

Эльсангахави Ахмед Авад Абдельхамид

**БИОМЕТРИЧЕСКИЕ И БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
РАДУЖНОЙ ОБОЛОЧКИ ГЛАЗА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ
КОНФИГУРАЦИЯХ УГЛА ПЕРЕДНЕЙ КАМЕРЫ
(КЛИНИКО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ)**

3.1.5. Офтальмология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата медицинских наук

Диссертационная работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Научно-исследовательский институт глазных болезней»

Научный руководитель:

доктор медицинских наук

Воронин Григорий Викторович

Официальные оппоненты:

Арутюнян Лусине Леоновна, доктор медицинских наук, ООО "Глазной центр «Восток-Прозрение»", заведующая диагностическим отделением

Лоскутов Игорь Анатольевич, доктор медицинских наук, ГБУЗ МО "Московский областной научно-исследовательский клинический институт имени М.Ф. Владимирского", руководитель офтальмологического отделения

Ведущая организация:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова» Министерства здравоохранения РФ

Защита состоится 24 января 2022 г. в 14-00 на заседании диссертационного совета 24.1.174.01 при Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Научно-исследовательский институт глазных болезней» по адресу: 119021, Москва, ул. Россолимо, д. 11, корп. А, Б.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте www.niigb.ru Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт глазных болезней».

Автореферат диссертации разослан «_____» _____ 2021 г.

Ученый секретарь диссертационного совета

доктор медицинских наук

Иванов М.Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы и степень ее разработанности

Глаукома занимает второе место в структуре причин инвалидности и слепоты (Аветисов С.Э. с соавт., 2012; Егоров Е. А. с соавт., 2019; Еричев В. П., 2000; Рао А., с соавт., 2013). Закрытоугольная глаукома составляет 37—40% всех случаев заболеваемости первичной глаукомой (Napier M.L. с соавт., 2018; Lim D. с соавт., 2017).

Закрытие угла передней камеры (УПК) при глаукоме представляет собой как диагностические, так и терапевтические проблемы. Это гетерогенная патология со множественными механизмами развития, которая может проявляться либо как неотложная ситуация с острым закрытием УПК, либо хронически при постепенном повышении внутриглазного давления (ВГД). Основным патогенетическим звеном развития первичной закрытоугольной глаукомы (ПЗУГ) является блокада УПК корнем радужки (Егоров Е. А. с соавт., 2019; Ермолаев А.П., 2013; Lowe R.F., 1970; Sun X. с соавт., 2017).

Получить информацию о состоянии структур переднего сегмента глаза, а также оценить биометрические параметры радужной оболочки в норме и при глаукоме возможно с применением оптической когерентной томографии (ОКТ) (Aptel F. с соавт., 2012; Han S. с соавт., 2014). К настоящему времени в литературе описаны немногочисленные исследования, посвященные анализу механизмов закрытия УПК, преимущественно при узкой конфигурации в норме и при ПЗУГ у представителей монголоидной расы (Aung T. с соавт., 2001; Blondeau P. с соавт., 2011; Sidhartha E. с соавт., 2014). Большинство работ объединяет вывод об утолщении корня радужки при расширении зрачка в случаях ПЗУГ, в отличие от глаз без данной патологии. Этиология данного явления остается невыясненной, однако, предполагают существование некоего компенсаторного механизма сброса жидкости неизвестной этиологии при мидриазе. Нарушение данного механизма с утолщением периферии

радужки при физиологическом и медикаментозном мидриаза описано как при узкой, так и при открытой конфигурации угла (Tun T.A. с соавт., 2016; Seet L.F. с соавт., 2016).

Цель работы – исследовать механизм закрытия угла передней камеры с помощью биометрической оценки изменений его параметров.

Достижение указанной цели осуществлялось путем последовательного решения следующих **задач**.

1. Разработать комплексную методику биометрической оценки параметров структур угла передней камеры и радужки с применением компьютерного анализа изображений, полученных при оптической когерентной томографии переднего отрезка.

2. Исследовать изменения параметров угла передней камеры и радужки при стандартном освещении, а также в условиях физиологического мидриаза.

3. Провести оценку биомеханического напряжения биоптатов радужки.

4. Провести экспериментальное исследование изменения параметров УПК и радужки после лазерной иридоэктомии.

Научная новизна

В рамках исследования разработана система, предусматривающая компьютерный анализ результатов ОКТ переднего отрезка, с помощью которой возможно проводить детальное морфометрическое исследование радужной оболочки глаза.

Впервые на достаточном материале проведен динамический анализ морфометрических параметров радужки, основанный на результатах визуализирующих исследований, выявивший наличие различий исследованных параметров у пациентов с различным строением УПК.

