

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ИНСТИТУТ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ МЕДИЦИНЫ И БИОЛОГИИ**

Кафедра оториноларингологии и офтальмологии

Муратов Н.Ф., Идрисова К.Ф., Хафизова Г.Ф., Шиллер С.И.

Основы рефракционной хирургии

Учебно-методическое пособие



Казань, 2024

**УДК 616-089 (09C)
ББК 54.5+5г
И89**

Печатается по решению учебно-методической комиссии
Института фундаментальной медицины и биологии
ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
Протокол №.. от г.

Рецензенты:

к.м.н. Никоненко Максим Александрович, врач-офтальмолог,
врач-офтальмохирург клиники ООО «Смотри Оренбург» (г.Оренбург)
к.м.н. Гайнутдинова Раушания Фоатовна, доцент кафедры офтальмологии
ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» МЗ РФ

Основы рефракционной хирургии: учебно-методическое пособие /
Муратов Н.Ф., Идрисова К.Ф., Хафизова Г.Ф., Шиллер С.И. – Казань:
Казанский у-т, 2024. – 53 с.

Учебно-методическое пособие посвящено вопросам рефракции и аккомодации в офтальмологии, имеющим большое значение в клинической практике. Для контроля и закрепления полученных теоретических знаний в пособие включены подробные клинические разборы, тестовые задания.

Пособие предназначено для самостоятельной подготовки студентов IV–V курсов по специальностям 31.05.01 «Лечебное дело», 31.05.02 «Педиатрия», 31.05.03 «Стоматология» и для ординаторов, обучающихся по специальности «Офтальмология» 31.08.59.

© Казанский ун-т, 2024
© Н.Ф. Муратов, К.Ф. Идрисова,
Г.Ф. Хафизова, С.И. Шиллер, 2024

ВВЕДЕНИЕ

Рефракция и аккомодация глаза – это механизмы, которые отвечают за правильное острое зрение. Когда один какой-то из механизмов не работает надлежащим образом, возникает нарушение зрения. Самой распространенной патологией органа зрения являются аномалии рефракции – миопия, гиперметропия и астигматизм. Зачастую аномалии рефракции могут вызвать развитие хронических заболеваний органа зрения. Кроме того, необходима своевременная оптическая коррекция аномалий рефракции для избежания развития сенсорной депривации, а также для социальной адаптации индивида, так как именно зрение позволяет в полной мере реализоваться человеку в работе, отдыхе, искусстве. Врачу любой специальности необходимо иметь представление об основах и принципах оптической коррекции зрения (в том числе рефракционной хирургии) для предоставления пациентам с сочетанной патологией информации в доступной форме и своевременного направления их к офтальмологу или оптометристу.

В настоящее время рефракционная хирургия выделилась в самостоятельное, очень динамично развивающееся направление в офтальмохирургии. Беспрерывно появляются новые методы хирургической коррекции при аномалии рефракции глаза.

Сегодня практическая работа любого офтальмолога состоит не только с использованием традиционной очковой и контактной коррекции зрения, но и знаний в области рефракционной хирургии.

Основное внимание в процессе разбора данной темы на практическом занятии со студентами и ординаторами должно быть уделено аспектам диагностики аномалий рефракции и определению последовательности и объема лечебных и профилактических мероприятий.

Настоящее пособие позволит облегчить подготовку к практическим занятиям по офтальмологии студентам и ординаторам медицинских ВУЗов.

Цель занятия: студент должен знать:

- Медицинскую этику и деонтологию;
- Анатомию глазного яблока;
- Аномалия рефракции;
- Этапы проведения диагностики перед лазерной коррекцией зрения;
- Показания для оперативного лечения.
- Особенности клинического осмотра офтальмологического пациента;

Студент и ординатор должен уметь: собрать подробный анамнез, провести объективный клинический осмотр пациента, разбираться в методах диагностики перед лазерной коррекцией зрения, в видах хирургического вмешательства при аномалии рефракции.

Студент должен научиться:

- Оценивать симптомы при аномалии рефракции
- Деонтологическому подходу к пациенту, уметь проводить обследование (определение остроты зрения, внутриглазного давления, кератотопограммы роговицы).
- Правильно интерпретировать данные кератотопограммы роговицы.
- Научить практическим навыкам обследования офтальмологического пациента.

1. Рефракционная хирургия

Цель рефракционной хирургии – избавить пациента от необходимости ношения контактных линз или очков в повседневной жизни. Существует широкий спектр хирургических методик и технологий, и все они требуют соответствующей предоперационной оценки, чтобы определить наилучшую технику и обеспечить оптимальный результат для каждого пациента в отдельности.

Рефракционные хирургические вмешательства можно в широком смысле разделить на роговичные и внутриглазные (таблица 1). Кераторефракционные (роговичные) процедуры включают в себя резекцию, поверхностную лазерную абляцию, лазерную абляцию с формированием лоскута, формирование лентикулы, воздействие на коллаген роговицы и имплантацию интраокулярных линз. Процедуры интраокулярной рефракции включают имплантацию факичной интраокулярной линзы и операцию по удалению катаракты или замену рефракционной линзы с имплантацией монофокальной, торической, мультифокальной, аккомодационной или интраокулярной линзы с увеличенной глубиной фокусировки. Каждый метод имеет свои преимущества и недостатки и должен быть специально подобран для конкретного пациента.

В этой главе рассматриваются основные свойства роговицы, имеющие отношение к рефракционной хирургии (с акцентом на кераторефракционные процедуры), визуализация роговицы для рефракционной хирургии и влияние кераторефракционной хирургии на роговицу. Он включает обзор оптических принципов, аномалии рефракции (аберрации как низшего, так и высшего порядка); биомеханика роговицы; топография и томография роговицы; анализ волнового фронта; лазерная биофизика и взаимодействие лазера с тканями; биомеханические изменения роговицы после операции; и заживление ран на роговице

Таблица 1 - Обзор рефракционных процедур

Локали- зация	Метод воздействия	Тип процедуры	Общепри- нятые сокра- щения	Вид аномалии рефракции, на которую применяется лечение
Роговица	Непроникаю- щие надрезы	Радиальная кератомия	РК	Миопия
		Дугообразная кератомия		Астигматизм
		Дугообразная кератомия с помощью фемтосекундного лазера		Астигматизм
		Лимбальные послабляющие надрезы		Астигматизм
	Эксимерный лазер	Поверхностная абляция:		Миопия, гиперметропия, астигматизм
		- с удалением эпителия (фото- рефракционная кератоэктомия)	ФРК	+6.00 до -15.00
		- с сохранением эпителия	LASEK	+6.00 до -15.00
		- с удалением эпителия с помощью эпи- кератома	Epi- LASIK	+6.00 до -15.00
		Аблация с формированием лоскута:		+6.00 до -15.00
		- с помощью механического микрокератома (Laser In Situ KeratoMileusis)	LASIK	+6.00 до -15.00
		- с помощью фемтосекундного лазера	Femto- LASIK	+6.00 до -15.00

		Формирование и удаление роговичной лентикулы (femtosecond lenticule extraction)	FLEX, ReLEX, SMILE, Clear	
	Нелазерные методы	Эпикератофакия		Миопия, гиперметропия, астигматизм
		Имплантация интростромальных сегментов		Миопия, кератоконус
	Воздействие на коллаген роговицы	Лазерная термокератопластика		Гиперметропия, астигматизм
		Кондуктивная кератопластика (воздействие радиоволн)		Гиперметропия, астигматизм
	Кросслинкинг роговицы			Кератоконус
Передняя камера	Имплантация интраокулярной линзы (ИОЛ)	Имплантация переднекамерной ИОЛ		Миопия
		Имплантация переднекамерной ИОЛ с фиксацией к радужке		Миопия (-5.00 до -20.00)
Задняя камера	Имплантация интраокулярной линзы (ИОЛ)	Имплантация заднекамерной ИОЛ (факичная ИОЛ)		Миопия (-5.00 до -20.00)
Хрусталик	Удаление хрусталика с имплантацией ИОЛ	Монофокальные ИОЛ		Миопия, гиперметропия
		Мультифокальные ИОЛ		Миопия, гиперметропия, пресбиопия
		Торические ИОЛ		Миопия, гиперметропия, астигматизм
		Мультифокальные торические ИОЛ		Миопия, гиперметропия, астигматизм, пресбиопия

		Аккомодационные или ИОЛ с увеличенной глубиной фокусировки		Миопия, гиперметропия, пресбиопия
--	--	--	--	-----------------------------------

2. Роговица глаза

Слезная пленка обеспечивает большую часть оптической способности глаза. Хотя нормальная слезная пленка оказывает минимальное вредное воздействие, аномальная слезная пленка может оказать существенное влияние на зрение. Например, избыток слезной пленки (например, эпифора) или изменение слезной пленки (например, сухость глаз или блефарит) могут ухудшить качество зрения.

Оптическая сила глаза определяется главным образом передним изгибом роговицы, который обеспечивает примерно две трети преломляющей способности глаза, приблизительно +48,00 диоптрий (D). Общая мощность роговицы меньше (приблизительно +42,00 D) в результате отрицательной мощности (приблизительно -6,00 D) задней поверхности роговицы. Стандартные кератометры и приборы для топографии роговицы, основанные на методе Плачидо (т.е. основанные на анализе отражений роговицы от изображения концентрического кольца), измеряют передний радиус кривизны роговицы и оценивают общую силу роговицы на основе этих измерений на передней поверхности. Эти приборы экстраполируют центральную мощность роговицы (K), измеряя скорость изменения кривизны в паракентральной зоне толщиной 3-4 мм; этот фактор приобретает решающее значение при определении мощности ИОЛ после кераторефракционной операции. Нормальная роговица уплощается от центра к периферии на расстояние до 4,00 мм (это постепенное уплощение по направлению к периферии называется вытянутой формой роговицы) и более плоская в носовой части, чем в височной.

Большинство кераторефракционных хирургических вмешательств изменяют рефракционное состояние глаза путем изменения кривизны

роговицы. Допуски, связанные с изменением размеров роговицы, относительно невелики. Например, изменение рефракционного статуса глаза на 2,00 D может потребовать изменения толщины роговицы менее чем на 30 мкм. Таким образом, достижение предсказуемых результатов иногда проблематично, поскольку незначительные изменения формы роговицы могут привести к значительным изменениям рефракции.

3. Аномалия рефракции: Оптические принципы и анализ волнового фронта

Одним из основных применений волновой теории света является анализ волнового фронта. В настоящее время анализ волнового фронта может быть выполнен клинически с помощью 4 методов: Хартманна-Шака, Чернинга, трассировки тонкого одиночного луча и оптической разности хода. Каждый метод генерирует подробный отчет об аберрациях более низкого порядка (сфера и цилиндр) и более высокого порядка (сферическая аберрация, кома и трилистник и т.д.) (рис. 1). Эта информация необходима как при расчете индивидуальных методов абляции для улучшения зрения или устранения оптических проблем, так и при объяснении визуальных симптомов пациентов.

