

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ТОРИЧЕСКИХ ИНТРАОКУЛЯРНЫХ ЛИНЗ НА ВОЛНОВОЙ ФРОНТ ГЛАЗА В КЛИНИЧЕСКИХ ПРИМЕРАХ

Талалаев М.А.¹, Егорова Е.В.¹

¹ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» имени академика С.Н. Фёдорова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Новосибирск, e-mail: nauka@mntk.nsk.ru

Такие изменения положения торических интраокулярных линз, как ротация, децентрация и наклон, могут привести к ухудшению качества зрения после операции по удалению катаракты. Неправильное положение линзы искажает прохождение светового пучка через оптические среды глаза, приводя к увеличению уровня aberrаций высшего порядка, и может вызывать блики, астигматизм, ореолы вокруг источника света и монокулярную диплопию. Целью работы была оценка влияния наклона, децентрации и ротации торических интраокулярных линз на волновой фронт глаза. Под наблюдением находились 3 пациента с неправильным положением торических интраокулярных линз. Пациенты наблюдались на базе Новосибирского филиала ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» имени академика С.Н. Фёдорова» Минздрава России. Всем пациентам проводилось стандартное офтальмологическое обследование. В данных клинических примерах продемонстрированы нарушения положения торических интраокулярных линз, которые привели к различным изменениям aberrационной картины волнового фронта: ротация и децентрация торических интраокулярных линз индуцировали кому, наклон торических интраокулярных линз индуцировал трейfoil. Оценку зрительных функций необходимо проводить с учетом оценки положения торических интраокулярных линз и показателей aberрометрии.

Ключевые слова: наклон, децентрация, ротация, aberrации, торические интраокулярные линзы, полиномы Цернике, волновой фронт.

EVALUATION OF THE INFLUENCE OF TORIC INTRAOCULAR LENSES POSITION ON THE WAVEFRONT OF THE EYE IN CLINICAL EXAMPLES

Talalaev M.A.¹, Egorova E.V.¹

¹The S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Novosibirsk Branch, Novosibirsk, e-mail: nauka@mntk.nsk.ru

Such changes in the position of toric intraocular lenses, such as rotation, decentration, and tilt, can lead to deterioration in the quality of vision after cataract surgery. Incorrect lens position distorts the passage of the light beam through the optical media of the eye, leading to an increase in the level of higher-order aberrations and can cause glare, astigmatism, halos around the light source, and monocular diplopia. The aim of our work was to evaluate the effect of tilt, decentration, and rotation of toric intraocular lenses on the wave front of the eye. We observed 3 patients with incorrect toric intraocular lenses position. The patients were observed at the Novosibirsk branch of the Federal State Autonomous Institution «National Medical Research Center «MNTK «Microsurgery of the Eye» named after Academician S.N. Fedorov» of the Ministry of Health of the Russian Federation. All patients underwent a standard ophthalmological examination. These clinical examples demonstrate toric intraocular lenses position disturbances that lead to various changes in the wavefront aberration pattern: toric intraocular lenses rotation and decentration induced coma, toric intraocular lenses tilt induced trefoil. Visual function assessment should be performed taking into account toric intraocular lenses position assessment and aberrometry parameters.

Keywords: tilt, decentration, rotation, aberrations, toric intraocular lenses, Zernike polynomials, wavefront.

Введение

Такие изменения положения торических интраокулярных линз (ТИОЛ), как ротация, децентрация и наклон, могут привести к ухудшению качества зрения после операции по удалению катаракты. Неправильное положение линзы искажает прохождение светового пучка через оптические среды глаза, приводя к увеличению уровня aberrаций высшего

порядка, и может вызывать блики, астигматизм, ореолы вокруг источника света и монокулярную диплопию [1, 2]. Клинические исследования показывают, что зрительный орган человека очень чувствителен к наклону и децентрации ИОЛ. При децентрации ИОЛ на 0,5 мм и более возникают значительные aberrации, приводящие к ухудшению зрительных функций [1, 3]. По статистике, у 10% пациентов после операции по удалению катаракты наблюдаются наклон и смещение ИОЛ более чем на 5° и 0,5 мм соответственно [3]. Это означает, что данная проблема распространена и требует дальнейшего тщательного изучения.

Человеческий глаз, как и любой оптический прибор, подвержен aberrациям, которые в различной степени снижают качество зрения. С точки зрения оптики, глаз является компонентной системой, состоящей из двух основных оптических элементов: роговицы и хрусталика. Для достижения высокого качества оптической системы необходим баланс aberrаций между ее элементами, где компоненты системы глаза ведут себя как самокомпенсирующаяся конструкция. Так, например, у большинства молодых людей в норме как роговичные, так и внутренние сферические aberrации схожи по величине, но противоположны по знаку [3, 4].

