

## АСФЕРИЧНОСТЬ НОРМАЛЬНОЙ РОГОВИЦЫ ПРИ ТОПОГРАФИРОВАНИИ НА КОРНЕАЛЬНОЙ ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ORBSCAN II Z

Проанализировано 87 топографических измерений глаз 87 пациентов. На корнеальном топографе Orbscan IIz рассчитаны значения асферичности и эксцентриситета в центральной зоне роговицы диаметром 6,0 и 8,0 мм. В 6,0 мм зоне эксцентриситет роговицы в среднем составил  $0,25 \pm 0,19$  (асферичность –  $0,10 \pm 0,12$ ), в 8,0 мм зоне средние значения эксцентриситета –  $0,51 \pm 0,09$  (асферичности –  $0,27 \pm 0,10$ ). Наиболее однородные результаты достигнуты при диаметре измерения 8,0 мм. При моделировании формы роговицы возможно использование среднего значения эксцентриситета.

**Ключевые слова:** асферичность и эксцентриситет роговицы, имплантация, катаракта

До недавнего времени предполагалось, что роговица глаза сферичная. В 1961 году Mandell [1] продемонстрировал, что нормальная роговица человека имеет асферическую форму. С учетом новых знаний о форме роговицы в настоящее время разрабатываются дизайны контактных линз, планируются эксимерлазерная коррекция зрения и имплантация интраокулярных линз в катарактальной хирургии.

Ряд работ, использующих методы корнеального топографирования, были посвящены изучению формы роговицы и определению асферичности нормальной роговицы [2–5]. Известно, что роговица имеет минимальный радиус кривизны на вершине, которая расположена близко к геометрическому центру роговицы, в направлении к периферии радиус кривизны поверхности плавно увеличивается. Самая близкая геометрическая фигура, соответствующая сагиттальному сечению роговицы через центр, – это эллипс [10]. Точнее, вытянутый конец эллипса (форма prolate).

Математически эллипс описывается в системе координат следующим образом. Начало координат находится в центре эллипса (рис. 1), наибольшая ось лежит на оси  $x$ , наименьшая – на оси  $y$ . Эллипс определяется как траектория точки  $P(x, y)$ , которая движется так, что сумма расстояний от двух фиксированных точек остается постоянной. Эти две фиксированные точки, называемые фокусами, имеют координаты  $(-c, 0)$  и  $(c, 0)$ .

Эксцентриситет ( $e$ ) определяет степень удлиненности эллипса и может быть определен

как отношение расстояний  $c$  и  $a$ :  $e = c/a$ . Эксцентриситет эллипса имеет значение  $0 < e < 1,0$ , значение  $e = 0$  представляет сферу, значение  $e = 1,0$  – параболу [6].

Формула Baker является другим общепринятым математическим выражением для моделирования основных профилей роговицы [7–10] в двух измерениях (рис. 2):

$$y = \sqrt{2rx - px^2}.$$

Формула, при начале координат на вершине роговицы, может описывать целый ряд нормальных форм роговицы, изменяя всего два параметра: апикальный радиус ( $r$ ) и фактор формы ( $p$ ). Значение  $p$  связано с коническим эксцентриситетом ( $e$ ) формулой  $p = 1 - e^2$ . Выражение  $-e^2$  называется асферичностью и обозначается  $Q$ . Отрицательное значение  $Q$  характерно для нормальных форм роговицы (форма prolate), положительное значение свидетельствует об уплощенной роговице (форма oblate), нулевое значение – сфера.

Путем математических действий было получено уравнение [10]:

$$r_a^2 = r_0^2 + (1-p)y^2,$$

а при замене фактора формы на эксцентриситет – другое:

$$r_a^2 = r_0^2 + e^2y^2,$$

где  $r_a$  – радиус кривизны роговицы в точке на периферии,  $r_0$  – радиус кривизны роговицы на вершине,  $p$  – фактор формы,  $e$  – значение эксцентриситета в точке  $P$  на периферии,  $y$  – расстояние от оптической оси до точки  $P$ . Следовательно, эксцентриситет роговицы в точке  $P$  на периферии можно вычислить, преобразовав последнее уравнение:

$$e = \sqrt{\frac{r_a^2 - r_0^2}{y^2}}$$

Принято считать, что нормальная роговица в среднем имеет эксцентриситет 0,5 [11]. При определении асферичности роговицы топографическим методом разными авторами были получены неоднородные результаты: от -0,01 до -0,81 [12], от -0,04 до -0,72 [13], от -0,11 до -0,26 [14], -0,22 [4]. Вероятно, величина асферичности зависит от диаметра измеряемой поверхности. Так в зоне измерения диаметром 4,5 мм асферичность роговицы составила в среднем -0,03 [15], -0,08 [2], а в зоне 7,0 мм – уже -0,12 [16], -0,31 и -0,36 [5]. При измерении одних и тех же роговиц на различном удалении от оптического центра выявлено плавное нарастание асферичности: 1,5 мм – 0,10; 2,0 мм – 0,12; 2,5 мм – 0,15; 3,0 мм – 0,18; 3,5 мм – 0,20 [3].