Разработана оригинальная методика оценки биомеханических свойств, в частности, биомеханического напряжения ткани радужки, а также осуществлен анализ этих свойств в биоптатах радужки, полученных в ходе хирургического вмешательства.

Разработана концепция, объясняющая вероятный механизм закрытия УПК у пациентов с закрытоугольной глаукомой, основанная на результатах, полученных в рамках исследования биомеханических свойств радужки у пациентов различных клинических групп.

Основные положения, выносимые на защиту

1. В развитии первичной закрытоугольной глаукомы имеет значение изменение вязко-эластических свойств радужной оболочки. Увеличение ее жесткости способствует компрессии угла передней камеры при расширении зрачка, что приводит к снижению оттока внутриглазной жидкости.

2. С позиции биомеханических свойств радужка представлена тремя слоями, соответствующими ее анатомическим слоям. Срединный слой радужной оболочки характеризуется меньшей жесткостью.

3. Для адекватной оценки наличия факторов риска развития первичной закрытоугольной глаукомы недостаточно исследовать только анатомические особенности переднего отрезка глаза в статике, но необходимо фиксировать их изменение при расширении зрачка.

4. Динамические изменения морфометрических параметров радужки различны у пациентов с первичной закрытоугольной глаукомой и у обследованных без патологии, что позволяет считать динамические анатомо-топографические параметры радужки одним из факторов риска развития первичной закрытоугольной глаукомы.

Практическая значимость

В рамках исследования показано, что в контексте патогенеза развития

первичной закрытоугольной глаукомы значение имеет не только анатомо-топографическое взаимоотношение структур переднего отрезка глаза, но и их динамическое изменение при расширении и сужении зрачка. Таким образом, целесообразно проведения у таких пациентов визуализирующих исследований не только в фотопических, но и в мезопических условиях.

На основании полученных результатов возможно предположить перспективное направление хирургии первичной закрытоугольной глаукомы, связанное не только с обеспечением оттока внутриглазной жидкости, но и с изменением биомеханических свойств радужной оболочки.

Методология и методы исследования

Методологической основой исследования явилось применение комплекса методов научного познания. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с принципами научного исследования. Работа выполнена как экспериментально-клиническое исследование.

Степень достоверности и апробация результатов исследования

Достоверность полученных в рамках диссертационного исследования результатов объясняется достаточностью и репрезентативностью статистической выборки, анализ которой проведен в рамках исследования. В работе использованы актуальные статистические приемы, характеризующиеся высокой точностью, а также соответствующие поставленным задачам. Сбор и анализ данных, а также статистическая интерпретация полученных результатов осуществлены на современном уровне.

Материалы работы, а также основные положения диссертации, выносимые на защиту, обсуждены и доложены на заседании проблемной комиссии ФГБНУ НИИ глазных болезней, на международной научно-практической конференции «Восток – Запад»

Личный вклад автора

Автор лично принимал участие во всех этапах клинического и экспериментального исследования. Автор принимал участие в получении биологического материала в ходе хирургических вмешательств, а также участвовал в разработке и применении оригинального способа оценки биомеханических свойств радужки. Автором проведены визуализирующие исследования. Анализ полученных результатов, а также подготовка публикаций осуществлена при непосредственном участии автора.

Внедрение результатов работы

Результаты работы внедрены в практическую деятельность отдела глаукомы ФГБНУ НИИ глазных болезней.

Публикации

По теме диссертационного исследования опубликовано 5 работ, из них 3 в журналах, входящих в перечень рецензируемых журналов и изданий, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Министерства образования и науки РФ для публикации основных результатов диссертации на соискание ученой степени кандидата медицинских наук.

Структура и объем диссертационной работы

Диссертация изложена на 107 листах машинописного текста и состоит из введения, обзора литературы, материалов и методов исследования, результатов собственных исследований и их обсуждения, заключения, выводов и указателя литературы. Работа иллюстрирована 82 рисунками и 9 таблицами. Библиографический указатель представлен 108 источниками, из них 22 отечественных и 86 иностранных.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Материал и методы исследования

Исследование методологически состояло из двух частей: исследование механических свойств радужной оболочки *ex vivo* и исследование динамических конфигурационных характеристик радужной оболочки *in vivo*.

