iridal vasculature and the vital roles of the iris. *Journal of Nature and Science.* 2015;1(8):e157.