**Цель работы**

Определить средние значения асферичности и эксцентриситета передней поверхности нормальной роговицы измерением на топографической системе Orbscan IIz. Определить возможности моделирования формы роговицы с использованием среднего значения эксцентриситета.

**Материал и методы**

Материалом послужили записи исследований в базе данных прибора Orbscan IIz (Bausch&Lomb), выбранные случайно среди пациентов, обратившихся в клинику для рефракционной операции. Всего было проанализировано 87 топографических измерений глаз 87 пациентов. В настоящий анализ не вошли случаи роговичного астигматизма выше 1,5 Д, случаи диагностированного кератоконуса или деформаций роговицы в результате ношения контактных линз, исследования с «немными» участками в пределах 9,0 мм зоны роговицы. Возраст пациентов в среднем составил 26 лет. Клиническая рефракция глаз не учитывалась.

Расчет асферичности и эксцентриситета производился ресурсами самой топографической системы в центральной зоне диаметром 6,0 и 8,0 мм. В соответствующей опции центром измерения была задана оптическая ось глаза, математический обсчет велся по всем периферическим точкам на одинаковом удалении от центра (3,0 или 4,0 мм).

**Топографическая система Orbscan IIz**

Данный видеокератотопограф является комбинированным, так как анализ поверхности в нем происходит как методом проецирования, так и методом отражения [17]. В отличие от большинства корнеальных топографов анализ поверхности здесь производится напрямую построением формы роговицы по серии снимков оптического среза всей поверхности при сканировании световой щелью длиной 12,5 мм и шириной 0,3 мм. Всего снимков производится 40 (20 при движении щели справа и 20 при движении слева). Угол наклона щелевого осветителя к оси прибора 45 градусов [18].

Далее по этим изображениям путем триангуляции строится трехмерная форма роговицы, компьютер создает карты элевации передней и задней поверхностей роговицы, а затем карты диоптрийной кривизны и другие. Кератометрический индекс – стандартный, 1,3375. При полностью открытом глазе точек измерения

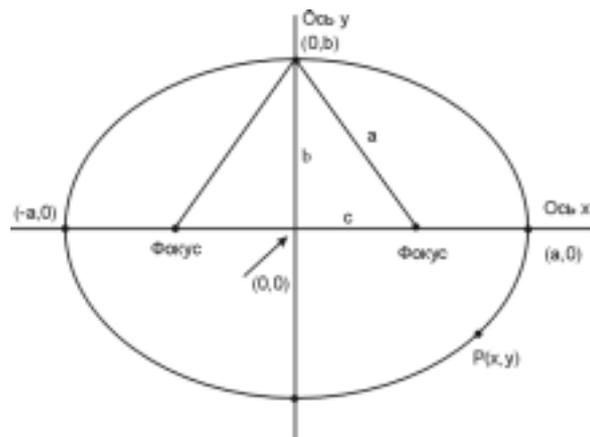


Рисунок 1. Основа геометрии эллипса. Сумма расстояний от каждого фокуса до любой точки эллипса есть величина постоянная и равна 2a. Параметр, описывающий вытянутость эллипса, эксцентриситет (e), определяется как:  $e = c/a$ ;  $e = 0$  в окружности;  $e = 1$  для параболы

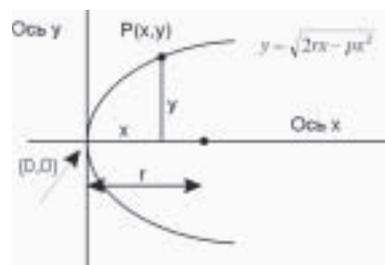


Рисунок 2. Координатная система и переменные, используемые формулой Вакера для трассировки эллипса. Переменная r представляет апикальный радиус кривизны

около 9000 (40 оптических срезов по 240 точек в каждом). По какому алгоритму в Orbscan II производится расчет эксцентриситета (и асферичности) роговицы, публикаций не найдено.

#### Результаты и обсуждение

Полученные значения асферичности передней поверхности роговицы на расстоянии от оптической оси глаза 3,0 и 4,0 мм значительно различаются. Так для диаметра измерения роговицы 6,0 мм эксцентриситет роговицы составил ( $M \pm m$ )  $0,25 \pm 0,19$  ( $Q = -0,10 \pm 0,12$ ), а для зоны роговицы диаметром 8,0 мм эксцентриситет был получен  $0,51 \pm 0,09$  ( $Q = -0,27 \pm 0,10$ ).

Достоверность полученных результатов высокая,  $p$  значительно меньше 0,001. Учитывая нелинейность формулы, связывающей эксцентриситет и асферичность ( $Q = -e^2$ ), средние значения  $Q$  некорректно рассчитывать по средним значениям  $e$ . Это справедливо и для полученных результатов:  $-0,25^2 = -0,0625$  и  $-0,51^2 = -0,2601$ , что несколько отличается от  $-0,10$  и  $-0,27$  соответственно.