Статистическую обработку осуществляли при помощи комплекта программ LibreOffice 4.4.2.2 (*The Document Foundation*, ФРГ), Microsoft Office 2007 (*Microsoft*, США), программ IBM SPSS Statistics 22 (*IBM*, США) и SOFA Statistics 1.4.4 (*Paton-Simpson & Associates*, Новая Зеландия). Для графической обработки использовали GraphPad 6 (*GraphPad Software*, США). Определяли характер распределения переменных, затем вычисляли среднее значение признака в группе и стандартное отклонение. Для оценки различий использовали параметрические и непараметрические статистические критерии. Различия между значениями считали статистически достоверными при вероятности ошибки равной или менее 5% ($p \leq 0.05$).

Материалом в исследовании *ex vivo* служил фрагмент радужной оболочки, полученный при иридэктомии, проведенной в ходе синустрабекулэктомии. Всего было получено и проанализировано 43 образца (43 пациента), при этом 20 образцов получено у пациентов с ПЗУГ (*группа 1.1*), а 23 образца – у пациентов с ПОУГ (*группа 1.2*).

Удаленный при операции фрагмент радужки погружали в специальный контейнер, образцы передавались для исследования в лабораторию. Исследование механических свойств биоптатов проводили при помощи специально подготовленного микротвердомера. Испытательный прибор оказывал разрушающее действие на образец, осуществляя поступательное проникновение индентора в исследуемую ткань. Прокол совершали с внешней стороны радужки, стараясь сориентировать клиновидный индентор поперек крипта. Использовали сапфировый индентор односторонне скошенной

клиновидной формы диаметром 0,5652 мм с программируемой постоянной скоростью подачи, которая составляла 4 мл/час. Частота регистрации составляла 5 значений / сек; разрешение по усилию составляло 0,02 гс.

После обработки полученных при испытании данных была определена динамическая вязкость биоптатов, а также интегральное вязкое сопротивление каждого из слоев при заданной скорости вдавливания. Все образцы были испытаны в режиме реального времени по специальной программе, разработанной для экспериментального стенда.

Поскольку каждый из исследованных образцов характеризовался наличием трех зон жесткости, образцы условно разделяли на зоны *S*, *V* и *M*, которые, по всей видимости, соответствовали таким анатомическим слоям радужки, как бессосудистая часть стромы (*S*), обильно васкуляризированная рыхлая часть стромы (*V*) и структурный комплекс, включающий мышечные волокна и пигментный листок с его (условной) базальной мембраной (*M*).

В рамках клинической части исследования были анализированы снимки, полученные при ОКТ переднего отрезка глаза.

Группу 2.1. составили пациенты, которым ранее была проведена лазерная периферическая иридэктомия (ЛПИ) по поводу ПЗУГ, при этом к моменту исследования ВГД было компенсировано, а сформированная колобома была состоятельна. Было проведено 40 исследований у 40 пациентов.

Группу 2.2. составили обследуемые без признаков нарушения гидродинамики глаза и не имевшие факторов риска развития ПЗУГ. Было проведено 40 исследований у 40 обследуемых.

Изображения были получены с помощью оптического когерентного томографа со специальной насадкой для визуализации переднего отрезка глаза RTVue-100-2 (*Optovue*, США). Изображения были сделаны при обычном освещении (1-я серия снимков) и в мезопических стандартных условиях (2-я серия снимков). Во всех случаях ОКТ сканирование выполняли под четырем различными углами: 0°, 45°, 90° и 135° относительно вертикальной оси глаза.

При анализе полученных изображений отмечали несколько параметров: величину УПК; ширину УПК на расстоянии 500 мкм (*AOD 500*); ширину УПК на расстоянии 750 мкм (*AOD 750*); длину хорды радужки (*CL*); диаметр зрачка; толщину радужной оболочки; площадь радужной оболочки; объем радужной оболочки; диаметр передней камеры; глубину передней камеры; площадь передней камеры; объем передней камеры; толщину роговицы.

Графическую обработку и вычисления осуществляли при помощи программ InkScape 0.92 и GNU Image Manipulation Program 2.10.20.

Для статистической обработки полученных результатов после проверки гипотезы о нормальности распределения полученных значений было использовано два статистических метода: t-критерий Стьюдента и дисперсионный анализ ANOVA. При использовании t-критерия Стьюдента биометрические параметры, измеренные под разными углами, усреднялись для получения единого значения.

Результаты исследования

Результаты исследований *ex vivo*

Результаты, полученные при исследовании механических свойств радужки представлены на **рис. 1**. Цветом показаны диапазоны глубин, относящиеся к условно выделенным зонам *S*, *V* и *M*.

При анализе полученных результатов в обеих группах было отмечено, что зоны *S* и *V* составляют бóльшую часть радужки по глубине. С учетом их расположения можно предположить, что анатомически они соответствуют строме радужки.