Измерение аберраций волнового фронта и графических представлений

Существует несколько методов измерения аберраций волнового фронта. Наиболее популярный в клинической практике основан на датчике волнового фронта Хартманна-Шака. С помощью этого устройства лазерный луч малой мощности фокусируется на сетчатке. Точка на сетчатке действует как точечный источник, и отраженный свет затем распространяется обратно (спереди) через оптические элементы глаза к детектору. Для глаза, не подверженного аберрациям, все лучи будут проходить параллельно, а отраженный волновой фронт будет представлять собой плоскую плоскость. На самом деле волновой фронт не является плоским. Чтобы определить форму отраженного волнового фронта, матрица линз производит выборку частей волнового фронта и

фокусирует свет на детекторе. Степень расхождения изображений на линзах с их ожидаемыми фокусными точками определяет погрешность волнового фронта (рис. 2). Оптические aberrации, измеряемые с помощью aberrометра, могут быть разделены на множество основных форм, комбинация которых представляет собой общую aberrацию глазной системы пациента точно так же, как обычная аномалия рефракции представляет собой комбинацию сферы и цилиндра. В настоящее время aberrации волнового фронта чаще всего определяются полиномами Цернике, которые представляют собой математические формулы, используемые для описания поверхностей, показанных на рисунке 1. Каждая aberrация может быть положительной или отрицательной по величине и вызывать предсказуемые изменения в качестве изображения. Величина этих aberrаций выражается в виде среднеквадратичной ошибки (RMS), которая представляет собой отклонение волнового фронта, усредненное по всему волновому фронту. Чем выше среднеквадратичное значение, тем больше общая aberrация для данного глаза. У большинства пациентов суммарные среднеквадратичные значения менее 0,3 мкм для зрачка диаметром 6 мм. Большинство коэффициентов Цернике высшего порядка имеют средние значения, близкие к нулю. Наиболее важными коэффициентами Цернике, влияющими на качество зрения, являются расфокусировка, сферическая aberrация, кома и вторичный астигматизм.

Анализ Фурье — это альтернативный метод оценки выходных данных aberrометра. Анализ Фурье включает в себя синусоидальное преобразование сложной формы. По сравнению с формами, полученными с помощью полиномиального анализа Цернике, формы, полученные с помощью анализа Фурье, более детализированы, что теоретически позволяет измерять и лечить роговицы с более выраженным отклонениями.

Аберрации более низкого порядка

Близорукость, дальнозоркость и обычный астигматизм — это aberrации низшего порядка (второго порядка), которые могут быть выражены как aberrации волнового фронта. Близорукость приводит к положительной

расфокусировке, в то время как дальнозоркость приводит к отрицательной расфокусировке. Обычный (цилиндрический) астигматизм создает aberrацию волнового фронта, которая имеет ортогональную (т.е. направленную под прямым углом) и наклонную составляющие. Другие aberrации более низкого порядка — это aberrации, не имеющие визуального значения, известные как aberrации первого порядка, такие как вертикальные и горизонтальные призмы и aberrации нулевого порядка.

Аберрации более высокого порядка

Аберрация волнового фронта в значительной степени зависит от размера зрачка, при этом aberrации более высокого порядка проявляются по мере расширения зрачка. Аберрации более высокого порядка также увеличиваются с возрастом, хотя считается, что клинический эффект уравновешивается увеличением миоза зрачка с возрастом. Хотя aberrации более низкого порядка уменьшаются после лазерной коррекции зрения, aberrации более высокого порядка, особенно сферическая aberrация и кома, могут усиливаться после обычной поверхностной абляции, лазерного кератомилеза на месте (LASIK) или радиальной кератотомии (РК) при близорукости. Это увеличение коррелирует со степенью предоперационной близорукости. После стандартной лазерной коррекции зрения при дальнозоркости aberrации высших порядков увеличиваются еще больше, чем при близорукости, но в противоположном направлении (в сторону отрицательных значений). По сравнению с традиционными методами лечения, индивидуальное лечение эксимерным лазером может уменьшить количество индуцированных aberrаций высшего порядка и обеспечить более высокое качество зрения, особенно в мезопических условиях (условиях пониженной освещенности).

Сферическая aberrация

Когда периферические лучи света, попадающие на хрусталик или роговицу, фокусируются перед большим количеством центральных лучей, этот эффект называется сферической aberrацией. Клинически эта радиально-

симметричная аберрация четвертого порядка является причиной ночной миопии и обычно усиливается после RK и миопической LASIK, а также поверхностной абляции. Это приводит к появлению ореолов вокруг точечных изображений. Сферическая аберрация является наиболее значимой аберрацией высшего порядка. Это может увеличить глубину резкости, но снижает контрастную чувствительность.

Кома и трилистник

При коме, аберрации третьего порядка, лучи на одном краю зрачка фокусируются раньше лучей на противоположном краю. Как видно из иллюстраций, световые лучи, попадающие в систему, не фокусируются на плоскости; скорее, один край входящего луча фокусируется либо перед противоположным краем луча, либо за ним. Если бы кто-то изучил изображение, полученное при прохождении входящего светового луча через оптическую систему с коматозной аберрацией, изображение показалось бы “размытым”, похожим на комету с зоной резкого фокуса на одном краю изображения, переходящей в нечеткий фокус на противоположном крае балки. Кома часто развивается у пациентов с децентрализованными транспланатами роговицы, кератоконусом и децентрализованными лазерными абляциями. После рефракционной хирургии может возникнуть трилистник, также являющийся аберрацией третьего порядка. Трилистник приводит к меньшему ухудшению качества изображения, чем кома с аналогичной среднеквадратичной величиной.

Другие аберрации более высокого порядка

Существует множество других аберраций более высокого порядка, из которых лишь небольшое количество представляет клинический интерес. По мере увеличения знаний о аберрациях, вызванных хирургическим вмешательством, все больше основных типов аберраций могут стать клинически значимыми.

Влияние эксимерлазерной аблации на aberrации высшего порядка

В то время как использование обычных (не управляемых волновым фронтом) эксимерных лазерных аблаций обычно увеличивает aberrации более высокого порядка, аблации с оптимизацией волнового фронта, управляемые волновым фронтом и с учетом рельефа, как правило, вызывают меньшее количество aberrаций более высокого порядка и, в принципе, могут быть способны уменьшить уже существующие оптические aberrации более высокого порядка.

4. Биомеханика роговицы

Роговица состоит из коллагеновых фибрилл, расположенных приблизительно в 200 параллельных пластинках, которые простираются от края до края. Фибриллы ориентированы под углом к фибриллам в соседних пластинках. Эта сеть коллагена отвечает за механическую прочность роговицы. Фибриллы расположены более плотно в передних двух третях роговицы и в аксиальной, или препупиллярной, части роговицы, чем в периферической (см. раздел 8 "Внешние заболевания и роговица"). Структурные различия между передней и задней стромой влияют на биомеханическое поведение роговицы. К ним относятся различия в содержании гликозаминогликанов, а также большее количество ламеллярных переплетений в передней части стромы роговицы; таким образом, передняя часть роговицы отекает гораздо меньше, чем задняя. Напряжение в тканях частично связано с внутриглазным давлением (ВГД), но не линейно в физиологических условиях (в норме Диапазон ВГД). Когда роговица находится в состоянии обезвоживания, напряжение распределяется в основном на задние слои или равномерно по всей роговице. Когда роговица отечна, основная нагрузка приходится на передние пластинки. Большинство кераторефракционных процедур изменяют биомеханические свойства роговицы либо напрямую (например, RK, ослабляющий роговицу, чтобы вызвать изменение рефракции), либо косвенно (например, эксимерлазерная хирургия, ослабляющая роговицу посредством удаления тканей).

Неравномерность биомеханической нагрузки на роговицу объясняет различия в биомеханической реакции роговицы на различные кераторефракционные процедуры. LASIK в целом оказывает большее влияние на биомеханику роговицы, чем фоторефракционная кератэктомия (ФРК) и удаление лентикулы с небольшим разрезом (SMILE) не только потому, что создается пластинчатый лоскут, но и потому, что лазерная абляция происходит в более глубокой и слабой строме роговицы, изменяя больший объем ткани роговицы.

5. Визуализация роговицы для кераторефракционной хирургии

Профили формы, кривизны и толщины роговицы могут быть созданы с помощью различных технологий, таких как системы на основе дисков Placido и системы на основе высоты (включая сканирующие щелевые системы и системы визуализации Scheimpflug). Каждая технология предоставляет различную информацию о кривизне роговицы, анатомии и биомеханических функциях. Кроме того, компьютерные топографические и томографические системы могут отображать другие данные: размер и расположение зрачка, показатели, оценивающие регулярный и нерегулярный астигматизм, оценки вероятности развития кератоконуса, имитационную кератометрию и асферичность роговицы. Другие топографические системы могут интегрировать данные аберрометрии волнового фронта с топографическими данными. Хотя эта дополнительная информация может быть полезна при предоперационном хирургическом обследовании, ни одна автоматизированная система скрининга не заменит клинический опыт в оценке изображений роговицы. Степень асферичности роговицы можно определить количественно, определив значение Q , при котором $Q = 0$ для сферических роговиц, $Q < 0$ для вытянутых роговиц (относительно плоская периферия) и $Q > 0$ для сплюснутых роговиц (относительно более крутая периферия). Нормальная роговица вытянутая, с показателем Q асферичности -0,26. Вытянутая роговица минимизирует сферические aberrации благодаря своей относительно плоской периферической кривой. И наоборот, сплюснутые контуры роговицы, при

которых периферическая часть роговицы более крутая, чем центральная, увеличивают вероятность возникновения положительных сферических aberrаций. После традиционной рефракционной операции по поводу близорукости, приводящей к уплощению центра роговицы, асферичность роговицы увеличивается в сплюснутом направлении, что может привести к ухудшению оптики глаза.

6. Топография роговицы

Топография роговицы дает очень подробную информацию о кривизне роговицы. Топография оценивается с помощью кератоскопических изображений, которые снимаются с помощью рисунков диска Плачидо, отражающихся от слезной пленки, покрывающей поверхность роговицы, и затем преобразуются в компьютеризированную цветовую шкалу. Поскольку изображение формируется с передней поверхности слезной пленки, неоднородности в составе или объеме слезной жидкости могут оказать существенное влияние на качество и результаты работы дисковой системы Placido. Из-за этого эффекта перед интерпретацией карт рекомендуется просмотреть изображение Плачидо и последующие цифровые данные чрезвычайно важны. Кроме того, системы на основе дисков Placido отсчитываются от линии, которую прибор проводит по поверхности роговицы (называемой вершинной нормалью). Эта линия может не обязательно совпадать с линией обзора пациента или визуальной осью, что может привести к путанице при интерпретации топографических карт. Как правило, данные, полученные при помощи топографических приборов, представлены не только в числовом виде, но и, что более важно для клинической оценки, в виде изображения, при этом кривизна роговицы обычно отображается с использованием аксиального и тангенциального методов.

Осевая мощность и кривизна роговицы

Представление осевой мощности основано на предположении, что роговица представляет собой сферу и что угол падения инструмента

перпендикулярен роговице. Представление осевой мощности основано на концепции “осевого расстояния”. Осевая мощность недооценивает более крутые изгибы и переоценивает более пологие. Это представление также сильно зависит от используемой оси отсчета — оптической или визуальной. Карты, созданные на основе одной и той же роговицы, но с использованием разных осей отсчета, выглядят очень непохожими друг на друга. Изображения осевой силы фактически усредняют значения силы на роговице и, таким образом, обеспечивают “более плавное” представление кривизны роговицы, чем при тангенциальном, или “мгновенном”, методе. Напомним, что кривизна и мощность центрального 1-2-миллиметрового участка роговицы, как правило, не очень хорошо отображаются с помощью дисковых методов Плачидо, но могут быть приблизительно определены с помощью осевых показателей мощности и кривизны (ранее называемых сагиттальной кривизной); однако центральные измерения экстраполируются и, следовательно, потенциально неточны. Эти показатели также не могут описать истинную форму и силу периферической части роговицы. Топографические карты, отображающие осевую силу и кривизну, дают интуитивное представление о физиологическом уплощении роговицы, но не отражают истинную преломляющую силу или истинную кривизну периферических областей роговицы.