При моделировании формы роговицы по формуле  $r_a^2 = r_0^2 + e^2 y^2$  возможно рассчитать радиус кривизны периферических точек роговицы, используя апикальный радиус (данные керато-

метрии или корнеальной топографии), известный эксцентриситет (0,5) и расстояние от оптической оси до этих точек. Следовательно, теоретически можно применить эту формулу и для обратного расчета: нахождения апикального радиуса по периферическому радиусу кривизны роговицы, среднему эксцентриситету нормальной роговицы (0,5) и расстоянию от периферической точки до оптической оси, проходящей через вершину. Такая задача может возникнуть при недоступности значений исходной кривизны роговицы, например после рефракционных операций или при центральной лейкоме, для расчета силы интраокулярной линзы.

#### Выводы

Топографическим методом определены асферичность и эксцентриситет нормальной роговицы в зоне диаметром 6,0 и 8,0 мм. Наиболее близкое к общепринятой величине 0,5 [11] измеренное среднее значение эксцентриситета нормальной роговицы получено в зоне диаметром 8,0 мм. Здесь же достигнут и наименьший разброс значений. Таким образом, при моделировании формы роговицы возможно использование среднего значения эксцентриситета передней корнеальной поверхности.

#### Список использованной литературы:

1. Балашевич Л.И. Клиническая керато топография и aberromетрия / Л.И. Балашевич, А.Б. Качанов. – М., 2008. – 167 с.
2. Benjamin W. Radii of Curvature and Sagittal Depths of Conic Sections / W. Benjamin, W. Rosenblum // *Int Cont Lens Clin.* – 1992. – V. 19. – P. 76–83.
3. Bennett A. *Clinical Visual Optics* / A. Bennett, R. Rabbetts. – London: Butterworths, 1989.
4. Budak K. Evaluation of relationships among refractive and topographic parameters / K. Budak, K.T. Khater, N. Friedman, et al. // *J Cataract Refract Surg.* – 1999. – V. 25. – P. 814–820.
5. Burek H. Mathematical models of the general corneal surface / H. Burek, W.A. Douthwaite // *Ophthal. Physiol. Opt.* – 1993. – V. 13. – P. 68–72.
6. Cairns G. Orbscan computerized topography: attributes, applications, and limitations / G. Cairns, C.N. McGhee // *J Cataract Refract Surg.* – 2005. – V. 31. – P. 205–208.
7. Douthwaite W.A. Cornea measurement comparison with Orbscan II and EyeSys videokeratoscope / W.A. Douthwaite, E.A. Mallen // *Optom Vis Sci.* – 2007. – V. 84. – P. 598–604.
8. Eghbali F. Topographic determination of corneal asphericity and its lack of effect on the refractive outcome of radial keratotomies / F. Eghbali, K.K. Yeung, R.K. Maloney // *Am J Ophthalmol.* – 1995. – V. 119. – P. 275–280.
9. Gonzalez-Mejome J.M. Asphericity of the anterior human cornea with different corneal diameters / J.M. Gonzalez-Mejome, C. Villa-Collar, R. Montes-Mico, A. Gomes // *J Cataract Refract Surg.* – 2007. – V. 33. – P. 465–473.
10. Holmes-Higgin D.K. Characterization of the aspheric corneal surface with intrastromal corneal ring segments / D.K. Holmes-Higgin, P.C. Baker, T.E. Burris, T.A. Silvestrini // *J Refract Surg.* – 1999. – V. 15. – P. 520–528.
11. Horner D.G. Longitudinal changes in corneal asphericity in myopia / D.G. Horner, P.S. Soni, N. Vyas, N.L. Himebaugh // *Optom Vis Sci.* – 2000. – V. 77. – P. 198–203.
12. Lam A. Derivation of corneal flattening factor,  $p$ -value / A. Lam, W. Douthwaite // *Ophthal Physiol Opt.* – 1994. V. 14. – P. 423–427.
13. Mandell R.B. Methods to measure the peripheral corneal curvature. Part 1: photokeratoscopy / R.B. Mandell // *J Am Optom Assoc.* – 1961. – V. 33. P. 137–139.
14. Mandell R.B. Mathematical model of the corneal contour / R.B. Mandell, St Helen R. // *Br J Physiol Opt.* – 1971. – V. 26. – P. 183–197.
15. Preussner P.R. Topography-based intraocular lens power selection / P.R. Preussner, J. Wahl, D. Weitzel // *J Cataract Refract Surg.* – 2005. – V. 31. №3. – P. 525–533.
16. Salmon T. Comparison of Elevation, Curvature and Power Descriptors for Corneal Topographic Mapping / T. Salmon, D. Horner // *Optom Vis Sci.* – 1995. – V. 72. – P. 800–808.
17. Scholz K. Topography-based assessment of anterior corneal curvature and asphericity as a function of age, sex, and refractive status / K. Scholz, A. Messner, T. Eppig, et al. // *J Cataract Refract Surg.* – 2009. – V. 35. – P. 1046–1054.
18. Van der Heijde G.L. The shape of the back surface of the cornea / G.L. Van der Heijde, M. Dubbelman, H.A. Weeber // *S Afr Optom.* – 2003. – V. 62. №3. – P. 132–134.