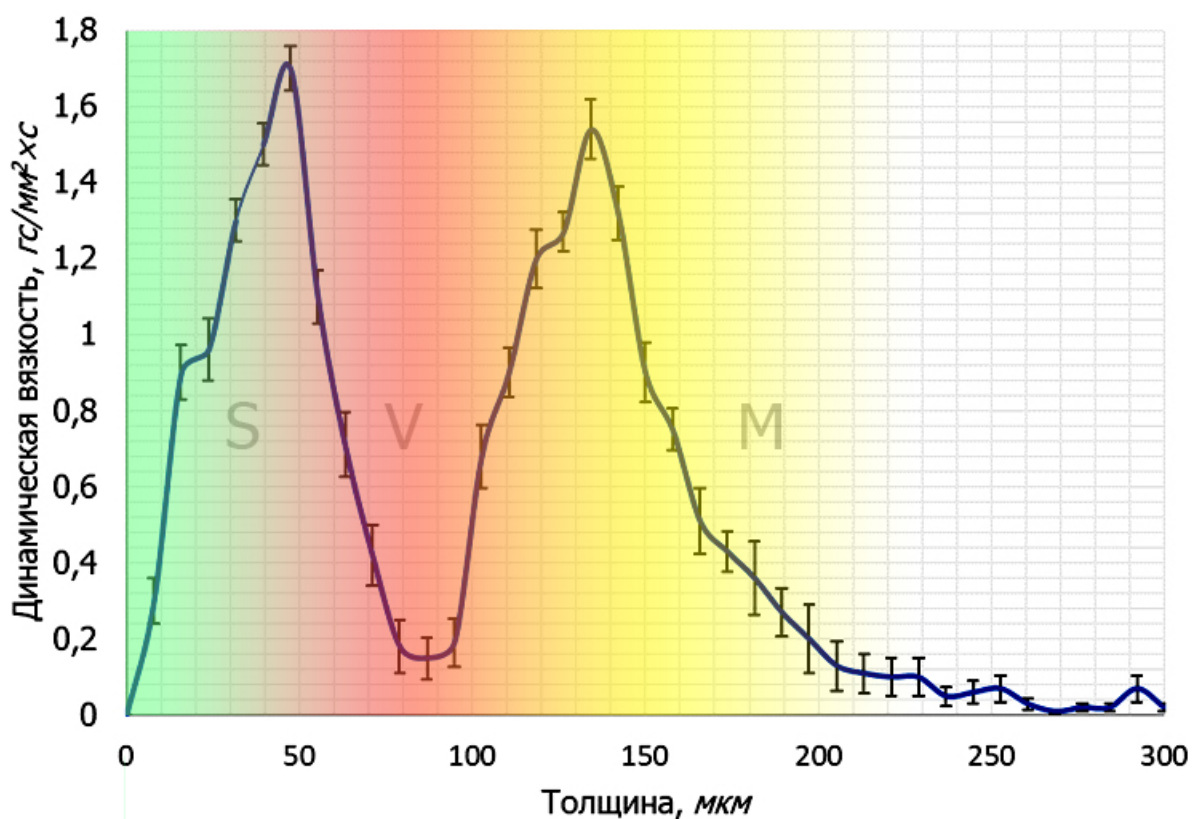
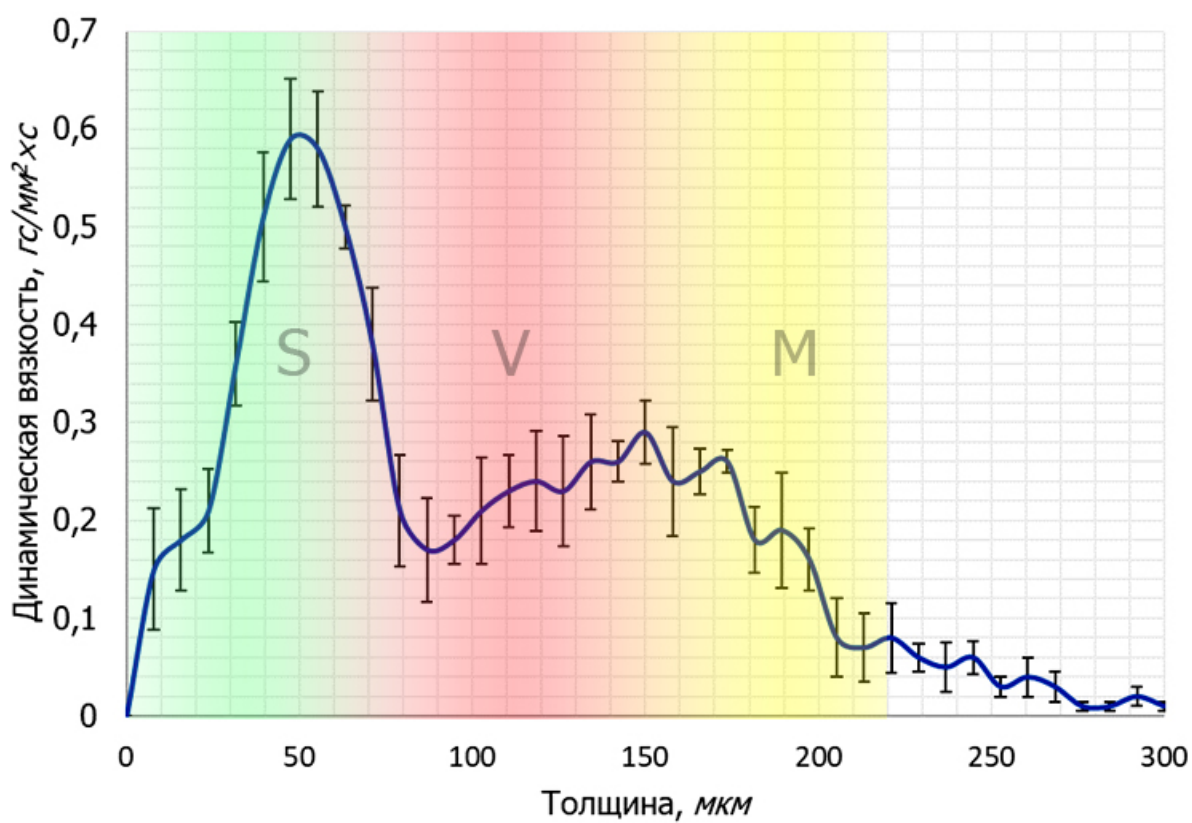


