

УДК 681.735.03

<https://doi.org/10.33791/2222-4408-2024-3-196-199>

Кислородопроницаемость и материалы для газопроницаемых контактных линз

М. Конвей*, М. Эдлстон

ООО «Контамак»,
Карлтон Хаус, Шайя Хилл, Сафрон Волдэн, Эссекс, CB11 3AU,
Великобритания

* Для контактов: Ирина Нортон, e-mail: irinan@contamac.co.uk



Мартин Конвей
Martin Conway



Марк Эдлстон
Mark Eddleston

Резюме

В статье рассмотрены вопросы важности кислородопроницаемости (Dk) в газопроницаемых материалах для контактных линз, а также важность высокого значения Dk для склеральных и ортокератологических линз.

Ключевые слова: газопроницаемые материалы, кислородопроницаемость, роговичные линзы, склеральные линзы, орто-к линзы

Конфликт интересов: авторы являются сотрудниками и консультантами по профессиональной поддержке компании ООО «Контамак».

Финансирование: статья опубликована при финансовой поддержке компании ООО «Контамак».

Для цитирования: Конвей М, Эдлстон М. Кислородопроницаемость и материалы для газопроницаемых контактных линз. The EYE GLAZ. 2024;26(3):196–199. doi: 10.33791/2222-4408-2024-3-196-199

Поступила: 15.07.2024

Принята после доработки: 26.07.2024

Принята к публикации: 29.07.2024

Опубликована: 20.09.2024

Перевод статьи: Екатерина Шибалко

Редактирование перевода: Ирина Нортон

Oxygen permeability and gas permeable contact lens materials

Martin Conway, Mark Eddleston

Contamac Ltd.,

Carlton House, Shire Hill, Saffron Walden, Essex CB11 3AU, United Kingdom

* For contacts: Irina Norton, e-mail: irinan@contamac.co.uk

Abstract

In this article, we will examine the importance of oxygen permeability (Dk) in gas permeable contact lens materials, and the significance of high Dk in scleral and ortho-k lens designs.

Keywords: gas permeable materials, oxygen permeability, corneal lenses, scleral lenses, ortho-k lenses

Conflict of interest: the authors are paid professional support consultants at Contamac Ltd.

Funding: this article was published with financial support from Contamac Ltd.

For citation: Conway M, Eddleston M. Oxygen permeability and gas permeable contact lens materials. The EYE GLAZ. 2024;26(3):196–199. doi: 10.33791/2222-4408-2024-3-196-199

Received: 15.07.2024

Accepted: 26.07.2024

Accepted for publishing: 29.07.2024

Published: 20.09.2024

Translation of the article: Ekaterina Shibalko

Translation editing: Irina Norton

Кислородопроницаемость (Dk) всегда являлась важной характеристикой материалов для контактных линз, и стремление увеличить ее значение как для жестких, так и для мягких контактных линз оставалось неизменным. Поиском величины содержания в материале кислорода, необходимого для предотвращения чрезмерного отека роговицы, занимались несколько исследовательских групп в этой области.

Так, Holden и Mertz установили критерий, согласно которому минимальное значение Dk/t контактных линз, необходимое для предотвращения чрезмерного отека роговицы в центральной зоне при их ежедневном дневном ношении, должно составлять 24×10^{-9} (см $\times$ мл O_2)/(сек $\times$ мл $\times$ мм рт. ст.) [1]. Harvitt и Bonanno определили, что для предотвращения гипоксии по всей толщине роговицы во время дневного ношения линз показатель Dk/t должен составлять не менее 35×10^{-9} (см $\times$ мл O_2)/(сек $\times$ мл $\times$ мм рт. ст.) [2], и предположили, что значение кислородопроницаемости в 125×10^{-9} позволит избежать гипоксии стромы при закрытых веках [3]. Holden и Mertz обнаружили, что для предупреждения отека роговицы, вызванного контактными линзами во время ночного ношения, необходимое значение кислородопроницаемости должно составлять $87 \pm 3,3 \times 10^{-9}$ [1]. Впоследствии было высказано предположение, что Holden и Mertz недооценили критическое значение кислородопроницаемости во время ночного ношения контактных линз [4].