Мгновенная мощность и кривизна роговицы

Вторым методом описания кривизны роговицы на основе дисковой топографии Placido является мгновенный радиус кривизны (также называемый меридиональной или тангенциальной мощностью). То мгновенный радиус кривизны определяется путем проведения перпендикулярного пути через рассматриваемую точку от плоскости, пересекающей точку и визуальную ось, при этом радиус должен быть равен длине, необходимой для соответствия сфере с такой же кривизной в этой точке. Кривизна, выраженная в диоптриях, оценивается как разница между показателем преломления роговицы и 1000, деленная на этот тангенциально определенный радиус. Тангенциальная карта

обычно показывает лучшую чувствительность к периферическим изменениям при меньшем “сглаживании” кривизны, чем осевая карта. На этих картах диоптрии являются относительными единицами кривизны и не эквивалентны диоптриям силы роговицы. Потенциальное преимущество повышенной чувствительности этого метода уравновешивается его склонностью к документированию чрезмерных деталей (“шума”), которые могут не иметь клинического значения. Для рутинного рефракционного скрининга большинство хирургов получают топографические данные в режиме аксиальной (сагиттальной) кривизны, а не в мгновенном (тангенциальном) режиме.

Топография роговицы и астигматизм

Нормальное топографическое изображение роговицы без астигматизма демонстрирует относительно однородный цветовой рисунок в центре с естественным сглаживанием по периферии. Обычный астигматизм — это равномерное увеличение крутизны вдоль одного меридиана роговицы, которое может быть полностью исправлено с помощью цилиндрической линзы. Топографическая визуализация при обычном астигматизме демонстрирует симметричный узор в виде “бабочки” или фигуры «восьмерки» (рис. 3) вдоль одного меридиана с прямой осью по обе стороны от центра. Узор в виде бабочки на топографических картах является результатом визуализации, основанной на методе Плачидо; то есть, поскольку изображение Placido не может определить кривизну в центральной точке измерения, меридиональное утолщение роговицы, по-видимому, исчезает в центре и усиливается по мере удаления изображения от центра. Неправильный астигматизм — это неравномерное утолщение роговицы по целому ряду причин, которое невозможно исправить с помощью цилиндрических линз. Неправильный астигматизм снижает остроту зрения с наилучшей коррекцией и может снижать контрастную чувствительность и усиливать зрительные aberrации, в зависимости от величины нарушения. Жесткие газопроницаемые и твердые контактные линзы могут корректировать снижение остроты зрения,

возникающее в результате неправильного астигматизма роговицы, путем соединения неровной поверхности роговицы и контактной линзы слезной пленкой.

Топография роговицы очень полезна при оценке состояния глаз с нерегулярным астигматизмом. Топографические изменения включают неортогональные крутые и плоские меридианы (т.е. расположенные не под углом 90° друг от друга). Асимметрия между верхней и нижней или носовой и височной половинами роговицы также может быть выявлена с помощью топографии роговицы, хотя эти закономерности не обязательно указывают на патологию роговицы. Напротив, анализ волнового фронта может продемонстрировать aberrации более высокого порядка (такие как кома, трилистник, четырехлистник или вторичный астигматизм). Способность отличать обычный астигматизм от неправильного имеет клиническое значение в кераторефракционной хирургии.

Традиционная эксимерлазерная абляция может лечить сфероцилиндрические отклонения, но не позволяет эффективно лечить неправильный астигматизм. Абляция под контролем топографии может быть полезна при лечении неправильного астигматизма, не вызванного ранними эктатическими нарушениями роговицы.

Ограничения в топографии роговицы

Помимо ограничений, связанных с конкретными алгоритмами и различиями в терминологии производителей, на точность топографии роговицы могут влиять и другие потенциальные проблемы:

- эффект образования слезной пленки
- смещение (смещенная топография роговицы может создать ложное впечатление децентрации верхушки роговицы, что может свидетельствовать о кератоконусе).
- нестабильность (вариабельность от теста к тесту)
- нечувствительность к ошибкам фокусировки
- ограниченная зона охвата (центральная и лимбальная)

- снижение точности измерений мощности имитации роговицы после рефракционных хирургических вмешательств
- снижение точности определения высоты задней поверхности при наличии помутнений роговицы или, часто, после рефракционной хирургии (с использованием технологии сканирующей щели)

Томография роговицы

В то время как поверхностная кривизна роговицы (мощность) лучше всего выражена с помощью визуализации по методу Плачидо, общая форма роговицы, включая пространственные профили толщины, лучше всего выражена с помощью компьютерной томографии. Доступны различные системы визуализации, которые получают изображения с несколькими разрезами и преобразуют их в профиль формы роговицы, включая данные о переднем и заднем рельфе роговицы. К ним относятся технология сканирующей щели, системы визуализации на основе технологии Шаймпфлюга и оптическая когерентная томография переднего сегмента (ОКТ). Для представления непосредственно для отображения высоты по оси z в произвольной плоскости, такой как плоскость радужной оболочки, можно использовать цветные карты; однако для клинической пользы карты поверхности роговицы наносятся таким образом, чтобы показать отличия от наиболее подходящих сфер или других объектов, которые точно повторяют нормальную форму роговицы. Как правило, каждое устройство вычисляет наиболее подходящую сферу для каждой карты индивидуально. По этой причине сравнение карт высот не является точным, поскольку они часто имеют разные характеристики сферы, на которые ссылаются. Томография, основанная на измерении высоты, особенно полезна в рефракционной хирургии для определения формы передней и задней поверхности роговицы и хрусталика. С помощью такой информации можно с большей точностью определить изменения в форме структур глаза, особенно послеоперационные изменения.

Показания к визуализации роговицы в рефракционной хирургии

Топография роговицы является важной частью предоперационной оценки кандидатов на рефракционную операцию. Около двух третей пациентов с нормальной роговицей имеют симметричный астигматизм круглой, овальной формы или в форме бабочки. Асимметричные узоры включают в себя асимметричные узоры в виде галстуков-бабочек, меньшую кривизну, большую кривизну, перекошенные радиальные оси или другие неспецифические неровности. Топография роговицы выявляет неправильный астигматизм, который может быть вызван аномалией слезной пленки, деформацией контактных линз, кератоконусом и другими поражениями роговицы, хирургическими вмешательствами на роговице, травмами, рубцами, а также поствоспалительными или дегенеративными состояниями. Повторные топографические исследования могут быть полезны, когда возникает сомнение в основной этиологии, особенно в случаях подозрительного увеличения объема у пациентов, которые носят контактные линзы, или у пациентов с аномальной слезной пленкой. Те, кто носит контактные линзы, часто получают выгоду от длительного периода без ношения контактных линз перед предоперационным планированием рефракционной хирургии. Этот период позволяет стабилизировать структуру роговицы и рефракцию. Пациенты с кератоконусом или другими эктатическими нарушениями обычно не рассматриваются для проведения абляционной кераторефракционной операции, поскольку аномалия роговицы может привести к непредсказуемой реакции и/или прогрессирующей эктазии. Фrust-форма (form-frust «усеченный» кератоконус) или субклинический, кератоконус обычно считается противопоказанием к абляционной рефракционной хирургии. В настоящее время проводятся исследования с целью определения пригодности некоторых кераторефракционных процедур в сочетании с кросслинкингом роговицы в качестве альтернативных методов лечения для этих пациентов. Топография и томография роговицы также могут быть использованы для демонстрации эффекта кераторефракционных процедур. Для определения достигнутого

рефракционного эффекта можно сравнить предоперационную и послеоперационную карты. Топография роговицы также может помочь объяснить неожиданные результаты, включая недостаточную и избыточную коррекцию, индуцированный астигматизм и индуцированные aberrации из небольших оптических зон, децентрированные абляции или центральные островки.

Роль топографии роговицы в рефракционной хирургии

Топография роговицы - одна из ключевых технологий оценки в рефракционной хирургии, имеющая решающее значение не только при предоперационном скрининге, но и при послеоперационном обследовании пациентов с неожиданными результатами. Всем пациентам, рассматриваемым для рефракционной хирургии, следует провести топографический анализ, чтобы выявить пациентов, которым не следует проходить эту процедуру. Несмотря на то, что рефракционная хирургия имеет множество противопоказаний, некоторые из наиболее важных заболеваний, которые следует учитывать, — это эктатические нарушения роговицы: кератоконус и краевая дегенерация роговичної оболочки. Кератоконус (КК) и краевая дегенерация роговичної оболочки, как правило, являются прогрессирующими состояниями, при которых происходит истончение центральной, паракентральной или периферической роговицы, что приводит к асимметричному истончению роговицы и снижению остроты зрения с коррекцией очками. Эти два состояния могут быть отдельными проявлениями или различными клиническими проявлениями одного и того же эктатического процесса; в любом случае, в настоящее время они являются противопоказаниями для эксимерлазерной хирургии.

Топографический рисунок кератоконических глаз обычно демонстрирует значительное нижненазальное или нижневисочное утолщение, хотя могут наблюдаться серьезные центральные и даже верхние утолщения. Классической топографической особенностью краевой дегенерации является меньшая крутизна, которая наиболее заметна между позициями "4" и "8 часов", и более

высокая степень сглаживания. Это понижение крутизны часто проходит по центру, образуя так называемую форму “клешни краба”. Топографические схемы кератоконуса и краевой дегенерации роговицы могут существенно совпадать.

Наибольшие трудности при предоперационном обследовании перед рефракционной хирургией возникают у пациентов, у которых в конечном итоге развивается КК, но на момент обследования не наблюдается явных клинических признаков. Топография роговицы может выявить незначительные отклонения, которые должны предупредить хирурга об этой проблеме. Хотя новые скрининговые индексы учитывают различные топографические и биомеханические факторы роговицы, которые могут указывать на более высокую вероятность субклинического КК, ни один из этих индексов не является окончательным. В дополнение к топографическим показателям, значительное смещение самой тонкой области роговицы от центра, выявленное при томографии роговицы, также указывает на КК. Нормальная роговица значительно толще по периферии, чем в центре (примерно на 50-60 микрон), а роговицы, которые не толще по периферии, свидетельствуют об эктатическом расстройстве. Новейшие технологии, такие как ОКТ переднего сегмента с высоким разрешением, ультравысокочастотный ультразвук и гистерезисный анализ, могут быть полезны в качестве скрининговых тестов на кератоконус, помогая оценить относительное расположение задней и передней вершин, толщину эпителия и биомеханические свойства роговицы; однако эти технологии еще предстоит апробировать.

7. Последствия кераторефракционной хирургии для роговицы

Все кераторефракционные процедуры вызывают изменения рефракции путем изменения кривизны роговицы; однако метод, с помощью которого осуществляется изменение, зависит от процедуры и вида аномалии рефракции, которую лечат. Лечение близорукости требует сглаживания или уменьшения центральной кривизны роговицы, в то время как лечение дальнозоркости

требует увеличения центральной кривизны роговицы. Процедуры по коррекции рефракции роговицы могут быть выполнены с использованием различных методов, включая резекцию, добавление или вычитание тканей, добавление искусственного материала, усадку коллагена и лазерную абляцию. Общая удовлетворенность пациента после рефракционной операции во многом зависит от успешной коррекции аномалии рефракции и создания формы роговицы, которая максимально улучшает качество зрения. Естественная форма роговицы вытянутая или более крутая в центре, чем по периферии. Напротив, сплюснутая роговица более выпуклая по периферии, чем в центре. Естественная вытянутая форма роговицы приводит к созданию асферической оптической системы, которая уменьшает сферическую aberrацию и, следовательно, сводит к минимуму колебания рефракции при изменении размера зрачка. Сплюснутые роговицы, возникающие, например, в результате лечения миопии, усиливают сферическую aberrацию. У пациентов с выраженной сферической aberrацией часто возникают проблемы с бликами, ореолами и ухудшением ночного зрения.