Рис. 1. Динамика изменчивости биомеханических свойств радужки по глубине. Результаты послойного измерения динамических вязко-пластических свойств тканей методом индентирования с постоянной скоростью. Пояснения в тексте.
 а – результаты измерений в группе 1.1; б – результаты измерений в группе 1.2.

Наиболее состоятельной в биомеханическом отношении является бессосудистая часть стромы (*S*). Она характеризуется не только наибольшими усилиями вязкого динамического сопротивления индентору ($0,4—2,0$ гс/мм²×с), но и максимальным интегральным усилием на разрыв (до $4,9 \times 10^{-2}$ Н).

Наименьшей динамической вязкостью обладает внутренняя сосудистая часть стромы. При этом образцы сильно разнятся как по биомеханическим характеристикам этого слоя, так и по его относительной толщине.

Слой *M*) имеет толщину 70—120 мкм. Его динамические вязко-пластические характеристики немного ниже, чем у передней бессосудистой стромы радужки ($0,4—1,8$ гс/мм²×с). Интегральное сопротивление индентору может быть наибольшим среди всех рассматриваемых «слоев» (до $9,9 \times 10^{-2}$ Н), что вероятно определяется длительным прохождением индентора через относительно толстую мышечную ткань.

Сравнение полученных результатов в группах с образцами радужек, полученных у пациентов с ПЗУГ и ПОУГ (группы 1.1. и 1.2.) показало, что средние значения динамической вязкости статистически достоверно различались. Кроме числовых различий обращала внимания разница в конфигурации кривых. Возможно заключить, что стромальные отделы радужки, при чем как в бессосудистой части, так и в васкуляризированной центральной части, у пациентов с ПЗУГ имеют большую жесткость. Наши наблюдения показали, что жесткие стромальные отделы радужки у пациентов с ПЗУГ не только численно превосходят образцы, полученные у пациентов с ПОУГ по значениям динамической вязкости, но и имеют более протяженные глубинные характеристики.

Результаты исследования *in vivo*

При сравнении биометрических параметров передней камеры глаза при обычном освещении у пациентов группы 2.1. после ЛПИ и у обследуемых группы 2.2., не имевших патологии, было обнаружено, что УПК значительно

меньше у пациентов группы 2.1. Аналогичные результаты были получены при сравнении других сравниваемых параметров. Однако такие параметры, как площадь радужной оболочки, объем радужной оболочки, толщина радужной оболочки и толщина роговицы, были значительно выше в группе 2.1. по сравнению с результатами у обследуемых в группе 2.2.

При статистическом анализе не обнаружено достоверных различий между значениями диаметра зрачка и длины хорды радужки. Результаты, полученные при сравнении биометрических параметров при стандартном освещении, обобщены в **таблице 1**.