Однако у пожилых людей с изменением формы и размера хрусталика отмечается противоположная ситуация: хрусталик добавляет aberrации к роговице, что в целом не только исключает компенсацию роговичных aberrаций, но и приводит к снижению оптических качеств всей системы [5].

После хирургической замены хрусталика вторым компонентом оптической системы глаза становится интраокулярная линза, положение и конструкция которой могут в разной степени влиять на общий волновой фронт глаза. В случаях имплантации торической ИОЛ роль ее как компонента оптической системы еще больше возрастает, так как, с одной стороны, эта линза компенсирует астигматизм роговицы, а, с другой стороны, любое отклонение в ее положении (децентрация, ротация, наклон) индуцирует более значимые по сравнению со стандартной монофокальной ИОЛ aberrации оптической системы в целом [3].

Имплантация торических ИОЛ является популярным и эффективным методом коррекции астигматизма при хирургическом лечении катаракты. Однако ряд неблагоприятных факторов, влияющих на положение ТИОЛ, могут привести к неудовлетворенности пациентов качеством зрения в послеоперационном периоде вследствие изменения aberrационной картины волнового фронта. Так, смешанная фиксация ТИОЛ, разрыв края капсулорексиса существенно повышают вероятность наклона, децентрации и ротации линзы [6]; большая аксиальная длина глаза, большая

толщина хрусталика, большой капсулорексис, сильно деформированный капсулорексис увеличивают риски децентрации ИОЛ [7]; авитрия, короткая длина глаза способствуют наклону ИОЛ [8]. Также степень наклона хрусталика перед операцией сильно коррелирует с послеоперационным наклоном ИОЛ [9], а несостоятельность связочно-капсульного аппарата хрусталика может привести к наклону, децентрации и ротации линзы [10, 11].

Целью работы была оценка влияния наклона, децентрации и ротации торических ИОЛ на волновой фронт глаза.

Материалы и методы исследования

Под наблюдением находились 3 пациента с неправильным положением ТИОЛ. Всем пациентам проводили стандартное офтальмологическое обследование, включающее визометрию, авторефрактометрию (Торсон KR-1, Япония), периметрию («Перитест-300», Россия), бесконтактную тонометрию (Торсон СТ-800, Япония), биомикроскопию (Carl Zeiss SL 155 Classic, Германия), ультразвуковое В-сканирование (Ellex Eye Cubed, Австралия), оптическую когерентную томографию (Optovue Solix, США), aberromетрию (Oculus Pentacam Axl Wave, США).

Наклон ТИОЛ оценивали на оптической когерентной томографии относительно плоскости, образованной задним пограничным кольцом Швальбе. Заднее пограничное кольцо Швальбе (или склеральная шпора) является стабильным анатомическим ориентиром, позволяющим оценить положение ИОЛ более точно в сравнении с плоскостью радужки [9].

Фактическую ось цилиндра ТИОЛ и децентрацию линзы относительно верхушки роговицы оценивали на изображениях Pentacam Axl Wave, полученных при помощи функции ретроиллюминации.

Аберрометрический анализ проводили с использованием полиномов Цернике. Для выявления внутренних аберраций учитывали разницу показателей между общей аберрометрией и аберрометрией роговицы. Оценивали данные аберрометрии при диаметре зрачка 4,0 мм и 6,0 мм, что соответствовало фотопическим и мезопическим условиям освещенности.

Результаты исследования и их обсуждение

Клинический пример 1

Пациент К., 58 лет, после оперативного лечения катаракты с имплантацией ИОЛ enVista Toric на первые сутки имел остроту зрения 0,3 sph +1,0 cyl -2,5 ax 120° = 0,9. При осмотре выявлена ротация ТИОЛ. Причиной послужил деформированный, эксцентричный первичный задний капсулорексис (рис. 1А). Расчетное положение оси цилиндра ИОЛ 151°. Фактически ось цилиндра ТИОЛ находится на 160°, то есть линза ротировалась на 9° от

целевого значения (рис. 1В). При aberрометрическом анализе обращал на себя внимание показатель комы тотальной aberрометрии $0,163\text{ }\mu\text{m}$ при диаметре зрачка $4,0\text{ мм}$ и $0,531\text{ }\mu\text{m}$ при диаметре зрачка $6,0\text{ мм}$ (табл. 1). Остальные aberрации высшего порядка (сферические, трефойл и др.) были в пределах допустимых значений. Децентрация ИОЛ относительно верхушки роговицы составила $0,11\text{ мм}$. По данным ОКТ наклон линзы относительно плоскости склеральной шпоры составил $1,1^\circ$.