8. Хирургические методы лечения

Разрезы, расположенные перпендикулярно поверхности роговицы, изменяют ее форму в зависимости от направления, глубины, расположения, длины и количества разрезов. Все разрезы вызывают локальное выравнивание роговицы. Радиальные разрезы приводят к выравниванию как по меридиану разреза, так и на расстоянии 90° от него. Тангенциальные (дугобразные или линейные) разрезы приводят к выравниванию в меридиане разреза и повышению крутизны в меридиане, удаленном на 90° , что может быть равно или меньше величины уменьшения в основном меридиане; это явление известно как сцепление. Уменьшение оптической зоны радиальных разрезов увеличивает их эффект; аналогичным образом, при размещении тангенциальных разрезов ближе к зрительной оси эффект усиливается. Кроме того, увеличение длины тангенциального разреза до 3 часов увеличивает

эффект. Для достижения оптимального эффекта разрез должен быть глубиной 85-90%, чтобы сохранить неповрежденной заднюю пластинку и максимально изогнуть остальные пластиинки спереди. Номограммы для количества разрезов и размера оптической зоны могут быть рассчитаны с помощью метода конечных элементов, но хирургические номограммы обычно создаются эмпирическим путем.

Важными факторами при лучевой и астигматической хирургии являются возраст пациента, а также количество, глубина и длина разрезов. Один и тот же разрез дает больший эффект у пожилых пациентов, чем у молодых. ВГД и предоперационное искривление роговицы не являются значимыми предикторами эффекта.

Методы сложения или вычитания тканей

За исключением методов лазерной абляции, есть процедуры, которые изменяют форму роговицы путем добавления или удаления ткани, представляют в основном исторический интерес. Кератомилез при миопии был предложен Барракером как “вырезание” передней поверхности роговицы. Он определяется как метод изменения сферической или меридиональной поверхности здоровой роговицы путем удаления ткани.

Эпикератопластика (иногда называемая эпикератофакией) позволяет создать на поверхности роговицы точную линзу из донорской ткани, чтобы вызвать гиперметропические или миопические изменения. При кератофакии требуется введение тканевой линзы или синтетической вставки интрастромально. Однако существует постоянный интерес к фемтосекундным лазерным методам удаления интрастромальных лентикул для изменения кривизны роговицы без необходимости проведения эксимерлазерной абляции. Эти процедуры называются рефракционной экстракцией лентикулы (ReLEx), фемтосекундной экстракцией лентикулы (FLEx) и удаление лентикулы с небольшим разрезом (SMILE).

Методы добавления искусственного (аллопластического) материала

Форму роговицы можно изменить, добавив аллопластический материал, такой как гидрогель, на поверхность или в строму роговицы, чтобы изменить переднюю форму или показатель преломления роговицы. Например, 2 дуговых сегмента интрастромального кольца роговицы могут быть размещены в 2 карманах стромы для непосредственного изменения контура поверхности в соответствии с профилем и расположением отдельных колец. В дополнение к изменению формы или кривизны роговицы были разработаны новые материалы и конструкции, которые изменяют оптическую функцию роговицы, в частности, роговичная вставка KAMRA (AcuFocus Inc, Ирвин, Калифорния) для пресбиопии, одобренная в 2015 году, и капля дождя (ReVision Optics, Inc, Лейк—Сити). Форест, Калифорния), утвержденный в 2016 году.

Методы усадки коллагена

Изменение биомеханики роговицы также может быть достигнуто за счет усадки коллагена. Нагрев коллагена до критической температуры 58-76°C приводит к его усадке, что приводит к изменению кривизны роговицы. Термокератопластика и кондуктивная кератопластика не применяются в центральной части роговицы из-за образования рубцов, но могут быть использованы в средней части, чтобы вызвать локальное сокращение коллагена с одновременным повышением крутизны центральной части роговицы. Эффект процедуры нестабилен.

Лазерная биофизика

Взаимодействие лазера с тканями

В кератофефракционной хирургии используются три различных типа взаимодействия лазера с тканями: фотоаблятивный, фотодеструктивный и фототермический. Фотоабляция, наиболее важное взаимодействие лазера с тканями в рефракционной хирургии, разрушает химические связи с помощью эксимерных (от “возбужденный димер”) лазеров или других лазеров с соответствующей длиной волны. Энергии лазера в 4 эВ на фотон или более достаточно для разрушения углерод-азотных или углерод-углеродных связей в

тканях. Аргонофтотиридные лазеры (ArF) - это эксимерные лазеры, которые используют электрическую энергию для стимуляции аргона к образованию димеров с газообразным фтором. Они генерируют излучение с длиной волны 193 нм и мощностью 6,4 эВ на фотон. Излучение с длиной волны 193 нм относится к ультрафиолетовому диапазону С (high ultraviolet), что приближается к длине волны рентгеновских лучей. В дополнение к высокой энергии на фотон, свет на этом конце электромагнитного спектра обладает очень низкой проникающей способностью в ткани и, таким образом, подходит для воздействия на поверхность ткани. Эта лазерная энергия обеспечивает высокую точность при незначительном тепловом распространении в тканях; кроме того, отсутствие проникающей способности или летальности для клеток делает 193-нм лазер немутагенным, что повышает его безопасность. (Мутагенность ДНК проявляется в диапазоне 250 нм.) Твердотельные лазеры были разработаны для генерации света с длиной волны около 193 нм без необходимости использования токсичного газа, но технические трудности при производстве этих лазеров ограничили их клиническое применение.

Фемтосекундный лазер. В нем используется инфракрасный луч с длиной волны 1053 нм, который вызывает фоторазрушение - процесс, при котором ткань превращается в плазму, а последующее высокое давление и температура приводят к быстрому расширению ткани и образованию микроскопических полостей в строме роговицы. Непрерывное фоторазрушение позволяет создать роговичный лоскут, лентикулу ткани, канал или разрез для кератопластики. Он также может быть использован для создания каналов для сегментов интрастромального кольца, а также для послойной и сквозной кератопластики.

Фототермические эффекты достигаются за счет фокусировки YAG-лазера с длиной волны 2,13 мкм на переднюю строму. Энергия луча поглощается водой в роговице, и возникающее в результате этого тепло вызывает локальную усадку коллагена и последующее выравнивание поверхности. В настоящее время, этот метод почти не используется.

Основы эксимерлазерной фотоабляции

Все фотоабляционные процедуры приводят к удалению ткани роговицы. Количество ткани, удаляемой централизованно при лечении миопии с использованием широколучевого лазера, определяется по формуле Маннерлина:

$$\text{Глубина абляции} = \text{Степень миопии (D)} \times (\text{Диаметр оптической зоны})^2 \text{ (мм)}$$

Клинический опыт подтвердил, что эффективное изменение не зависит от изначальной кривизны роговицы. Формула Маннерлина подчеркивает некоторые проблемы и ограничения лазерной коррекции зрения. Степень абляции увеличивается с увеличением площади оптической зоны, но при уменьшении оптической зоны увеличиваются такие осложнения, как блики, ореолы и регрессия. Чтобы уменьшить эти побочные эффекты, оптическая зона должна быть не менее 6 мм.

При поверхностной абляции лазерное воздействие применяется к слою Боумена и передней строме, в то время как LASIK, с другой стороны, сочетает формирование лоскута роговицы с абляцией роговицы, как правило, в стромальном слое. Теоретические пределы для остаточной задней поверхности роговицы такие же, как и для ФРК. Толщина лоскутов варьируется от ультратонкой (80-100 мкм) до стандартной (120-180 мкм). Толщина и диаметр лоскута LASIK зависят от инструментария, диаметра роговицы, кривизны и толщины роговицы.

При лечении близорукости роговица выравнивается за счет удаления центральной части роговицы, в то время как при лечении дальнозоркости роговица становится более выпуклой за счет удаления части срединно-периферической ткани в форме бублика. В некоторых лазерах используется многозонный алгоритм лечения для сохранения тканей за счет использования нескольких концентрических оптических зон для достижения требуемой полной коррекции. Этот метод может обеспечить полную коррекцию в центре, в то время как сужающиеся периферические зоны уменьшают симптомы и

позволяют лечить более высокие степени близорукости. В качестве крайнего примера, близорукость 12,00 D можно лечить следующим образом: 6,00 D корректируют с помощью оптической зоны диаметром 4,5 мм, 3,00 D - с помощью оптической зоны диаметром 5,5 мм и 3,00 D - с помощью оптической зоны диаметром 6,5 мм (рис. 1-20). Таким образом, общая коррекция в 12,00 дней достигается в центре при использовании меньшей глубины абляции, чем это было бы необходимо для одного прохода (103 пм вместо 169 пм). При дальнозоркости поверхностная абляция и LASIK используют аналогичную формулу для определения максимальной глубины абляции, но зона абляции намного больше оптической зоны. Зона максимальной абляции совпадает с внешним краем оптической зоны. Переходная зона удаляемой роговицы необходима для того, чтобы край оптической зоны сливался с периферической роговицей.

Необходимо позаботиться о том, чтобы после создания лоскута LASIK и абляции осталось достаточно стромальной ткани для поддержания адекватной структуры роговицы. Исторически сложилось так, что в стромальном слое оставалось не менее 250 мкм ткани, хотя точное количество оставшейся ткани, необходимое для обеспечения биомеханической стабильности, неизвестно и, вероятно, варьируется у разных людей.

Типы фотоабляционных лазеров

Фотоабляционные лазеры можно разделить на лазеры с широким лучом, лазеры со сканирующими щелями и лазеры с летающими точками. Широколучевые лазеры имеют пучки большего диаметра и меньшую частоту повторения и используют оптику или зеркала для создания гладкого и однородного лазерного луча диаметром примерно до 7 мм. Эти лазеры обладают очень высокой энергией в импульсе, и для удаления роговицы требуется небольшое количество импульсов. Лазеры со сканирующими щелями генерируют узконаправленный лазерный луч, который сканируется по поверхности ткани для изменения профиля фотоабляции, что улучшает гладкость удаляемой роговицы и позволяет создавать зоны абляции большего

диаметра. В лазерах с летающими точками используются лучи меньшего диаметра (приблизительно 0,5-2,0 мм), которые сканируются с более высокой частотой повторения; они требуют использования следящего механизма для точного определения желаемой схемы абляции. Широколучевые лазеры и некоторые лазеры со сканирующей щелью требуют механической ирисовой диафрагмы или абляционной маски для создания желаемой формы роговицы, в то время как остальные лазеры со сканирующей щелью и лазеры с летающими точками используют рисунок, проецируемый на поверхность, для определения профиля абляции без маскировки. Большинство эксимерных лазеров, используемых в настоящее время в клинической практике, используют ту или иную форму абляции с изменяемым профилем или точечной абляцией с летучестью.

Лазерная абляция, оптимизированная для волнового фронта и управляемая волновым фронтом

Поскольку традиционные методы лазерного лечения имеют небольшие зоны смешения и создают более сплюснутую форму роговицы после операции после коррекции миопии, они, вероятно, вызывают некоторую степень aberrаций более высокого порядка, особенно сферическую aberrацию и кому. Эти aberrации возникают из-за того, что кривизна роговицы относительно больше наклонена к периферии по отношению к лазерным импульсам, исходящим из центрального расположения; таким образом, импульсы, попадающие на периферию роговицы, относительно менее эффективны, чем центральные импульсы.

Лазерная абляция с оптимизацией волнового фронта улучшает форму роговицы в послеоперационном периоде за счет учета кривизны роговицы и увеличения количества периферических импульсов; этот подход сводит к минимуму возникновение aberrаций более высокого порядка и часто приводит к улучшению качества зрения и уменьшению проблем с ночным зрением за счет сохранения более вытянутой формы роговицы. Как и при обычных процедурах, для программирования лазерной абляции, оптимизированной по

волновому фронту, используется только рефракция пациента. Эта технология напрямую не устраняет ранее существовавшие aberrации более высокого порядка; однако недавние исследования показали, что у подавляющего большинства пациентов до операции не наблюдается существенных aberrаций более высокого порядка. Преимущество этого метода также заключается в том, что он работает быстрее, чем технология, управляемая волновым фронтом, и позволяет избежать дополнительных затрат на aberrометр.

