

Швачкина М.Е., Правдин А.Б.

Влияние оптического просветления на оптические и механические свойства склеры

ФГБОУ ВПО СГУ им. Н.Г. Чернышевского, кафедра оптики и биофотоники

Ключевые слова: склера, оптическое просветление

Одним из основных заболеваний, приводящих к нарушению зрения, является близорукость, серьезной формой которой является прогрессирующая миопия, характеризующаяся растяжением и истончением склеры. Одним из развивающихся методов лечения прогрессирующей миопии является уплотнение склеры задней поверхности глазного яблока путем образования дополнительных ковалентных связей между молекулами коллагена (фотосшивки) внутри склеры под действием раствора рибофлавина и ультрафиолетового излучения [1-5]. Увеличить эффективность данного метода может применение метода оптического просветления, уменьшающего рассеяние излучения в ткани вследствие согласования показателей преломления дискретных рассеивателей и основного вещества ткани [6-9]. Можно ожидать, что применение просветляющих агентов перед УФ облучением склеры будет способствовать образованию УФ-индуцированных сшивок на всей глубине диффузии рибофлавина, что будет более эффективно укреплять склеру.

В данной работе было изучено влияние различных оптически просветляющих агентов на уменьшение рассеяния ультрафиолетового излучения в склере. Также было рассмотрено влияние самого оптического просветления на жесткость склеры.

Для определения действия просветляющих агентов на склеру в ультрафиолетовой области были рассмотрены кинетики коллимированного пропускания склеры кролика на длине волны 370 нм при воздействии на нее водным раствором глюкозы и глицерина различной концентрации.

Полученные зависимости коэффициента пропускания склеры кролика под действием чистого 100% глицерина (ЧДА ГОСТ 6259-75) и его растворов в дистиллированной воде концентрацией 75% и 50% по объему от времени представлены на рисунке 1.

Из полученных результатов видно, что применение 50% глицерина не привело к значительному увеличению пропускания склеры на длине волны 370 нм: в 50% растворе глицерина коллимированное пропускание увеличилось до 0,5%. Но увеличение концентрации просветляющего вещества приводит к увеличению эффективности просветления: воздействие 75% раствора увеличивает коллимированное пропускание склеры до 4,8%; применение чистого 100% глицерина – до 23,6%.

Эффективность оптического просветления раствором глюкозы оказалась сравнимой с эффективностью оптического просветления 50% раствором глицерина: в растворе глюкозы концентрацией 54% (по массе) коллимированное пропускание склеры увеличилось в течение 35 мин до 1,4%, в растворе глюкозы концентрацией 40% в течение 45 минут коллимированное пропускание увеличилось всего до 0,22%.

Таким образом, видно, что наибольшее влияние на изменение коллимированного пропускания на длине волны 370 нм по сравнению с другими рассмотренными просветляющими агентами оказывает чистый 100% глицерин.

Изменение механических свойств склеры при воздействии на нее оптически просветляющих агентов изучались с помощью динамического механического анализатора DMA Q800. В данном приборе к образцу склеры, расположенному вертикально между неподвижным и подвижным зажимами, прикладывали силу, увеличивающуюся с постоянной скоростью, и регистрировали изменение длины образца.

Так как из рассмотренных иммерсионных растворов 100% глицерин оказывает наибольшее просветляющее действие на склеру в ультрафиолетовой области, было изучено влияние только данного просветляющего агента на механические свойства склеры. Для этого сравнивались механические свойства образца размороженной склеры свиньи, хранившегося после препарирования в физиологическом растворе; образца, просветленного 100% глицерином в течение 1 часа, и этого же образца, подвергнутого после механических измерений регидратации в физиологическом растворе в течение суток. Из экспериментальных данных, для всех трех образцов, учитывая изменение поперечного сечения в предположении постоянного объема, были рассчитаны значения механического напряжения и относительного удлинения образцов и построены графики их зависимости (рис. 2).

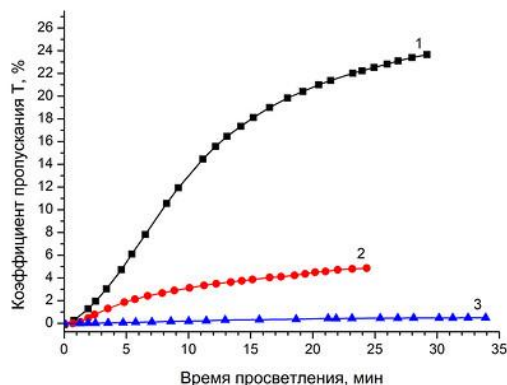


Рисунок 1. Кинетика изменения коэффициента пропускания на длине волны 370 нм образцов склеры кролика под действием глицерина концентрацией 1 – 100%, 2 – 75%, 3 – 50%