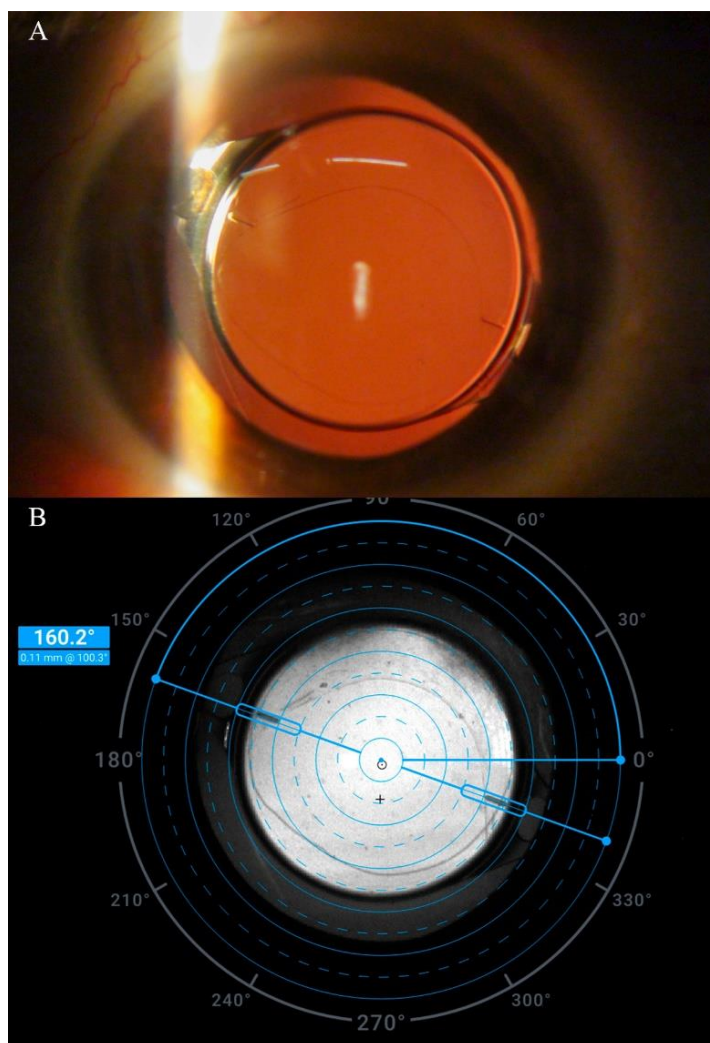


Рис. 1. А – Фотография переднего отрезка глаза, на которой визуализируется деформированный, эксцентричный задний капсулорексис;

В – Ретроиллюминация отображает положение оси торической ИОЛ и децентрацию относительно верхушки роговицы

Далее выполнена репозиция ТИОЛ, линза была ротирована и расположена строго в соответствии с расчетной осью 151° (рис. 2). Децентрация и наклон не изменили своих значений. Кома тотальной aberрометрии составила $0,039\text{ }\mu\text{m}$ при диаметре зрачка $4,0\text{ мм}$ и $0,078\text{ }\mu\text{m}$ при диаметре зрачка $6,0\text{ мм}$ (табл. 1). Острота зрения после выполненной операции составила 1,0 без коррекции.

Далее выполнена репозиция ТИОЛ, линза была ротирована и расположена строго в соответствии с расчетной осью 151° (рис. 2). Децентрация и наклон не изменили своих значений. Кома тотальной aberрометрии составила 0,039 μm при диаметре зрачка 4,0 мм и 0,078 μm при диаметре зрачка 6,0 мм (табл. 1). Острота зрения после выполненной операции составила 1,0 без коррекции.