При лазерной абляции, управляемой волновым фронтом, информация, полученная с помощью aberrометра, чувствительного к волновому фронту (который количественно определяет aberrации), передается электронным способом на лечебный лазер для программирования абляции. Этот процесс отличается от процедур с использованием обычного эксимерного лазера и лазера с оптимизацией волнового фронта, при которых для программирования лазерной абляции используется только субъективная рефракция. Лазер, управляемый волновым фронтом, предназначен для лечения как aberrаций более низкого порядка (например, близорукости или дальнозоркости и/или астигматизма), так и aberrаций более высокого порядка путем применения сложных схем абляции к роговице для коррекции отклонений волнового фронта. Коррекция aberrаций более высокого порядка требует нерадиально симметричной абляции (которая часто намного меньше по величине, чем абляция, необходимая для коррекции расфокусировки и астигматизма). Разница между желаемым и фактическим волновым фронтом используется для создания трехмерной карты планируемой абляции. Необходима точная регистрация, чтобы гарантировать, что процедура абляции, действительно проводимая к роговице, соответствует намеченной схеме. Такая регистрация достигается путем использования меток на границе зрачка перед получением рисунка волнового фронта или путем регистрации радужной оболочки, которая соответствует контрольным точкам на естественном рисунке радужной оболочки, чтобы компенсировать циклоторсию и смещение центра тяжести зрачка. Затем лазер, управляемый волновым фронтом, использует систему

отслеживания зрачка, которая помогает поддерживать концентрацию во время лечения и позволяет точно подобрать индивидуальный профиль абляции.

Результаты как оптимизированной по волновому фронту, так и управляемой по волновому фронту абляции при близорукости, дальнозоркости и астигматизме превосходны: более 90% глаз достигают остроты зрения вдали без коррекции 0.5 или выше. Несмотря на то, что большинство параметров остроты зрения при обычном и индивидуальном лечении одинаковы (включая как оптимизированное по волновому фронту, так и управляемое по волновому фронту лечение), большинство недавних отчетов демонстрируют улучшение качества зрения при использовании индивидуальных профилей лечения. Результаты лечения с оптимизацией волнового фронта аналогичны результатам лечения с использованием волнового фронта для большинства пациентов, за исключением пациентов со значительными предоперационными аберрациями более высокого порядка.

Лазерная абляция с топографическим наведением

Лазеры с топографическим наведением схожи по своей концепции с лазерами с волновым фронтом, но они связывают лечение с топографией роговицы, а не с общими данными о волновом фронте. Несмотря на то, что опыт применения этих инструментов еще только начинается, они могут принести значительную пользу при лечении глаз с высокой степенью аберрации, таких как глаза, перенесшие ранее радиальную кератотомию или сквозную кератопластику.

9. Заживление ран на роговице

Все виды кераторефракционной хирургии в значительной степени зависят от заживления ран на роговице для достижения желаемых результатов. Для достижения удовлетворительных результатов необходимо либо изменить или замедлить заживление ран, либо использовать нормальное заживление ран в интересах пациента. Например, астигматическая кератотомия требует первоначального ослабления роговицы, за которым следует постоянное

заживление роговицы с заменой эпителиальных пробок коллагеном и ремоделированием коллагена для обеспечения стабильности и предотвращения длительного смещения дальнозоркости. Для проведения ФРК требуется быстрое заживление эпителия с минимальной стимуляцией нижележащих кератоцитов, чтобы избежать образования рубцов и помутнения роговицы. LASIK требует наличия неповрежденного эпителия и здорового эндотелия в начале послеоперационного периода для герметизации лоскута. Позже роговица должна зажить на периферии, чтобы закрепить лоскут на месте и избежать смещения в отдаленном периоде, минимизируя при этом неправильный астигматизм; кроме того, роговица не должна подвергаться значительному заживлению в центре, чтобы сохранить четкую зрительную ось. Помимо заживления стромы, регенерация нервов роговицы имеет решающее значение для нормальной поверхности глаза и хорошей зрительной функции. Задержка или затруднение реиннервации может привести к нарушению чувствительности роговицы и стабильности слезной пленки, а также к симптомам сухости глаз. Понимание процесса заживления ран на роговице значительно продвинулось вперед благодаря осознанию множества факторов, участвующих в каскаде событий, инициируемых повреждением роговицы. Этот каскад в некоторой степени зависит от характера повреждения. Повреждение эпителия может привести к потере нижележащих кератоцитов в результате апоптоза. Оставшиеся кератоциты реагируют на это выработкой новых гликозаминогликанов и коллагена в зависимости от длительности эпителиального дефекта и глубины повреждения стромы.

Помутнение роговицы локализуется в субэпителиальной передней строме и может сохраняться в течение нескольких лет после поверхностной абляции. Однако клинически значимое помутнение присутствует лишь в небольшом проценте глаз. Тенденция к образованию помутнения усиливается при более глубоких абляциях, повышенной неровности поверхности и длительном отсутствии эпителия. Несмотря на потерю слоя Боумена, образуется нормальное или даже повышенное количество гемидесмосом и фиксирующих

фибрилл, которые прикрепляют эпителий к строме. Не утихают споры о пользе различных препаратов для ускорения заживления ран при поверхностной аблации.

Предполагается, что витамин С играет важную роль в защите роговицы от повреждения ультрафиолетовым излучением эксимерного лазера, но до сих пор не проводилось рандомизированных клинических исследований. Различные факторы роста, которые, как было обнаружено, способствуют заживлению ран после ФРК, включая трансформирующий фактор роста p, могут быть полезны в будущем. После LASIK, по-видимому, не происходит образования помутнения на стыке центрального лоскута, что может быть связано либо с отсутствием значительного повреждения эпителия и последующей субклеточной передачи сигналов, либо с сохранением некоторых неповрежденных поверхностных нейронов. Процедура LASIK показывает очень мало признаков долгосрочного заживления между поврежденными лоскутом истромой и только типичное заживление стромы в периферической ране. Пластиинки первоначально удерживаются на месте благодаря отрицательному давлению стромы, создаваемому эндотелиальными клетками, при поддержке неповрежденной поверхности эпителия. Даже спустя годы после лечения лоскут может быть поднят, что указывает на то, что заживление происходит лишь в минимальной степени. Лоскуты LASIK также могут смещаться вследствие травмы спустя много лет после операции.

10. Предоперационная подготовка пациента перед лазерной коррекцией зрения

Предоперационная оценка пациента является одним из наиболее важных шагов в достижении успешных результатов после рефракционной хирургии. Именно во время диагностики перед операцией хирург определяет, является ли пациент подходящим кандидатом на рефракционную хирургию или нет.

Важные этапы предоперационной оценки рефракционной хирургии включают: анамнез пациента, манифестные и циклоплегические рефракции;

полное офтальмологическое обследование, включая исследование на щелевой лампе и осмотр глазного дна, измерение внутриглазного давления (ВГД) и оценка кератотопограммы. Если пациент является подходящим кандидатом на операцию, хирург должен обсудить с пациентом преимущества, риски и альтернативы в рамках процесса информированного согласия.

Поскольку точные результаты тестов имеют решающее значение для успеха рефракционной хирургии, рефракционный хирург должен внимательно контролировать сотрудников офиса, которые выполняют различные тесты (например, топографию роговицы или пахиметрию) во время предоперационной оценки. Аналогично, хирург должен убедиться, что инструменты, используемые при оценке, правильно откалиброваны, поскольку неправильно откалиброванные инструменты могут привести к получению ошибочных данных и плохим хирургическим результатам.

Ожидания пациентов

Одним из наиболее важных аспектов всей оценки является оценка ожиданий пациента. Несоответствующие ожидания пациентов, вероятно, являются основной причиной неудовлетворенности пациентов после рефракционной хирургии. Результаты могут быть именно такими, как ожидал хирург, но, если эти ожидания не были должным образом доведены до пациента до операции, пациент может быть разочарован.

Хирург должен изучить ожидания, связанные как с рефракционным результатом (например, некорrigированной остротой зрения [Острота зрения вдали без коррекции (UCVA), так и с точки зрения рефракционного результата.

Медикаментозная циклоплегия — важная процедура, которая проводится в рамках определения истинной рефракции глаза для расслабления цилиарной мышцы. Между моментом расширения глаз пациента циклоплегическими глазными каплями и измерением рефракции должно пройти достаточное время. Тропикамид 1% или циклопентолат 1% являются наиболее часто используемыми циклоплегическими каплями. При полной циклоплегии рекомендуется подождать не менее 30 минут (при использовании тропикамида,

1%) или 60 минут (при использовании циклопентолата, 1%). Циклоплегическая рефракция должна очищать сферу, от явной рефракции, как это делается для нейтрализации аккомодации.

Когда разница между манифестной и циклоплегической рефракцией велика (например, $>0,50$ Д), постциклоплегическая манифестная рефракция может быть полезна для перепроверки оригинала. У пациентов с близорукостью такая большая разница часто вызвана чрезмерной явной рефракцией. У пациентов с дальнозоркостью может присутствовать значительная латентная дальнозоркость, и в этом случае хирург и пациент должны точно решить, какую степень дальнозоркости лечить. Если имеется значительная латентная дальнозоркость, в течение нескольких недель или месяцев до операции можно носить очки-плюс или корректирующие контактные линзы, чтобы уменьшить послеоперационную коррекцию, которая может возникнуть в результате лечения истинной рефракции.

Рефракционные хирурги имеют свои предпочтения относительно программирования лазера с использованием манифестной или циклоплегической рефракции, исходя из их индивидуальной номограммы и техники, а также возраста пациента. Многие хирурги планируют ввод лазера в соответствии с явной рефракцией, особенно для молодых пациентов, если эта рефракция была выполнена с использованием тщательной техники «нажатие-плюс».

11. Осмотр глазного дна

После выраженной рефракции (но до введения расширяющих глазных капель) проводят осмотр наружного и переднего отрезка глаза. Особое внимание следует уделить осмотру зрачков. Размер зрачка следует оценивать при ярком освещении комнаты и при тусклом освещении, а хирург должен искать аfferентный дефект зрачка. Доступны различные методы измерения размера зрачка при тусклом освещении, включая использование карты для близи с размером зрачка по краю (при фиксации пациента на расстоянии) или

пупиллометра. Измерение тусклого света следует проводить с использованием количества света, попадающего в глаз, близкого к количеству, попадающему во время обычной деятельности в ночное время, например, вождения в ночное время; это не обязательно следует делать в совершенно темных условиях.

Измерения зрачков должны быть максимально стандартизированы. Измерение диаметра зрачка при слабом освещении до операции и использование этого измерения для руководства хирургическим вмешательством остается спорным подходом. Общепринятое мнение предполагает, что оптическая зона должна быть больше диаметра зрачка, чтобы свести к минимуму нарушения зрения, такие как блики и ореолы. Однако недавние данные не подтверждают связь между предоперационным размером зрачка и увеличением частоты возникновения проблем с бликами или ореолами через 1 год после операции. Таким образом, неясно, можно ли использовать размер зрачка для прогнозирования того, у каких пациентов с большей вероятностью будут возникать такие симптомы. Однако необходимо тщательное и документированное обсуждение с пациентом. Размер эффективной оптической зоны, который связан с профилем абляции и уровнем ошибки рефракции, может быть более важным для минимизации визуальных побочных эффектов, чем диаметр зрачка при слабом освещении.