Таблица 1

Результаты биометрических измерений

Параметр	Группа 2.1.	Группа 2.2.
УПК, градусы	15,97±1,04 (13,89—18,02)	21,44±0,82 (19,61—23,51)
AOD 500, мкм	0,23±0,04 (0,13—0,40)	0,36±0,02 (0,32—0,42)
AOD 750, мкм	0,29±0,02 (0,25—0,33)	0,5±0,03 (0,45±0,57)
Площадь радужки, мм ²	2,71±0,10 (2,54—2,96)	2,46±0,06 (2,32—2,59)
Объем радужки, мм ³	68,94±2,76 (63,67—73,65)	63,18±1,70 (58,11—66,30)
CL, мм	4,47±0,10 (4,25—4,70)	4,53±0,10 (4,33—4,77)
Толщина радужки, мм	0,75±0,02 (0,69—0,78)	0,69±0,01 (0,66—0,71)
Диаметр зрачка, мм	3,89±0,18 (3,45—4,25)	3,97±0,20 (3,44—4,43)
Диаметр передней камеры, мм	12,93±0,14 (12,75—13,29)	14,02±0,11 (13,77—14,24)
Глубина передней камеры, мм	2,47±0,06 (2,32—2,60)	3,27±0,07 (3,14—3,45)
Площадь передней камеры, мм ²	15,60±0,83 (14,16—17,43)	25,14±0,61 (23,84—26,63)
Объем передней камеры, мм ³	124,40±3,45 (117,58—132,16)	201,73±6,48 (189,19—218,05)
Толщина роговицы, мм	0,62±0,01 (0,59—0,64)	0,56±0,01 (0,53—0,58)

В **таблице 2** представлены результаты измерений, полученных у тех же пациентов, но в мезопических условиях.

Таблица 2

Результаты биометрических измерений в мезопических условиях

Параметр	Группа 2.1.	Группа 2.2.
УПК, градусы	16,10±1,29 (13,53—18,23)	21,96±0,98 (20,09—24,36)
AOD 500, мкм	0,2±0,01 (0,18—0,22)	0,36±0,01 (0,34—0,38)
AOD 750, мкм	0,28±0,02 (0,22—0,33)	0,51±0,04 (0,46—0,62)
Площадь радужки, мм ²	2,68±0,09 (2,47—2,91)	2,32±0,06 (2,23—2,47)
Объем радужки, мм ³	69,66±2,53 (63,75—72,54)	61,39±1,15 (59,11—64,38)
CL, мм	4,37±0,09 (4,15—4,51)	4,23±0,11 (3,99—4,44)
Толщина радужки, мм	0,77±0,02 (0,73—0,81)	0,73±0,11 (0,48—0,93)
Диаметр зрачка, мм	4,10±0,13 (3,82—4,32)	4,48±0,20 (4,15—4,84)
Диаметр передней камеры, мм	12,96±0,16 (12,66—13,31)	13,89±0,16 (13,45—14,29)
Глубина передней камеры, мм	2,47±0,06 (2,33—2,63)	3,35±0,05 (3,23—3,49)
Площадь передней камеры, мм ²	14,85±0,75 (12,79—16,42)	26,37±1,03 (23,95—28,37)
Объем передней камеры, мм ³	125,46±5,08 (116,96—135,15)	211,45±6,22 (197,40—223,62)
Толщина роговицы, мм	0,60±0,01 (0,58—0,62)	0,57±0,01 (0,55—0,60)

При сравнении изменений биометрических параметров передней камеры у пациентов контрольной группы, что в мезопических условиях, морфометрические параметры радужной оболочки, в частности, ее площадь и объем, а также CL радужки статистически достоверно уменьшились.

Другие морфометрические параметры, в частности, толщина радужной оболочки, диаметр зрачка, площадь передней камеры и глубина передней камеры, значительно увеличились после дилатации. Ширина УПК, значения AOD 500, AOD 750, диаметр передней камеры и ее объем, а также толщина роговицы не изменялись достоверно при дилатации. Результаты, полученные у пациентов контрольной группы, обобщены в **таблице 3**.