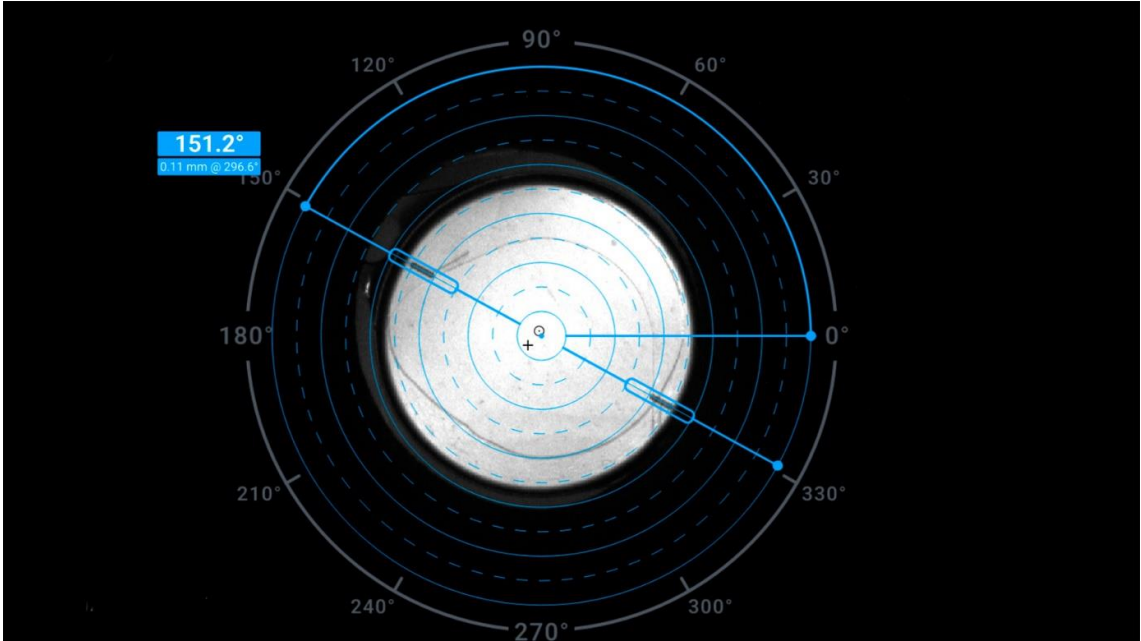


Рис. 2. Ретроиллюминация после репозиции ТИОЛ, линза располагается строго по расчетной оси 151°

Таблица 1

Показатели комы тотальной и роговичной aberрометрии до и после репозиции ТИОЛ

Кома	Исходные данные aberрометрии, μm		Данные aberрометрии после репозиции ТИОЛ, μm	
	Зона 4,0 мм/	Зона 6,0 мм/	Зона 4,0 мм/	Зона 6,0 мм/
Тотальная	0,163	0,531	0,039	0,078
Роговичная	0,044	0,101	0,027	0,084

Клинический пример 2

Пациент П., 46 лет, обратился в клинику после тупой травмы артифакичного глаза в 2024 г. Острота зрения 0,2 sph. +0,5 cyl. -3,0 ax 66° = 0,55. Из анамнеза: факоэмульсификация катаракты + ИОЛ Tecnis Toric правого глаза в 2022 г., острота зрения после операции составила 0,75 cyl. -0,75 ax 175° = 0,95. Децентрация и ротация ИОЛ Tecnis Toric произошли после контузии глаза с частичным зонулодиализом. Расчетное положение оси цилиндра ТИОЛ 9°, фактическая ось цилиндра составляет 66°, децентрация линзы относительно верхушки роговицы 1,05 мм (рис. 3), угол наклона относительно плоскости

склеральной шпоры 1,19°. При aberрометрическом анализе доминирующим отклонением была кома totalной aberрометрии 0,228 μm при диаметре зрачка 4,0 мм и 0,640 μm при диаметре зрачка 6,0 мм. Также следует отметить, что трейлол totalной aberрометрии составлял 0,078 μm (табл. 2).