В наши дни соблюдение требований к дневному ношению газопроницаемых линз (ГПЛ), для изготовления которых используются современные материалы с кислородопроницаемостью от 65 до 100 Dk, не является проблемой. ГПЛ с показателем кислородопроницаемости материала в 100 Dk и толщиной 0,15 мм в центре будут иметь значение Dk/t , равное 66 (рис. 1). Если к этому добавить эффект слезообмена и тот факт, что линза диаметром 9,6 мм покрывает в среднем всего 65% по-

верхности роговицы таким образом, что в течение всего времени ее ношения на периферии роговицы сохраняется доступ к атмосферному кислороду, то даже $Dk = 65$ будет вполне отвечать минимальным требованиям.

Взросшее в последние годы применение ортокератологии с целью коррекции миопии у детей и склеральных линз для коррекции сложных патологий роговицы поставило вопрос о том, соответствуют ли существующие материалы требованиям этих типов контактных линз. Как правило, ортолинзы имеют больший размер в сравнении с обычными ГПЛ, и это значит, что во время ношения линзы покрывают до 98% поверхности роговицы. Механизм слезной помпы находится в бездействии во время сна, а лимбальная зона закрыта веками, что создает большую проблему в обеспечении роговицы кислородом (рис. 2). В данном случае необходимо достичь минимального значения показателя Dk/t в 87, а не 35. Традиционный материал с показателем $Dk = 100$ не сможет этого обеспечить, поэтому нам необходимо найти материалы с большей кислородопроницаемостью.

Несмотря на то что склеральные линзы редко используются для ночного ношения, их применение приводит к аналогичным проблемам, когда речь идет об обеспечении роговицы кислородом в течение длительного дневного ношения.

Склеральные линзы как минимум в два раза толще роговичных, покрывают всю поверхность роговицы, и под ними отсутствует слезообмен. Использование материала с показателем $Dk = 100$ для линзы толщиной 0,30 мм обеспечит Dk/t , равный 33, что довольно близко к минимальному значению 35. Кроме того, толщина резервуара слезной жидкости под склеральной линзой создает дополнительный барьер, который необходимо учитывать (рис. 3).

Исследователи рассчитали, что минимальная кислородопроницаемость материала для скле-



Рис. 1. Фотобиомикроскопия посадки роговичной линзы
Fig. 1. Photobiomicroscopy of corneal lens fit