Когда их спрашивают, пациенты часто отмечают, что у них были блики в условиях слабого освещения еще до прохождения рефракционной хирургии. Таким образом, пациентам полезно осознавать свои симптомы бликов и ореолов до операции, поскольку эти знания могут свести к минимуму послеоперационные проблемы или недоразумения.

Подвижность глаз, поля зрения и анатомия глаза

Перед операцией следует тщательно оценить подвижность глаз. У пациентов с бессимптомной тропией или форией симптомы могут развиться после рефракционной хирургии, если изменение рефракции приводит к нарушению двигательного статуса. Если в анамнезе имеется косоглазие или беспокойство по поводу выравнивания глаз после операции, перед операцией

следует рассмотреть возможность использования контактных линз. Сенсорно-моторную оценку можно провести до операции, если косоглазие является проблемой. Конfrontационные полевые тесты следует проводить в рамках базового офтальмологического обследования.

Также следует оценить общую анатомию орбит. Пациенты с небольшими глазными трещинами и/или большими бровями не могут быть идеальными кандидатами для LASIK, поскольку может быть неадекватная экспозиция и трудности с достижением аспирации с помощью микрокератома или фемтосекундного лазерного аспирационного кольца.

Также могут наблюдаться утончение и утолщение. Кератоконус обычно является противопоказанием к инцизионной или абляционной рефракционной хирургии. Эндотелий следует тщательно обследовать на наличие признаков гуттаты роговицы и других дистрофий. Плохие визуальные результаты были зарегистрированы у пациентов с крутой роговицей и семейным анамнезом дистрофии Фукса. Отек роговицы обычно считается противопоказанием к рефракционной хирургии. Отложения гранулярной дистрофии роговицы и авеллинской дистрофии могут существенно увеличиваться в размерах и количестве на границе лоскута после LASIK, что приводит к ухудшению зрения.

Также следует осмотреть переднюю камеру, радужную оболочку и хрусталик. Небольшая глубина передней камеры может быть противопоказанием для установки некоторых факичных интраокулярных линз (ФИОЛ). Тщательная оценка хрусталика на предмет ясности необходима как в нерасширенном, так и в расширенном состоянии, особенно у пациентов старше 50 лет.

Хирургам следует опасаться прогрессирующей близорукости вследствие ядерного склероза. Пациентов с легкими и визуально незначительными изменениями хрусталика следует проинформировать об этих результатах и предупредить, что изменения могут стать более значительными в будущем, независимо от рефракционной хирургии. Им также следует сообщить, что

расчеты мощности ИОЛ могут быть менее точными, если они выполняются после кераторефракционной операции. У пациентов с умеренным помутнением хрусталика удаление катаракты может быть лучшей формой рефракционной хирургии.

Внутриглазное давление

Внутриглазное давление (ВГД) следует проверять после того, как выявлена явная рефракция и выполнены измерения топографии роговицы. Пациентов с глаукомой (см. главу 10) следует информировать о том, что во время некоторых процедур рефракционной хирургии ВГД резко повышается, что потенциально усугубляет повреждение зрительного нерва. Кроме того, топические кортикостероиды используются после большинства процедур рефракционной хирургии, а после процедуры поверхностной абляции их можно применять в течение нескольких месяцев. Длительное применение топических кортикостероидов может вызвать заметное повышение ВГД у лиц, реагирующих на кортикостероиды.

Осмотр щелевой лампой

Необходимо провести полное обследование век и переднего отрезка глаза с помощью щелевой лампы. Конъюнктиву следует исследовать специально на предмет рубцевания, конъюнктивохалазиса,

или хемоз, который может вызвать проблемы с всасыванием микрокератома. Роговицу следует оценить на наличие поверхностных аномалий, таких как уменьшение времени разрыва слезы (рис. 4) и точечные эпителиальные эрозии. Значительный блефарит (рис. 5), мейбомит и синдром сухого глаза следует лечить до рефракционной операции, поскольку они связаны с усилением послеоперационного дискомфорта и снижением зрения, а симптомы сухого глаза часто усиливаются в послеоперационном периоде. Требуется тщательное обследование на предмет дистрофии эпителиальной базальной мембранны, поскольку ее наличие увеличивает риск осложнений лоскута во время LASIK. Пациенты с дистрофией эпителиальной базальной

мембранны не являются идеальными кандидатами для LASIK и, возможно, лучшими кандидатами для поверхностной абляции, поскольку удаление аномального эпителия может быть паллиативным средством. Также могут обнаруживаться признаки кератоконуса, такие как истончение и утолщение роговицы. Кератоконус обычно является противопоказанием к инцизионной или абляционной рефракционной хирургии. Эндотелий следует тщательно исследовать на наличие признаков гуттаты роговицы и других дистрофий. Плохие визуальные результаты были зарегистрированы у пациентов с гуттатой роговицы и семейным анамнезом дистрофии Фукса. Отек роговицы обычно считается противопоказанием к рефракционной хирургии. Отложения гранулярной дистрофии роговицы и авеллинской дистрофии могут существенно увеличиваться в размерах и количестве на границе лоскута после LASIK, что приводит к ухудшению зрения.

Также следует осмотреть переднюю камеру, радужную оболочку и хрусталик. Небольшая глубина передней камеры может быть противопоказанием для установки некоторых факичных интраокулярных линз (ФИОЛ). Тщательная оценка хрусталика на предмет ясности необходима как в нерасширенном, так и в расширенном состоянии, особенно у пациентов старше 50 лет.

возраста. Хирургам следует опасаться прогрессирующей близорукости вследствие ядерного склероза. Пациентов с легкими и визуально незначительными изменениями хрусталика следует информировать об этих результатах и информировать о том, что изменения могут стать более значительными в будущем, независимо от рефракционной хирургии. Им также следует сообщить, что расчеты мощности ИОЛ могут быть менее точными, если они выполняются после кераторефракционной операции. У пациентов с умеренным помутнением хрусталика удаление катаракты может быть лучшей формой рефракционной хирургии.

Исследование расширенного глазного дна

Перед рефракционной операцией проводится расширенное исследование глазного дна, чтобы убедиться, что задний сегмент в норме. Особое внимание следует уделять макуле, зрительному нерву (глаукома, друзы зрительного нерва) и периферической сетчатке (разрывы, отслойки сетчатки). Пациенты и хирурги должны понимать, что глаза с высокой степенью близорукости естественным образом подвергаются повышенному риску отслоения сетчатки, не связанного с рефракционной хирургией. Пациент должен быть осмотрен специалистом по сетчатке, если обнаружена какая-либо патология сетчатки.

Топография роговицы

Необходимо оценить кривизну роговицы. Хотя показания ручной кератометрии могут быть весьма информативными, они в значительной степени заменены компьютерным топографическим анализом роговицы. Для анализа кривизны роговицы доступно несколько различных методов, включая топографию на основе диска Плацидо, сканирование щелевой лучевой визуализацией, вращающуюся фотографию Шаймпфлюга, высокочастотный ультразвук и методы оптической когерентной томографии (ОКТ). Эти методы позволяют получить изображение роговицы и получить цветные карты, показывающие силу и/или высоту роговицы. Пациенты с визуально значимым нерегулярным астигматизмом, как правило, не являются хорошими кандидатами на рефракционную хирургию роговицы. Ранний кератоконус, пеллюцидная краевая дегенерация (рис. 6) и деформация контактных линз являются потенциальными причинами визуально значимого неравномерного астигматизма. Неправильный астигматизм, вторичный по отношению к деформации контактных линз, обычно проходит со временем, хотя на это могут уйти месяцы. Прежде чем приступить к какой-либо рефракционной хирургии, необходимо провести серийные топографические исследования роговицы, чтобы задокументировать разрешение визуально значимого неравномерного астигматизма.

Необычно крутая или необычно плоская роговица может увеличить риск неудачного создания лоскута с помощью микрокератома. Создание

фемтосекундного лазерного лоскута теоретически может избежать этих рисков. Если кератометрические или топографические измерения роговицы выявляют величину или ось астигматизма, которые значительно отличаются от значений, определенных с помощью рефракции, следует повторно проверить точность рефракции. Лентикулярный астигматизм или задняя кривизна роговицы могут объяснять разницу между рефракционным и кератометрическим или топографическим астигматизмом. Большинство хирургов будут лечить степень и ось рефракционного астигматизма, если пациент понимает, что после любой будущей операции по удалению катаракты некоторый астигматизм может появиться снова (после устранения астигматизма, вызванного естественным хрусталиком).

Пахиметрия

Толщина роговицы является важным критерием для определения адекватности кераторефракционной хирургии. Пахиметрию роговицы обычно измеряют с помощью ультразвука; однако некоторые системы топографии роговицы, не использующие диск Плацидо, и системы ОКТ также можно использовать, если они правильно откалиброваны. Некоторые системы предоставляют карту, показывающую относительную толщину роговицы в различных местах. Точность пахиметрических измерений сканирующих щелевых систем заметно снижается на глазах, перенесших кераторефракционную операцию. Поскольку самая тонкая часть роговицы обычно расположена в центре, всегда следует проводить центральное измерение. Толщина роговицы является важным фактором при определении того, является ли пациент кандидатом на рефракционную хирургию, и выборе оптимальной рефракционной процедуры. В исследовании 896 глаз, перенесших LASIK, средняя толщина центральной части роговицы составила 550 ± 33 мкм (диапазон 472–651 мкм). Было высказано предположение, что необычно тонкая роговица (более 2 стандартных отклонений) указывает на то, что пациент не идеален для какой-либо рефракционной хирургии. Многие хирурги не рассматривают рефракционную операцию LASIK, если толщина центральной

части роговицы менее 480 мкм, даже если расчетная толщина остаточного стромального слоя (RSB) превышает 250 мкм. Если при выполнении LASIK образуется относительно тонкий RSB (например, около 14:00), то будущая операция по увеличению толщины, которая еще больше истончит стромальный слой, может оказаться неэффективной.

быть возможным. Если есть подозрение, что целостность эндотелия является причиной аномально толстой роговицы, зеркальная микроскопия может быть полезна для оценки здоровья эндотелия.

12. Расчет остаточной толщины стромального слоя после LASIK

Ламеллярная лазерная рефракционная процедура, такая как LASIK, включает создание лоскута роговицы, абляцию стромального ложа и замену лоскута. Прочность и целостность роговицы в послеоперационном периоде во многом зависят от толщины RSB. Толщина RSB рассчитывается путем вычитания суммы толщины лоскута и рассчитанной глубины лазерной абляции из предоперационной толщины роговицы. Например, если толщина роговицы в центре равна 550 пм, толщина лоскута оценивается в 140 пм, а глубина абляции для рефракции пациента составляет 50 пм, RSB будет 550 пм - (140 пм + 50 пм). = 360 вечера. Когда хирург определяет RSB, количество удаленной ткани должно основываться на фактической предполагаемой рефракционной коррекции, а не на скорректированном по номограмме числе, введенном в лазерный компьютер. Например, если у пациента миопия -10,00 Д, которая подвергается полной коррекции, объем удаленной ткани составляет 128 мкм для зоны абляции 6,5 мм для широколучевого лазера. Даже если хирург обычно убирает 15% рефракции при обычной абляции и вводит это число в лазерный компьютер, будет удалено примерно 128 мкм ткани, а не 85% от 128 мкм.

Большинство хирургов считают, что RSB должен быть не ниже 14:50. Другие хотят, чтобы RSB составлял более 50% от исходной толщины роговицы. Если расчет показывает, что RSB тоньше, чем хотелось бы, LASIK может быть не лучшим хирургическим вариантом. В этих случаях процедура

поверхностной абляции может быть лучшим вариантом, поскольку в послеоперационном периоде RSB становится более толстым.