Таблица 3

Результаты биометрических измерений у пациентов без патологии

Параметр	Фотопические условия	Мезопические условия
УПК, <i>градусы</i>	21,44±0,82 (19,61—23,51)	21,96±0,98 (20,09—24,36)
AOD 500, <i>мкм</i>	0,36±0,02 (0,32—0,42)	0,36±0,01 (0,34—0,38)
AOD 750, <i>мкм</i>	0,5±0,03 (0,45±0,57)	0,51±0,04 (0,46—0,62)
Площадь радужки, <i>мм²</i>	2,46±0,06 (2,32—2,59)	2,32±0,06 (2,23—2,47)
Объем радужки, <i>мм³</i>	63,18±1,70 (58,11—66,30)	61,39±1,15 (59,11—64,38)
СL, <i>мм</i>	4,53±0,10 (4,33—4,77)	4,23±0,11 (3,99—4,44)
Толщина радужки, <i>мм</i>	0,69±0,01 (0,66—0,71)	0,73±0,11 (0,48—0,93)
Диаметр зрачка, <i>мм</i>	3,97±0,20 (3,44—4,43)	4,48±0,20 (4,15—4,84)
Диаметр передней камеры, <i>мм</i>	14,02±0,11 (13,77—14,24)	13,89±0,16 (13,45—14,29)
Глубина передней камеры, <i>мм</i>	3,27—0,07 (3,14—3,45)	3,35±0,05 (3,23—3,49)
Площадь передней камеры, <i>мм²</i>	25,14±0,61 (23,84—26,63)	26,37±1,03 (23,95—28,37)
Объем передней камеры, <i>мм³</i>	201,73±6,48 (189,19—218,05)	211,45±6,22 (197,40—223,62)
Толщина роговицы, <i>мм</i>	0,56±0,01 (0,53—0,58)	0,57±0,01 (0,55—0,60)

Однако при сравнении биометрических параметров в фотопических и мезопических условиях у пациентов группы 2.1., имевших ПЗУГ, было отмечено, что площадь и объем радужки статистически достоверно не изменялись при расширении зрачка. СЛ радужки уменьшалась, тогда как толщина радужки, диаметр зрачка и глубина передней камеры значительно увеличивались после расширения зрачка. Ширина УПК, значения AOD 500 и AOD 750, диаметр, площадь и объем передней камеры, а также толщина роговицы существенно не изменялись после расширения зрачка, а полученные значения при статистическом исследовании были схожими со значениями, полученными в группе 2.1., т.е. у обследуемых без патологии.

В рамках исследования нами были получены убедительные доказательства наличия различий в жесткости радужки при этих двух клинических состояниях. Радужка пациентов с ПЗУГ была более жесткой, чем у пациентов с ПОУГ. Кроме того, нами впервые было показано существование срединного слоя, обладающего меньшей, по сравнению с окружающими слоями, жесткостью. Мы предполагаем, что именно из этого слоя при расширении зрачка эвакуируется жидкость, что обеспечивает сокращение толщины радужки у пациентов с ПОУГ и у обследованных без патологии. Предположительно, эта особенность радужки сокращать свои размеры при расширении зрачка позволяет сохранять пространство для оттока внутриглазной жидкости в области УПК при расширении зрачка. Можно предположить, что у пациентов с ПЗУГ этот механизм отсутствует, что приводит к сокращению объема дренируемой внутриглазной жидкости в условиях расширения зрачка. В рамках проведенного *ex vivo* исследования нами были получены сведения, позволяющие объяснить это обстоятельство дефицитом слоя низкой жесткости в радужной оболочке пациентов с ПЗУГ. Это дает основание считать биомеханические свойства радужки одним из факторов риска развития ПЗУГ.

Наше исследование показало, что передняя камера глаза более узкая и мелкая у пациентов, перенесших ЛПИ по поводу ПЗУГ по сравнению со

значениями, полученными у обследуемых без патологии. Мы обнаружили, что даже после проведения ЛПИ динамические изменения структур переднего отрезка глаза статистически достоверно различны у пациентов с ПЗУГ и без нее. У некоторых пациентов даже после проведения процедуры ЛПИ все еще отмечали сужение УПК. Процедура ЛПИ не влияла на несжимаемость радужных оболочек, что подтверждено тем, что площадь и объем радужки существенно не изменялись у пациентов этой группы после расширения зрачка. Мы объясняем это изменением биомеханических свойств радужки.

ВЫВОДЫ

1. Впервые на достаточном клиническом и экспериментальном материале (80 глаз и 43 полученных интраоперационно биоптатов радужки, соответственно) проведено сравнительное исследование биометрических и биомеханических параметров радужной оболочки при различной конфигурации угла передней камеры.