Ортокератологическая линза

Площадь роговицы 120 мм²

Покрытие ортокератологической линзы – 98%

Отсутствие слезообмена

Отсутствие атмосферной оксигенации при закрытых глазах

Ortho-k

Corneal area 120 mm²

98% Coverage with Ortho-k lens

No tear pump

Closed Eye – No Atmospheric Oxygen

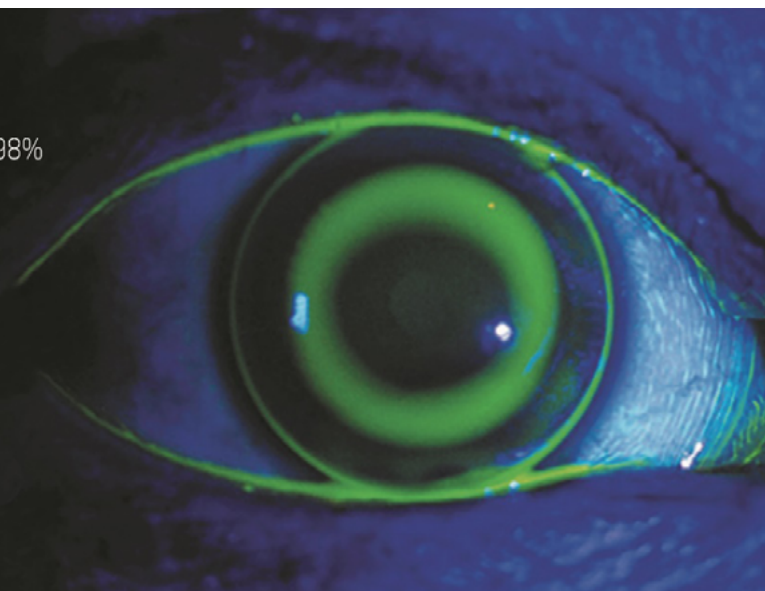


Рис. 2. Фотобиомикроскопия посадки ортокератологической линзы

Fig. 2. Photobiomicroscopy of orthokeratology lens fit

Склеральная линза

Полное покрытие роговицы

Вдвое толще, наполовину пропускает кислород*

Отсутствие слезообмена

Барьер для слезного резервуара

*Вдвое толще роговичной линзы

Scleral

Twice thickness = Half Transmission

Full Corneal Coverage

No Tear Exchange

Tear Reservoir Barrier

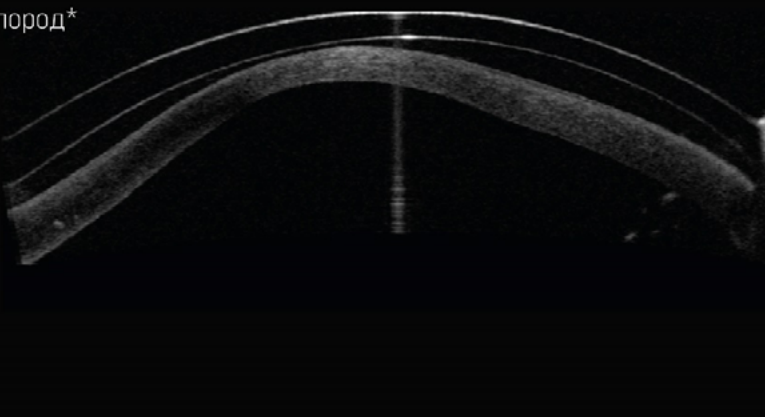


Рис. 3. ОСТ-изображение посадки склеральной линзы

Fig. 3. OCT-image of scleral lens fit

ральных линз должна составлять 125 Dk при условии, что толщина линзы составляет 0,20 мм, а толщина резервуара слезной жидкости 150 мкм [5]. Применяя уравнения, приведенные в другом исследовании, можно определить, что материал должен иметь кислородопроницаемость более 200 Dk, чтобы соответствовать минимальному значению $Dk/t = 35$ для данной комбинации толщины линзы и толщины резервуара слезной жидкости [6].

Использование материалов с недостаточной кислородопроницаемостью для ортокератологических или склеральных линз создает риск возникновения гипоксии. Кроме того, это может привести к отеку роговицы, эпителиальным микроцистам, полимегализму эндотелия и лимбальной гиперемии [7], а также повлиять на комфорт ношения линз и увеличить бактериальную адгезию к клеткам эпителия роговицы [7, 9–11].

Химия материалов

После выявления клинической потребности в материале с более высокой кислородопроницаемостью для таких типов контактных линз в сравнении с обычными ГПЛ перед учеными, занимающимися химией полимеров, встала задача разработать материалы, которые удовлетворят эту потребность без ущерба для других важных характеристик, таких как смачиваемость линз, их устойчивость к изгибанию и длительному ношению. Первоначально именно полиметилметакрилат (ПММА) стал первым материалом, который позволил жестким контактным линзам получить широкое распространение. Во многих отношениях этот материал идеально подходит для контактных линз, обеспечивая такие положительные характеристики, как твердость и устойчивость к царапинам, высокий модуль упру-

гости при изгибе и оптимальное сопротивление отложениям. Однако низкая кислородопроницаемость линз из ПММА оказалась серьезным недостатком ввиду возможных негативных последствий для здоровья глаз пользователей [12–14].

Кислородопроницаемость материалов для контактных линз была повышена благодаря добавлению силиконовых мономеров, таких как TRIS (3-метакрилоилоксипропил трис(триметилсилокси)силан). Молекулы силикона содержат цепочки атомов кремния, соединенных с атомами кислорода. Эти связи обладают высокой гибкостью, что создает свободное пространство для диффузии молекул газа. Несмотря на то что силиконы идеально подходят для повышения кислородопроницаемости материалов ГПЛ, они отрицательно влияют на многие другие характеристики, делая жесткие контактные линзы более мягкими, менее смачиваемыми, менее комфортными и менее устойчивыми к отложениям. Ключевым прорывом в разработке материалов стал тот факт,