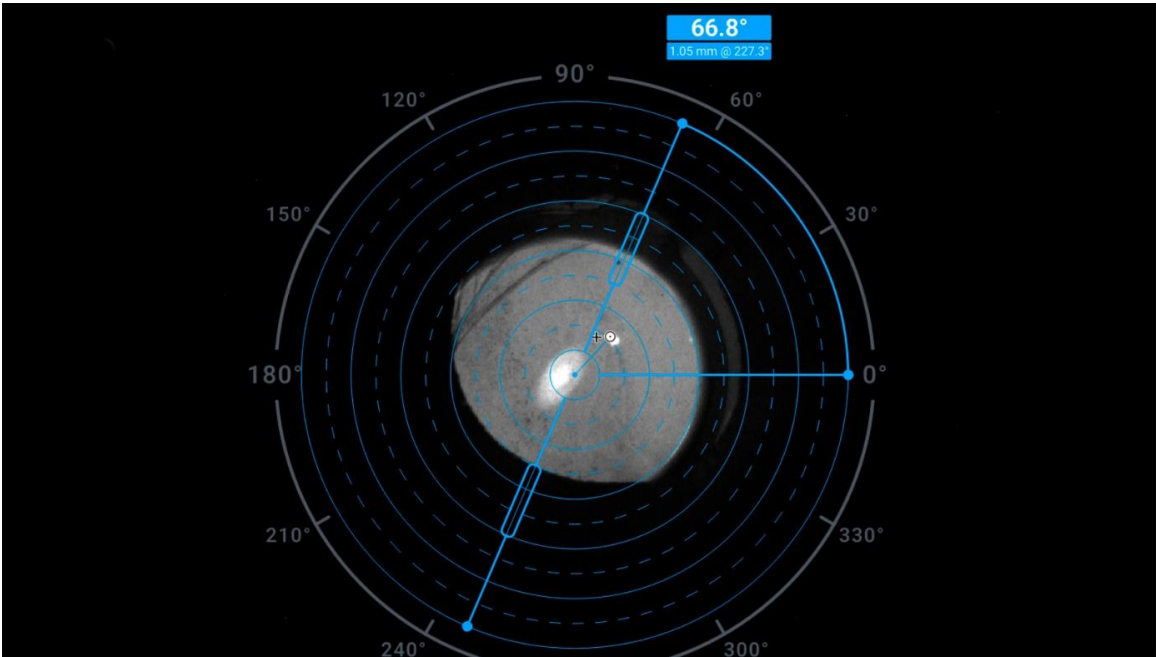


Рис. 3. Ретроиллюминация отображает положение оси торической ИОЛ и децентрацию относительно верхушки роговицы

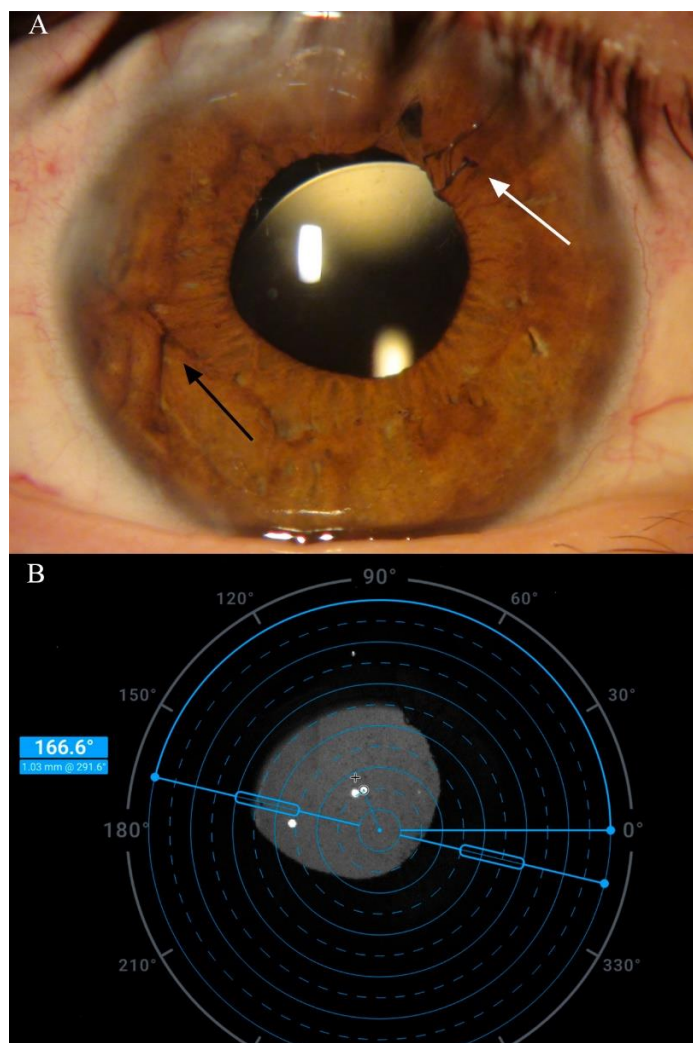
Далее были проведены попытка репозиции и шовная фиксация к радужке комплекса «ТИОЛ – капсульный мешок». На послеоперационном осмотре в первые сутки было выявлено, что шов, фиксирующий верхний гаптический элемент линзы, несостоятельный, узел шва развязался (рис. 4А), а сама линза наклонена на 3,84°, по данным ОКТ. Ось цилиндра ТИОЛ располагается на 166°, линза децентрирована относительно верхушки роговицы на 1,03 мм (рис. 4В). Кома totalной aberрометрии 0,211 μm при диаметре зрачка 4,0 мм и 0,454 μm при диаметре зрачка 6,0 мм. Обращает на себя внимание трейлол totalной aberрометрии в 4,0 мм зоне, который имеет значение 0,207 μm (табл. 2). Острота зрения 0,5 sph. +0,25 cyl. -2.25 ax 135° = 0,7. Пациент планируется на повторную репозицию ТИОЛ.