Обсуждение результатов и информированное согласие

После завершения оценки хирург должен проанализировать информацию и обсудить результаты с пациентом. Если пациент является кандидатом на рефракционную хирургию, обсуждение должно включать риски и преимущества медицинских и хирургических альтернатив. (В Таблице 2-2 представлен обзор наиболее распространенных процедур рефракционной хирургии, их типичных диапазонов рефракции и их ключевых ограничений.) Важными аспектами этого обсуждения являются ожидаемые результаты остроты зрения в зависимости от величины аномалии рефракции (включая необходимость измерения расстояния) и/или очки для чтения, вероятность необходимости улучшения, а также то, проводится ли максимальное хирургическое вмешательство во время первоначальной процедуры), риск снижения BCVA или серьезной потери зрения, неблагоприятные последствия бликов и ореолов или сухости глаз, изменение качества зрения и редкая необходимость ревизии лоскута роговицы (например, при смещении лоскута, значительных стриях или врастании эпителия). Пациент должен понимать, что лазерная абляция может быть прервана, если имеется неполный, десентрированный лоскут или лоскут с петлей. Плюсы и

Следует также обсудить минусы операции на одном глазу по сравнению с операцией на обоих глазах в один и тот же день, и предоставить пациентам возможность решить, что для них лучше. Хотя последствия двусторонней инфекции выше при двустороннем хирургическом вмешательстве, серийное одностороннее хирургическое вмешательство может привести к временной анизометропии и является более неудобным. Также следует обсудить нехирургические альтернативы, такие как очки и контактные линзы.

Приложение - рисунки

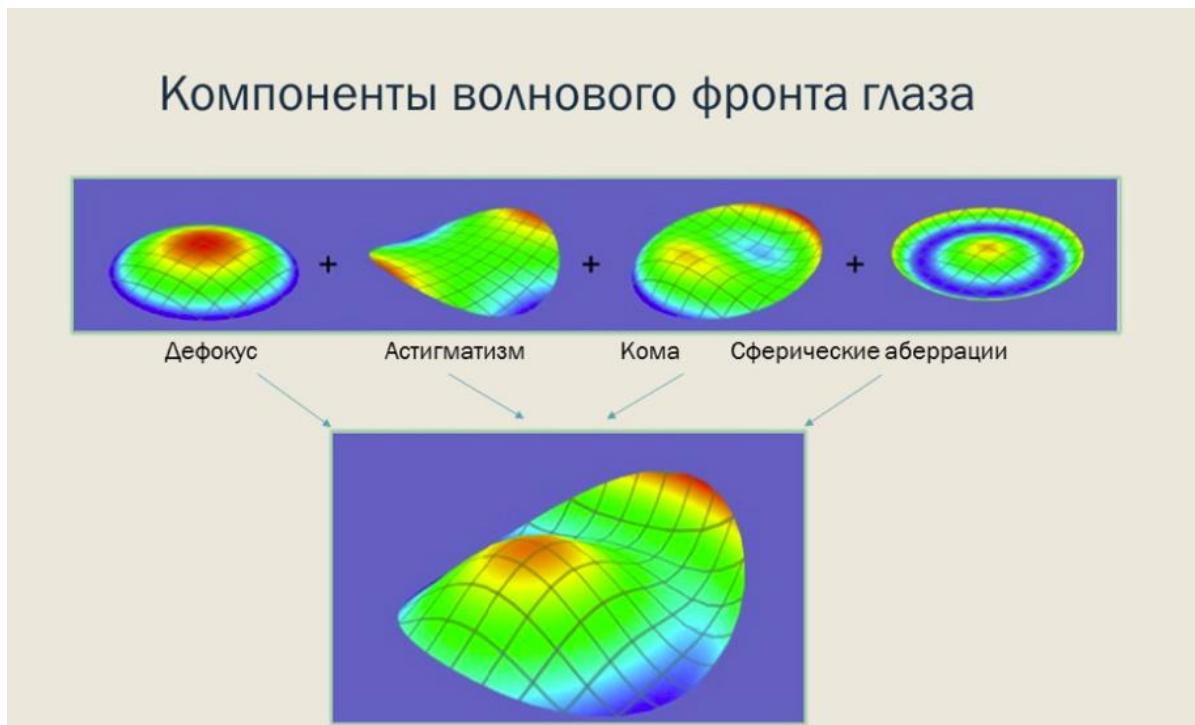


Рисунок -1 Компоненты волнового фронта глаза

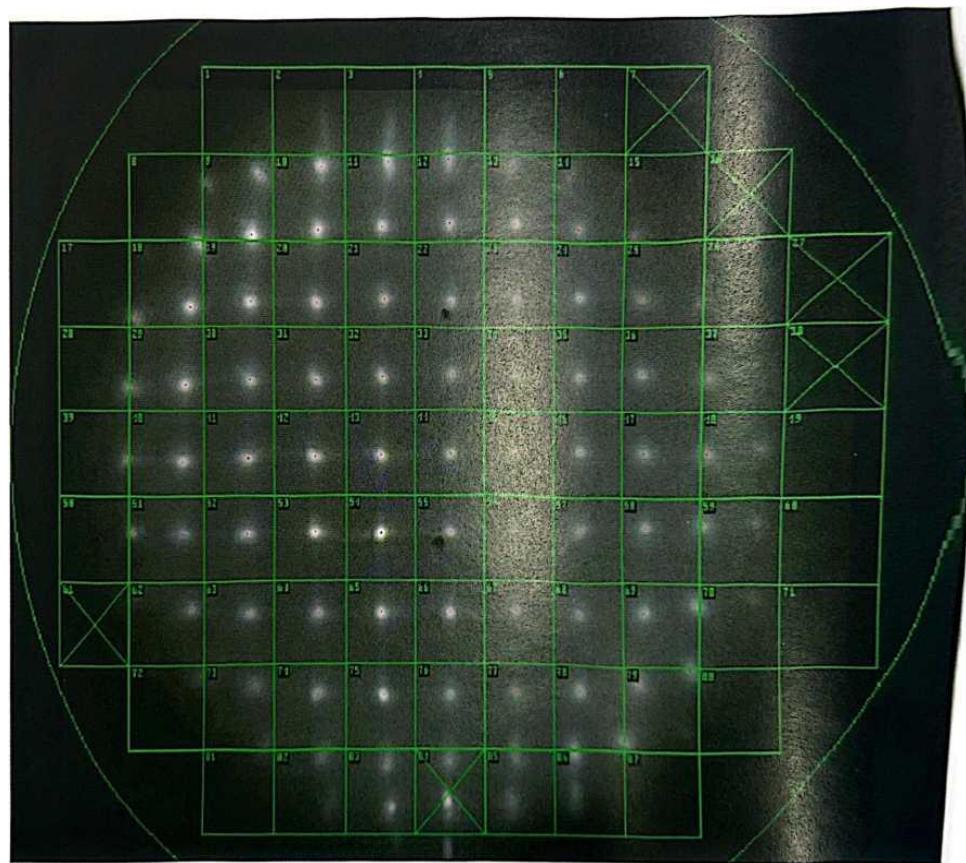


Рисунок 2 - Пример изображения, формируемое после прохождения волнового фронта через решетку линз. Зеленая решетка наложения зарегистрирована и соответствует каждой линзе в массиве.



Рисунок 3 – Виды топографии роговицы

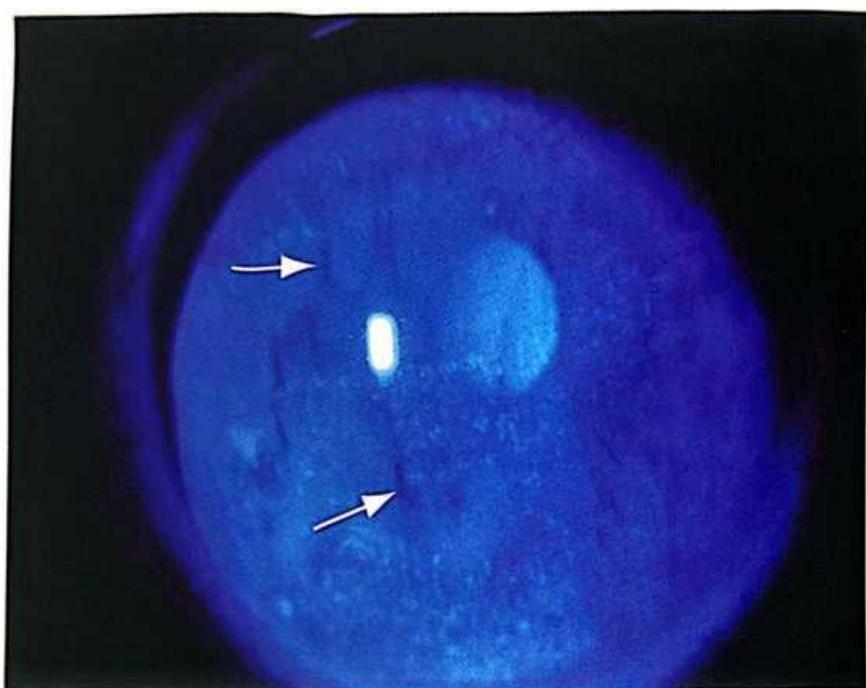


Рисунок 4. Фотография, сделанная щелевой лампой, демонстрирует уменьшение времени отрыва слезы. После закапывания флуоресцеинового красителя пациент держит глаз открытым в течение 10 секунд и исследует слезную пленку кобальтово-синим светом. На этом изображении видны разрывы или сухие пятна слезной пленки (стрелки). Встречаются также точечные эпителиальные эрозии. (С разрешения Кристофера Дж. Рапуано, доктора медицинских наук)



Рисунок – 5 Пример блефарита. На этом снимке пациента с себорейным блефаритом показано умеренное образование корок у основания ресниц (Refractive Surgery Last major revision 2017-2018)

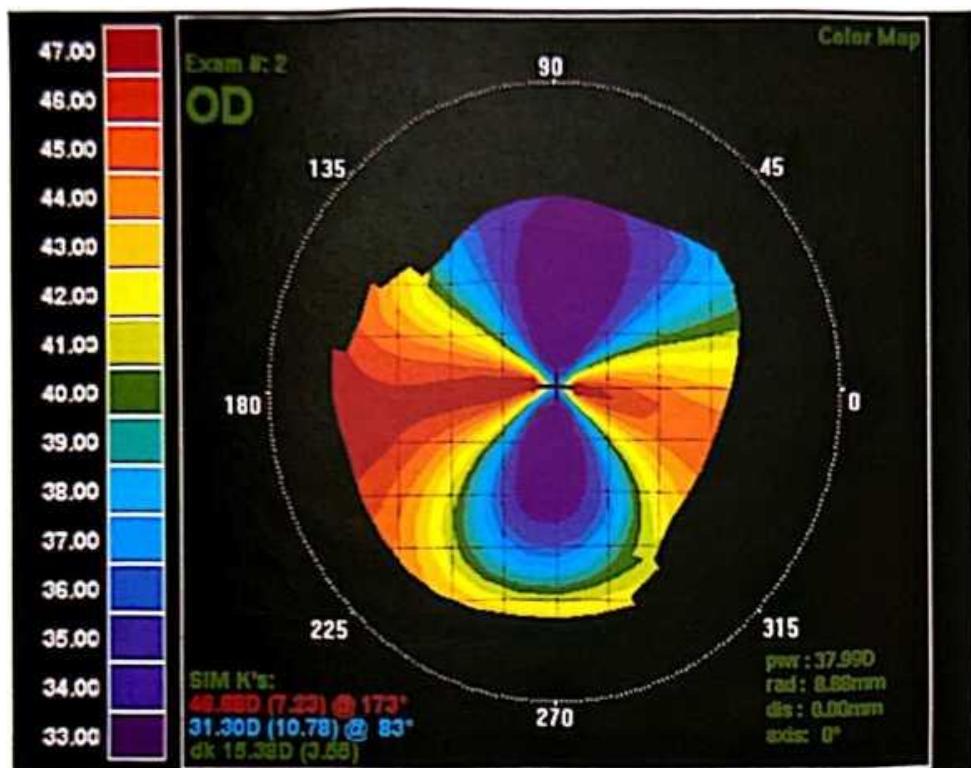


Рисунок – 6 Кератотопограмма роговицы типичного нерегулярного астигматизма, встречающегося в глазах с пеллюцидной краевой дегенерацией (Refractive Surgery Last major revision 2017-2018)

Тесты по теме «Рефракции и аккомодации»

1. Как называется нормальная соразмерная рефракция глаза?