Литература / References

1. Holden BA, Mertz GW. Critical oxygen levels to avoid corneal edema for daily and extended wear contact lenses. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1984;25(10):1161–1167
2. Harvitt DM, Bonanno JA. Re-evaluation of the oxygen diffusion model for predicting minimum contact lens Dk/t values needed to avoid corneal anoxia. *Optom Vis Sci.* 1999;76(10):712–719. doi: 10.1097/00006324-199910000-00023
3. Harvitt DM, Bonanno JA. A theoretical model of corneal oxygenation during contact lens wear. *Optometry and Vision Science.* 2002;79(2):85–96.
4. Brennan NA. Beyond flux: total corneal oxygen consumption as an index of corneal oxygenation during contact lens wear. *Optom Vis Sci.* 2005;82(6):467–472. doi: 10.1097/01.opx.0000168560.10861.ae
5. Compañ V, Oliveira C, Aguilera-Arzo M, et al. Oxygen diffusion and edema with modern scleral rigid gas permeable contact lenses. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2014;55(10):6421–6429. doi: 10.1167/iovs.14-14038
6. Michaud L, van der Worp E, Brazeau D, et al. Predicting estimates of oxygen transmissibility for scleral lenses. *Cont Lens Anterior Eye.* 2012;35(6):266–271. doi: 10.1016/j.clae.2012.07.004

Сведения об авторах

Мартин Конвей, консультант по профессиональным вопросам ООО «Контамак», член ассоциации британских медицинских оптиков (FBDO), член международной ассоциации преподавателей в области контактных линз (FIACLE), член британской ассоциации контактных линз (FBCLA).

Марк Эдлстон, доктор наук Кембриджского университета (Великобритания), ведущий специалист отдела исследований и разработок ООО «Контамак».

TECHNOLOGIES

что все эти проблемы можно, как правило, устранить, включив в состав полимеров ГПЛ фторсодержащие мономеры. Это привело к появлению фторсиликоновых материалов, которые сегодня составляют большую часть рынка.

Однако даже при добавлении фтора в материалы ГПЛ на основе TRIS существуют ограничения, и все доступные материалы этого типа имеют кислородопроницаемость ниже 150 Dk. Совсем недавно было обнаружено, что стирил-TRIS, силиконовый мономер, обладающий значительной жесткостью на молекулярном уровне, придает материалам ГПЛ преимущества, обеспечивая большую твердость и сопротивление изгибу. Применение стирил-TRIS позволило создать материалы с кислородопроницаемостью более 150 Dk, сохраняя при этом хорошие характеристики во всех отношениях. Этот значительный шаг вперед способствует защите здоровья глаз пользователей ортокератологических и склеральных линз.

7. Lira M, Pereira C, Real Oliveira ME, Castanheira EM. Importance of contact lens power and thickness in oxygen transmissibility. *Cont Lens Anterior Eye.* 2015;38(2):120–126. doi: 10.1016/j.clae.2014.12.002
8. Dhallu SK, Huarte ST, Bilkhu PS, et al. Effect of scleral lens oxygen permeability on corneal physiology. *Optom Vis Sci.* 2020;97(9):669–675. doi: 10.1097/OPX.0000000000001557
9. Imayasu M, Petroll WM, Jester JV, et al. The relation between contact lens oxygen transmissibility and binding of *Pseudomonas aeruginosa* to the cornea after overnight wear. *Ophthalmology.* 1994;101(2):371–388. doi: 10.1016/s0161-6420(94)31326-1
10. Ren DH, Yamamoto K, Ladage PM, et al. Adaptive effects of 30-night wear of hyper-O(2) transmissible contact lenses on bacterial binding and corneal epithelium: a 1-year clinical trial. *Ophthalmology.* 2002;109(1):27–39; discussion 39–40. doi: 10.1016/s0161-6420(01)00867-3
11. Ladage PM, Yamamoto K, Ren DH, et al. Effects of rigid and soft contact lens daily wear on corneal epithelium, tear lactate dehydrogenase, and bacterial binding to exfoliated epithelial cells. *Ophthalmology.* 2001;108(7):1279–1288. doi: 10.1016/s0161-6420(01)00639-x

Information about the authors

Martin Conway, Professional Services Manager of Contamac Ltd., Fellow of British Dispensing Opticians (FBDO), Fellow of International Association of Contact Lens Educators (FIACLE), Fellow of British Contact Lens Association (FBCLA).

Mark Eddleston, PhD from the University of Cambridge, Project Leader within the R&D Team at Contamac Ltd.