Таблица 2

Показатели комы и трейлола totalной aberрометрии до и после репозиции ТИОЛ

Аберрация	Исходные данные aberрометрии, μm		Данные aberрометрии после репозиции ТИОЛ, μm	
	Зона 4,0 мм/	Зона 6,0 мм/	Зона 4,0 мм	Зона 6,0 мм/

Кома	0,228	0,640	0,211	0,454
Трефойл	0,078	0,155	0,207	0,493



*Рис. 4. А – Фотография переднего отрезка глаза. Черной стрелкой указана шовная фиксация линзы к радужке, белой стрелкой указан несостоятельный шов;
В – Ретроиллюминация отображает положение оси торической ИОЛ и децентрацию относительно верхушки роговицы*

Клинический пример 3

Пациенту Г., 87 лет, было проведено оперативное лечение катаракты с имплантацией AcrySof IQ Toric в 2022 г. Острота зрения после операции составила 0,3 sph. +1,50 cyl. -0,75 ax 5° = 0,5. Децентрация и ротация AcrySof IQ Toric выявлены в отдаленном послеоперационном периоде в 2024 г. вследствие несостоятельности связочно-капсульного аппарата хрусталика (СКАХ) на фоне псевдоэксфолиативного синдрома (ПЭС) (рис. 5А). Острота зрения пациента 0,55 sph. -0,25 cyl. +2,0 ax 128° = 0,7. Расчетное значение положения оси ТИОЛ составляет 172°, фактически ось цилиндра расположена на 11°, линза децентрирована на 0,64 мм (рис. 5В) и наклонена на 1,24°. Кома тотальной абберрометрии в

4,0 мм зоне 0,151 μm при наличии комы роговицы в аналогичной зоне 0,303 μm . Кома тотальной aberрометрии 0,334 μm при диаметре зрачка 6,0 мм (табл. 3). Обращают на себя внимание высокие показатели хорды μ и хорды α 0,62 мм и 0,58 мм соответственно.