- а) миопия
- б) гиперметропия
- в) астигматизм
- г) эмметропия**
- д) анизометропия

2. Рефракцией оптической системы называется:

- а) состояние, тесно связанное с конвергенцией
- б) преломляющая сила оптической системы, выраженная в диоптриях**
- в) способность оптической системы нейтрализовать проходящий через нее свет
- г) отражение оптической системой падающих на нее лучей
- д) система линз, расположенных на определенном расстоянии друг от друга

3. Клиническая рефракция — это:

- а) соотношение между оптической силой и длиной оси глаза**
- б) преломляющая сила оптической системы, выраженная в диоптриях
- в) радиус кривизны роговицы
- г) преломляющая сила хрусталика
- д) главные плоскости оптической системы

4. Различают следующие виды клинической рефракции:

- а) дисбинокулярную и обскурационную
- б) истерическую и анизометрическую
- в) роговичную и хрусталиковую
- г) витреальную и ретинальную
- д) статическую и динамическую**

5. Статическая рефракция отражает:

- а) преломляющую силу роговицы
- б) получение изображения на сетчатке в состоянии покоя аккомодации**
- в) преломляющую силу хрусталика
- г) преломляющую силу камерной влаги
- д) преломляющую силу оптической системы глаза относительно сетчатки при действующей аккомодации

6. Под динамической рефракцией понимают:

- а) преломляющую силу оптической системы глаза относительно сетчатки при действующей аккомодации**
- б) преломляющую силу роговицы
- в) преломляющую силу камерной влаги
- г) радиус кривизны роговицы
- д) радиус кривизны хрусталика

7. Исследование рефракции глаза до применения циклоплегических средств у детей и подростков включает:

- а) определение остроты зрения каждого глаза**
- б) скиаскопию (ориентировочную)**
- в) проведение пробы с положительными и отрицательными линзами**

8. Исследование рефракции глаза в условиях циклоплегии включает:

- а) скиаскопию, а при необходимости рефрактометрию и офтальмометрию**
- б) определение остроты зрения каждого глаза без диафрагмы с линзами, полностью корrigирующими аметропию**
- в) проведение проб, уточняющих силу и ось цилиндрического стекла**

9. Рефрактометр служит для:

- а) объективного определения рефракции глаза**
- б) определения сферического и астигматического компонентов рефракции**
- в) установления главных сечений астигматичного глаза**

10. Аккомодация — это:

- а) статическая рефракция**
- б) преломляющая сила роговицы**
- г) приспособление зрительного аппарата к рассматриванию предметов на различных расстояниях от глаза**

11. Физиологический механизм аккомодации состоит в том, что:

- а) цилиарная мышца сокращается, расслабляются зонулярные волокна**
- б) ослабляется степень натяжения капсулы хрусталика**
- в) хрусталик становится более выпуклым и сила его преломления увеличивается**

12. Какой из перечисленных методов может быть использован врачом общей практики для определения вид и степени клинической рефракции глаза?

- а) субъективный (по оценке остроты зрения с корrigирующими стеклами)**
- б) скиаскопия**
- в) рефрактометрия**
- г) все перечисленное**
- д) дуохромный тест**

13. Дальнейшая точка ясного видения при эмметропии находится в:

- а) 5 м от глаза**
- б) 4 м от глаза**
- в) 3 м от глаза**
- г) бесконечности**
- д) позади глаза**

14. Дальнейшая точка ясного видения при миопии находится:

- а) в бесконечности
- б) на сетчатке
- в) перед глазом на конечном расстоянии**
- г) в области роговицы
- д) позади глаза

15. Различают следующие виды астигматизма:

- а) простой, сложный, смешанный**
- б) прямой, обратный, с косыми осями**
- в) правильный, неправильный, роговичный, хрусталиковый**

16. Операцию хирургической коррекции миопии можно рекомендовать, если имеется:

- а) врожденная медленно прогрессирующая миопия до 3,0 дптр
- б) приобретенная миопия средней степени с темпом прогрессирования не более 1,0 дптр в год
- в) приобретенная миопия средней степени с темпом прогрессирования более 1,0 дптр в год
- г) миопия высокой степени с темпом прогрессирования более 1,0 дптр в год
- д) стационарная на протяжении 3-лет миопия средней или высокой степени**

17. Что происходит с общей рефракцией глаза при включении механизма аккомодации для близи?

- а) общая рефракция глаза уменьшается
- б) общая рефракция глаза усиливается**
- в) общая рефракция глаза остается неизменной только у эмметропов
- г) общая рефракция глаза остается неизменной только у миопов
- д) общая рефракция глаза остается неизменной только у гиперметропов

18. Физиологический механизм аккомодации состоит в том, что:

- а) цилиарная мышца сокращается, расслабляются зонулярные волокна
- б) ослабляется степень натяжения капсулы хрусталика
- в) хрусталик становится более выпуклым, и сила его преломления увеличивается
- г) все перечисленное**

19. Какой методом коррекции зрения подойдет пациентам с толщиной роговицы 485 мкм?

- а) LASIK**
- б) ФРК
- в) Femto Lasik**

20. Отрицательная часть относительной аккомодации в среднем равна:

- а) 1,0 диоптрии
- б) 2,0 диоптриям
- в) 3,0 диоптриям**
- г) 4,0 диоптриям
- д) 5,0 диоптриям

21. Положительная часть относительной аккомодации у школьников

в среднем равна:

- а) 1,0-2,0 диоптрии
- б) 3,0-5,0 диоптрий**
- в) 6,0-8,0 диоптрий
- г) 9,0-10,0 диоптрий
- д) 11,0-12,0 диоптрий

Список литературы

1. Аккомодация: Руководство для врачей / Под ред. Л.А. Катаргиной. – Москва: Апрель, 2012. – 136 с., ил. ISBN 978-5-905212-16-1.
2. Глазные болезни. Учебник для студентов медицинских вузов. 2-е изд., перераб. и доп. / С.Н. Федоров, Н.С. Ярцева, А.О. Исманкулов. - Москва, 2005. - 440 с.
3. Жигальская Т.А., Крылова А.А., Кривошеина О.И. Оптическая система глаза, рефракция и аккомодация: учебное пособие. - Томск: Изд-во Сиб ГМУ, 2023. - 88 с.
4. Кански Джек Д. Клиническая офтальмология: систематизированный подход. – Пер. с англ. – 2-е изд./Под ред. д-ра мед. наук, проф. В.П. Еричева. – Wroclaw: Elsevier Urban & Partner, 2009. – 944 с., ил.
5. Миопия. Клинические рекомендации 2020. – Москва, Общероссийская общественная организация "Ассоциация врачей-офтальмологов", 2020. - 49 с.
6. Моширфар М., Фейз В., Фейлмайер М.Р., Канг ПК. Лазерный кератомилез *in situ* у пациентов с каплевидным поражением роговицы и семейным анамнезом эндотелиальной дистрофии Фукса // Ж. Хирургия рефракции катаракты. – 2005. - № 31 (12)ю – С. 2281–2286.
7. Офтальмология: национальное руководство / под ред. С.Э. Автисова, Е.А. Егорова, Л.К. Мошетовой, В.В. Нероева, Х.П. Тахчиди. - Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2008. - 944 с.
8. Поп М., Пайетт Ю. Факторы риска жалоб на ночное зрение после LASIK по поводу близорукости // Офтальмология. – 2004. - № 111 (1). – С. 3-10.
9. Учебно-методическое пособие по дисциплине Офтальмология, Стоматология / Гаврилова Н. А., Гаджиева Н.С., Костина В. А., Иванова З. Г., Хватов В. Н., Верзин Р. А., Комова О.Ю. (под ред. Мещеряковой М. А.). - Москва, 2016. - 77 с.
10. Шалхорн СК, Каупп С.Э., Танзер Диджей, Тидвелл Дж., Лоран Дж., Бурк Л.Б. Размер зрачка и качество зрения после LASIK // Офтальмология. 2003. - № 10 (8). – С. 1606-1614.
11. Эдвардс Дж.Д., Бурка И.М., Бауэр К.С., Штуцман Р.Д., Седик Д.А., Рабин Дж.К. Влияние тартрата бримонидина 0,15% на трудности ночного видения и контрастность после рефракционной хирургии // Ж. Хирургия рефракции катаракты. - 2008. - №34 (9). – С. 1538–1541.

12. Alio J.L., Grzybowski A., El Aswad A, Romaniuk D. Refractive lens exchange // *Surv. Ophthalmol.* - 2014. - V. 59 (6). - P. 579-598.
13. Ambrosio R.Jr, Alonso R.S., Luz A., Coca Velarde L.G. Corneal-thickness spatial profile and corneal-volume distribution: tomographic indices to detect keratoconus // *J. Cataract. Refract. Surg.* - 2006. - V. 32. - P. 1851-1859.
14. Chan A., Manche E.E. Effect of preoperative pupil size on quality of vision after wavefront- guided LASIK // *Ophthalmology*. - 2011. - V. 118 (4). - P. 736-741.
15. Dupp W.J Jr., Wilson S.E. Biomechanics and wound healing in the cornea // *Exp. Eye. Res.* - 2006. - V. 83 (4). - P. 709-720.
16. Holland S., Lin D.T.C., Tan J.C. Topography-guided laser refractive surgery // *Curr. Opin. Ophthalmol.* - 2013. - V. 24 (4). - P. 302-309.
17. Majmudar P.A., Schallhorn S.C., Cason J.B. et al. Mitomycin-C in corneal surface excimer laser ablation techniques: a report by the American Academy of Ophthalmology // *Ophthalmology*. - 2015. - V. 122 (6). - P. 1085-1095.
18. Schmidt G.W., Yoon M., McGwin G., Lee P.P., McLeod S.D. Evaluation of the relationship between ablation diameter, pupil size, and visual function with vision-specific quality-of-life measures after laser in situ keratomileusis // *Arch. Ophthalmol.* - 2007. - V. 125 (8). - P. 1037-1042.
19. Tae-im Kim, Terry Kim, Sun Woong Kim, Eung Kweon Kim Comparison of corneal deposits after LASIK and PRK in eyes with granular corneal dystrophy type II (Сравнение роговичных отложений после ЛАСИК и ФРК на глазах с зернистой дистрофией роговицы II типа) // *J. Refract. Surg.* - 2008. - V. 24 (4). - P. 392-395.

Содержание

	Стр.
Введение	4
1. Рефракционная хирургия	5
2. Роговица глаза	7
3. Аномалия рефракции: Оптические принципы и анализ волнового фронта	8
4. Биомеханика роговицы	13
5. Визуализация роговицы для кераторефракционной хирургии	14
6. Топография роговицы	15
7. Последствия кераторефракционной хирургии для роговицы	23
8. Хирургические методы лечения	24
9. Заживление ран на роговице	32
10. Предоперационная подготовка пациента перед лазерной коррекцией зрения	35
11. Осмотр глазного дна	37
12. Расчет остаточной толщины стромального слоя после LASIK	44
Приложение – рисунки	46
Тесты по рефракции и аккомодации	49
Список литературы	52