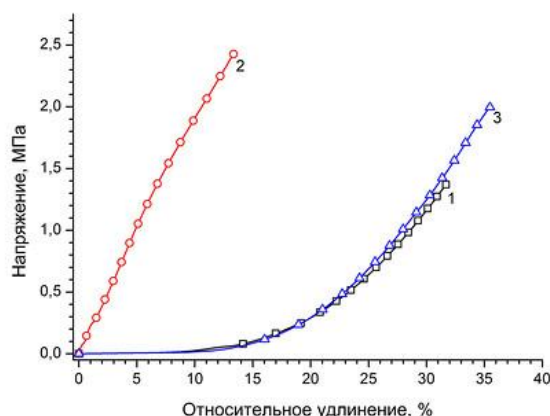


Рисунок 2. Связь механического напряжения с относительным удлинением для: 1 – образца свиной склеры в физиологическом растворе, 2 – образца свиной склеры, просветленного 100% глицерином, 3 – просветленного образца свиной склеры, регидрированного в физиологическом растворе

Из полученных результатов видно, что для образца склеры в нативном состоянии (кривая 1) при малой приложенной силе характерно значительное удлинение, что может быть обусловлено переориентацией коллагеновых волокон и постепенным выравниванием их волнистой структуры. По мере продольного растяжения наклон характеристической кривой увеличивается, что говорит об увеличении сопротивления ткани, что может быть объяснено осевым растяжением коллагеновых волокон.

Для образца склеры, просветленного в 100% глицерине, характерна практически линейная зависимость напряжения от относительного удлинения. По характеристической кривой (кривая 2) видно, что даже при малых деформациях просветленный образец оказывает большое сопротивление растяжению. Такое увеличение жесткости при просветлении склеры можно объяснить дегидратацией и замещением глицерином интерстициальной жидкости, что приводит к увеличению ее вязкости и затруднению переориентации коллагеновых волокон.

При регидротации в физиологическом растворе просветленного образца (кривая 3) происходит восстановление механических свойств склеры, что видно по хорошему совпадению характеристических кривых для нативного и регидрированного образцов. Таким образом, можно утверждать, что само по себе оптическое просветление глицерином, с последующей регидратацией, не приводит к изменению механических свойств склеры.

На основе полученных результатов можно утверждать, что применение в качестве просветляющего агента чистого глицерина позволяет значительно снизить рассеяние склеры в ультрафиолетовой области за время порядка 25 минут и тем самым увеличить глубину проникновения ультрафиолетового излучения в ткань склеры при формировании рибофлавин/УФ коллагеновых сшивок, однако, применение только одного оптического просветления (без рибофлавин/УФ воздействия) *in vivo*, сопровождающееся естественной регидратацией, будет приводить только к кратковременному укреплению склеры.

Литература

1. Wollensak, G. Collagen crosslinking of human and porcine sclera / G. Wollensak, E. Spoerl // *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. 2004. Vol. 30. № 3. P. 689-695.
2. Wollensak, G. Long-term biomechanical properties of rabbit sclera after collagen crosslinking using riboflavin and ultraviolet A (UVA) / G. Wollensak, E. Iomdina // *Acta ophthalmologica*. 2009. Vol. 87. № 2. P. 193-198.
3. Zhang, Y. Comparison of Riboflavin/Ultraviolet-A Cross-Linking in Porcine, Rabbit, and Human Sclera / Y. Zhang, Z. Li, L. Liu, X. Han, X. Zhao, G. Mu // *BioMed Research International*. 2014. Vol. 2014.
4. Wollensak, G. Cross-linking of scleral collagen in the rabbit using riboflavin and UVA / G. Wollensak, G. Cross-linking of scleral collagen in the rabbit using riboflavin and UVA / G. Wollensak, E. Iomdina, D. D. Dittert, O. Salamatina, G. Stoltenburg // *Acta Ophthalmologica Scandinavica*. 2005. Vol. 83. № 4. P. 477-482.
5. Пат. 2558997 Российская Федерация. Способ лечения прогрессирующей миопии с использованием перекрестного сшивания коллагена склеры / С.В. Харитонов, Г.М. Бикбова, А.Р.Халимов, М.М. Бикбов. Заявка № 2014111589/14 от 25.03.2014. Опубл. 10.08.2015. Бюл. № 22
6. Тучин, В. В. Оптика биологических тканей. Методы рассеяния света в медицинской диагностике / В.В. Тучин М.: Физматлит, 2012. 812 с.
7. Tuchin, V. V. Light propagation in tissues with controlled optical properties / V. V. Tuchin, I. L. Maksimova, D. A. Zimnyakov, I. L. Kon, A. H. Mavlyutov, A. A. Mishin // *Journal of biomedical optics*. 1997. Vol. 2, № 4. P. 401-417.
8. Bashkatov, A. N. Human sclera dynamic spectra: in-vitro and in-vivo measurements/ A. N. Bashkatov, V. V. Tuchin, E. A. Genina, Y. P. Sinichkin, N. A. Lakodina, V. I. Kochubey // *BiOS'99 International Biomedical Optics Symposium*. International Society for Optics and Photonics, Proceedings of SPIE Vol.3591, 1999. P. 311-319.
9. Генина, Э. А. Оптическое просветление склеры глаза *in vivo* под действием глюкозы / Э. А. Генина, А. Н. Башкатов, Ю. П. Синичкин, В. В. Тучин // *Квант. электр.* 2006. Vol. 36, № 12. P. 1119-1124.