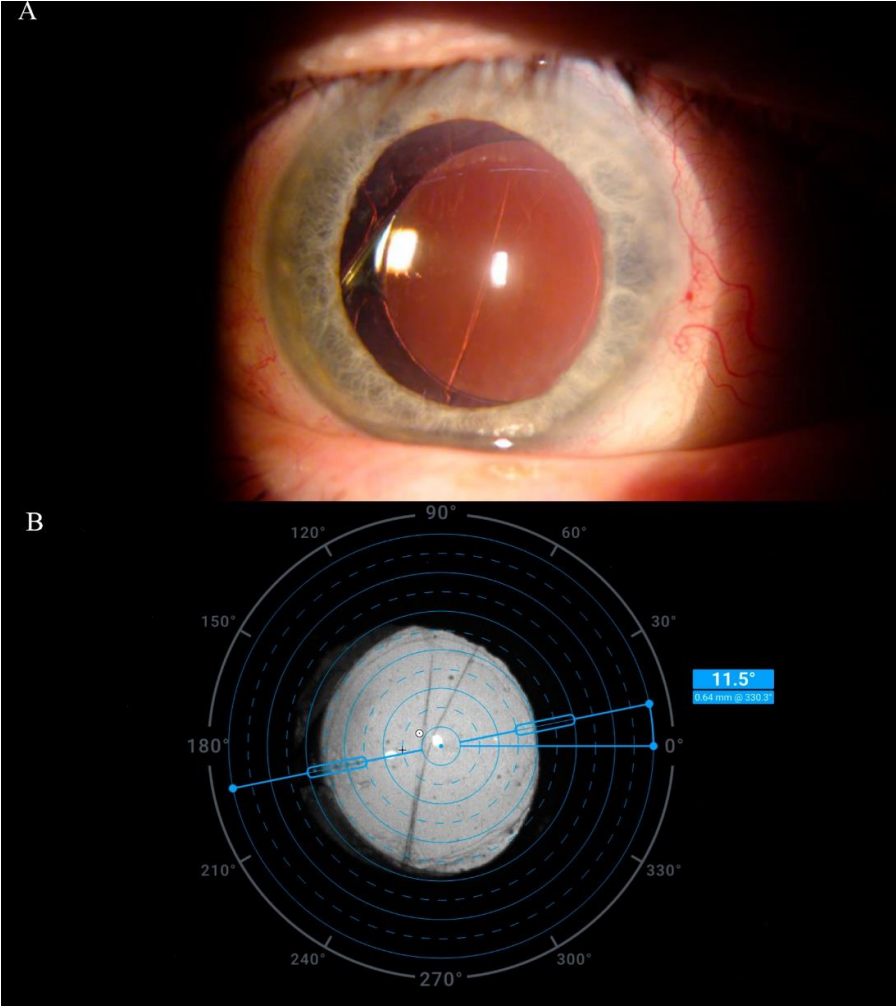


Рис. 5. А – Фотография переднего отрезка глаза. Дислокация комплекса «ТИОЛ – капсульный мешок»; В – Ретроиллюминация отображает положение оси торической ИОЛ и децентрацию относительно вершины роговицы

С учетом отсутствия жалоб, возраста пациента 87 лет, соматического состояния, наличия единственного глаза, остроты зрения 0,55 sph. -0,25 cyl. +2,0 ax 128° = 0,7 и относительной стабильности комплекса «капсульный мешок – ИОЛ» было принято решение оставить пациента под наблюдением без хирургического вмешательства.

Таблица 3

Показатели комы тотальной и роговичной aberрометрии

Кома	Исходные данные aberрометрии,	
	μm	
	Зона 4,0 мм/	Зона 6,0 мм/

Общая	0,151	0,334
Роговичная	0,303	0,381

В клиническом примере 1 у пациента с ротацией ТИОЛ кома роговицы в 4,0 мм зоне составляет 0,044 μm – это означает, что показатель комы тотальной aberрометрии 0,163 μm увеличен за счет внутренней комы. Даже такая незначительная ротация на 9° увеличила показатели комы. Хотя эти показатели и клинически не значимые, но при зрачке 6,0 мм они увеличиваются до 0,531 μm . Это означает, что в мезопических условиях кома будет оказывать существенное влияние на зрительные функции. После позиционирования ТИОЛ в соответствии с расчетной осью показатели комы уменьшились до 0,039 μm при диаметре зрачка 4,0 мм (табл. 1).

В клиническом примере 2 у пациента с дислокацией ТИОЛ после контузии артифакичного глаза была проведена неудачная попытка репозиции линзы, которая по-прежнему осталась в неправильном положении, что сохранило кому общей aberрометрии. Также добавился наклон ТИОЛ, который увеличил показатели трейфола (табл. 2).

В клиническом примере 3 пациент, помимо децентрации и ротации на фоне ПЭС, имел высокие показатели хорды μ и хорды α , что указывает на эксцентричность роговицы относительно зрительной оси, что может быть источником комы в ее волновом фронте [12, 13]. Известно, что при данных высоких показателях чаще встречается клинически значимая кома роговицы [4], которая имеется у пациента. В этих случаях очень важен aberрометрический анализ всех компонентов оптической системы, так как возможна ситуация, когда величина aberраций как роговицы, так и ИОЛ больше, чем при тотальной aberрометрии, что указывает на значительную роль ИОЛ в компенсации aberраций роговицы [14, 15]. Неправильное положение ТИОЛ у данного пациента изменило внутреннюю кому, что частично компенсировало кому роговицы и привело к более низким показателям комы тотальной aberрометрии (табл. 3).

Заключение

В данных клинических примерах продемонстрированы нарушения положения торических ИОЛ, которые привели к различным изменениям aberрационной картины волнового фронта: ротация и децентрация ТИОЛ индуцировали кому, наклон ТИОЛ индуцировал трейфол, что повлияло на качество зрения пациентов. Поэтому оценку зрительных функций необходимо проводить с учетом оценки положения ТИОЛ и показателей aberрометрии.