2. Алгоритм биометрических исследований включал клиническое определение ширины угла и объема передней камеры, а также площади и толщины радужной оболочки в мезопических и фотопических условиях на основе оптической когерентной томографии, а биомеханических тестов – экспериментальную оценку динамической вязкости биоптатов радужки с помощью специального микротвердомера

3. Выявлено, что при первичной закрытоугольной глаукоме биометрические показатели статистически достоверно ($p < 0.005$) отличаются от условно нормальных значений и в фотопических, и мезопических условиях в среднем составляют:

- величина угла передней камеры $15,97 \pm 1,04$ и $16,06 \pm 1,1\epsilon$, соответственно (в норме $21,44 \pm 0,82$ и $22,15 \pm 1,07^\circ$);

- площадь радужки $2,71 \pm 0,10$ и $2,69 \pm 0,08$ мм², соответственно (в норме $2,46 \pm 0,06$ и $2,33 \pm 0,05$ мм²);

- объем радужки $68,94 \pm 2,76$ и $68,87 \pm 2,29$ мм³, соответственно (в норме $63,8 \pm 1,70$ и $61,39 \pm 1,07$ мм³);

- толщина радужки $0,74 \pm 0,02$ и $0,77 \pm 0,02$ мм, соответственно (в норме $0,69 \pm 0,01$ и $0,69 \pm 0,12$ мм);

- объем передней камеры составляет $124,34 \pm 3,45$ и $125,31 \pm 3,89$ мм³, соответственно (в норме $201,73 \pm 6,48$ мм³ и $211,09 \pm 3,89$ мм³).

4. При анализе динамических изменений биометрических показателей выявлено, что физиологическое расширение зрачка в мезопических условиях в норме сопровождается достоверным ($p < 0.0001$) уменьшением площади и объема радужки, в то время как при первичной закрытоугольной глаукоме биометрические значения практически не меняются ($p > 0.05$).

5. При биомеханическом исследовании биоптатов радужной оболочки человека выявлено, что среднее значение динамической вязкости радужной оболочки в точке максимума при закрытоугольной глаукомой существенно превышает аналогичный показатель при первичной открытоугольной глаукоме ($1,71$ и $0,54$ гс/мм²×с, соответственно), что косвенно свидетельствует о большей жесткости образцов.

6. При послойном изучении вязко-эластических свойств показано, что радужная оболочка человека имеет анизотропное строение с наличием слоя, характеризующегося меньшей жесткостью и тенденцией к уменьшению размеров при закрытоугольной глаукоме.

7. На основании полученных данных разработаны рекомендации, предполагающие использование полученных результатов в клинической практике.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Выявленные особенности биомеханических свойств радужной оболочки при закрытоугольной глаукоме следует учитывать при выборе параметров лазерной иридэктомии.

2. При биометрической оценке состояния радужной оболочки целесообразно учитывать возможную зависимость показателей от уровня освещенности в процессе проведения исследования.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

1. Воронин Г.В., Петров С.Ю., Волжанин А.В., Эль-Сангахави А.А., Аветисов К.С. Изменение формы радужки и риск закрытия угла передней камеры. // **Вестник офтальмологии. 2020. Т. 136. № 2. С. 93-98.**
2. Воронин Г.В., Эль-Сангахави А.А., Ярцев В.Д., Нарбут М.Н. Вязкопластические свойства радужной оболочки при различных формах глаукомы. // **Медицинский совет. 2021 № 12. С. 379-383.**
3. Воронин Г.В., Эль-Сангахави А.А., Аветисов К.С., Ярцев В. Д., Нарбут М. Н. Динамические биометрические показатели структур переднего сегмента глаза при первичной закрытоугольной глаукоме. // **Офтальмология. 2021. Т. 18. № 3 С. 470-475.**
4. Воронин Г.В., Петров С.Ю., Эльсангахави А.А. Вариабельность морфометрических параметров радужки и угла передней камеры при физиологическом и медикаментозном мидриазе. // **Российский общенациональный офтальмологический форум. 2019. Т. 2. С. 463-465.**
5. Воронин Г.В., Новиков И.А., Петров С.Ю., Эль-Сангахави А.А. Экспериментальная оценка вязкопластических свойств тканей радужной оболочки глаза // **Точка зрения. Восток - Запад. 2020 № 3 С. 23-25.**

Список сокращений

АСА	угол передней камеры
АОД	ширина угла передней камеры (angle open distance)
СL	хорда радужки
TISA	площадь иридо-трабекулярного пространства (Trabecular-iris space area)
ВГД	внутриглазное давление
ЛПИ	лазерная периферическая иридэктомия
ОКТ	оптическая когерентная томография
ПЗУГ	первичная закрытоугольная глаукома
ПОУГ	первичная открытоугольная глаукома
ПЦР	полимеразная цепная реакция
УБМ	ультразвуковая биомикроскопия
УПК	угол передней камеры