Авторы статьи сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Aizawa N., Kunikata H., Maeda N., Nakazawa T. Analysis of higher-order aberrations in eyes having undergone intraocular lens suturing // Clin Exp Ophthalmol 2015. Vol. 43. Is. 1. P. 92–94. DOI: 10.1111/ceo.12366.
2. Ashena Z., Maqsood S., Ahmed S.N., Nanavaty M.A. Effect of Intraocular Lens Tilt and Decentration on Visual Acuity, Dysphotopsia and Wavefront Aberrations // Vision (Basel). 2020. Vol. 4. Is. 3. P. 41. DOI: 10.3390/vision4030041.
3. Artal P., Guirao A. Contributions of the cornea and the lens to the aberrations of the human eye // Opt. Lett. 1998. Vol. 23. Is. 21. P. 1713–1715. DOI: 10.1364/OL.23.001713.
4. Fan L., Wu J., Shen Y., Qu J., Wang Q., Xu C., Chen S., Zhou X., He J.C. On the compensation of horizontal coma aberrations in young human eyes // Ophthalmic Physiol Opt. 2008. Vol. 28. Is. 3. P. 277–82. DOI: 10.1111/j.1475-1313.2008.00565.x.
5. Artal P., Benito A., Tabernero J. The human eye is an example of robust optical design // J. Vis. 2006. Vol. 6. Is. 1. P. 1–7. DOI: 10.1167/6.1.1.
6. Ale J.B. Intraocular lens tilt and decentration: a concern for contemporary IOL designs // Nepal J. Ophthalmol. 2011. Vol. 3. Is. 1. P. 68–77. DOI: 10.3126/nepjoph.v3i1.4281.
7. Findl O., Hirschsall N., Draschl P., Wiesinger J. Effect of manual capsulorhexis size and position on intraocular lens tilt, centration, and axial position // J. Cataract Refract. Surg. 2017. Vol. 43. Is. 7. P. 902–908. DOI: 10.1016/j.jcrs.2017.04.037.
8. Chen X., Gu X., Wang W., Xiao W., Jin G., Wang L., Dai Y., Zhang E., Ruan X., Liu Z., Luo L., Liu Y. Characteristics and factors associated with intraocular lens tilt and decentration after cataract surgery // J. Cataract Refract. Surg. 2020. Vol. 46. Is. 8. P. 1126–1131. DOI: 10.1097/j.jcrs.0000000000000219.
9. Kimura S., Morizane Y., Shiode Y., Hirano M., Doi S., Toshima S., Fujiwara A., Shiraga F. Assessment of tilt and decentration of crystalline lens and intraocular lens relative to the corneal topographic axis using anterior segment optical coherence tomography // PLoS ONE. 2017. Vol. 12. Is. 9. P. e0184066 DOI: 10.1371/journal.pone.0184066.
10. Никитин В.Н., Иванов Д.И. Сравнительная оценка влияния положения ИОЛ на показатели aberрометрии после шовной фиксации комплекса «ИОЛ — капсульный мешок» к радужной оболочке // Офтальмология. 2022. Т. 19. № 4. С. 768–773. DOI: 10.18008/1816-5095-2022-4-768-773.
11. Аветисов С.Э., Воронин Г.В., Евдокимова А.Н., Аветисов К.С., Школярченко Н.Ю., Юсеф С.Н. Влияние положения торических интраокулярных линз на функциональные

результаты факохирургии // Вестник офтальмологии. 2022. Т. 138. № 5. С. 273–278.
DOI: 10.17116/oftalma2022138052273.

12. Pieh S, Artmayr C, Schartmüller D, Kriechbaum K. IOL decentration sensitivity according to spatial frequencies // BMJ Open Ophthalmol. 2024. Vol. 9. Is. 1. P. e001661.
DOI: 10.1136/bmjophth-2024-001661.

13. Chen X., Wang Y.-C., Zhao T.-Y., Wang Z.-Z., Wang W. Tilt and decentration with various intraocular lenses: A narrative review // World J Clin Cases. 2022. Vol. 10. Is. 12. P. 3639-3646.
DOI: 10.12998/wjcc.v10.i12.3639.

14. Liu Y., Zhao J., Hu Y., Li B., Wang J., Zhang J. Comparison of the Visual Performance after Implantation of Three Aberration-correcting Aspherical Intraocular Lens // Curr Eye Res. 2021. Vol. 46. Is. 3. P. 333-340. DOI: 10.1080/02713683.2020.1798467.

15. Tzamalís A., Kynigopoulos M., Pallas G., Tsinopoulos I., Ziakas N. Influence of Intraocular Lens Asphericity and Blue Light Filtering on Visual Outcome, Contrast Sensitivity, and Aberrometry after Uneventful Cataract Extraction // J Ophthalmic Vis Res. 2020. Vol. 15. Is. 3. P. 308-317. DOI: 10.18502/jovr.v15i3.7449.