

# Что такое аккомодация вдаль?

---

*Иомдина Елена Наумовна*



## Механизмы аккомодации: существует ли аккомодация вдаль?

Профессор Елена Наумовна Иомдина

МНИИ глазных болезней имени Г.Гельмгольца

Здравствуйте, уважаемые доктора.

В адрес Экспертного совета ЭСАР до сих пор приходят вопросы, связанные с механизмом аккомодации для дали и сегодня мне показалось правильным коротко остановиться на механизмах аккомодации вообще, потому что без этого не будет понятен механизм аккомодации для дали.

И как всегда мы начинаем «от печки», от механизма, предложенного Гельмгольцем, который считал что в глазу происходит следующее

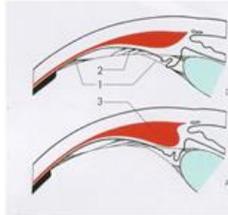


- ★ Для четкого видения расположенных на близком расстоянии предметов:
  - сокращается цилиарная мышца
  - происходит сужение зрачка
  - ослабевает натяжение цинновых связок
  - уменьшается глубина передней камеры
  - хрусталик смещается несколько кпереди и книзу
  - уменьшается радиус кривизны передней и задней (в меньшей степени) поверхностей хрусталика
- ★ Результат: увеличение преломляющей силы хрусталика и усиление динамической рефракции глаза

И надо сказать, что за последние 150 лет кардинально наши представления об аккомодации для близи не изменились. Единственно что, у Гельмгольца шла речь о цилиарной мышце, цилиарных волокнах и хрусталике, а сейчас обсуждается много других структур глаза, которые могут в той или иной степени тоже участвовать в механизме аккомодации. Но все-таки в качестве главных структур рассматривается мышечно-связочный аппарат хрусталика, сам хрусталик и хориоидея. Остальные в той или иной степени могут дополнять этот механизм и играть некую роль, но далеко не главную.

## Основные и дополнительные участники механизма аккомодации

- \* Мышечно-связочный аппарат хрусталика (цилиарная мышца, хрусталик, зонулярные волокна)
- \* Сосудистая оболочка



- \* Глазодвигательные мышцы
- \* Сфинктер зрачка (радужка)
- \* Стекловидное тело
- \* Роговица
- \* Веки

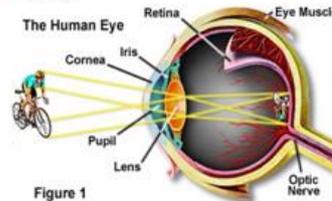


Figure 1

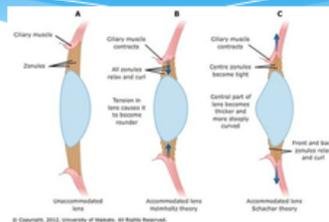
Важный вопрос состоял в том, за счет чего меняется кривизна хрусталика, за счет чего меняется вообще оптическая система, чтобы мы могли в фокусе иметь объект, на который мы смотрим.

И здесь очень важным был вопрос – с чем связано изменение кривизны хрусталика. То ли форма хрусталика меняется за счет упругих сил, которые могут себя проявить, если меняется воздействие на них связочного аппарата, или есть какие-то экстракапсулярные воздействия, которые каким то образом «растягивают» хрусталик, «сжимают» его или делают на его поверхности какую-то дополнительную линзочку, как Шахар говорил.

## ОСНОВНЫЕ ТЕОРИИ АККОМОДАЦИИ

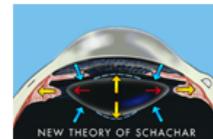
### Интракапсулярные

- \* Упругие силы капсулы хрусталика приводят к его округлению при ослаблении натяжения связочного аппарата хрусталика



### Экстракапсулярные

- \* Изменение формы хрусталика вызвано сместившимся вперед стекловидным телом, гидравликой внутриглазной жидкости задней камеры, натянутыми экваториальными связками хрусталика или сочетанием этих факторов

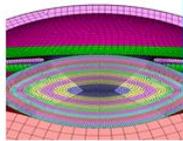


Ответить на эти вопросы помогли те современные технологии, которые в последние годы появились в нашем распоряжении, методы визуализации и методы объективного исследования аккомодации, аккомодографы. Эти технологии во многом помогли нам разобраться в методах аккомодации. Это и ультразвуковая биомикроскопия, и ОСТ, и МРТ, и Шампфлюг...

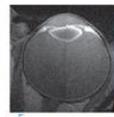
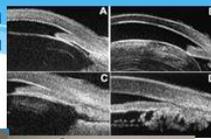
## Основные возможности изучения механизма аккомодации

\*Современные технологии визуализации

\*Новые методы объективной функциональной диагностики

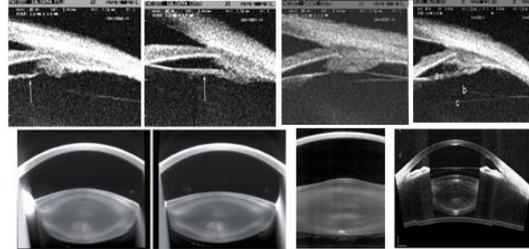


\*Компьютерное моделирование



Живая анатомия (визуализация) аккомодации: UBM, OCT, MPT, Scheimpflug imaging

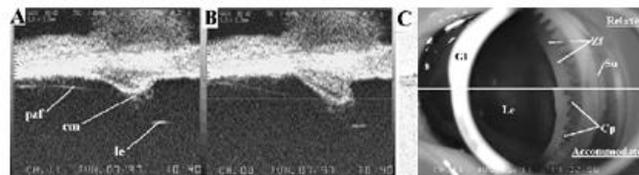
В.В. Стрехов и соавт., 2005, 2007; M.Dubbelman et al., 2001, 2003; E.Hermans et al., 2007; H.Fujikawa et al., 2010



Так вот, уже довольно давно, в 1998 году, известный американский специалист по аккомодации Адриан Глассер провел эксперимент на обезьянах, удалил у них радужку и с помощью ультразвуковой биомикроскопии смотрел, что происходит внутри глаза, каким образом меняется соотношение внутриглазных структур на высоте аккомодации. И вот он увидел, что у человекообразных обезьян на высоте аккомодации расстояние между экватором хрусталика и цилиарным телом увеличивается. Тем самым он доказал, что имеет место именно внутривнутриглазная форма аккомодации, то есть форма хрусталика изменяется за счет его упругих сил. И соответственно, они могут проявить свое действие из-за того, что меняется натяжение цилиарных волокон.

## Изменение экваториального диаметра хрусталика на высоте напряжения аккомодации

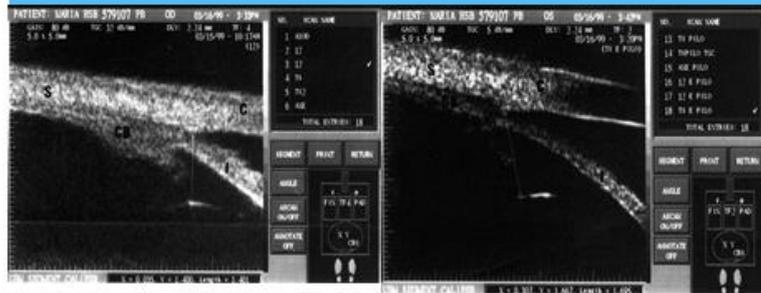
- \* **Увеличивается или не изменяется:** деформация экваториальной зоны хрусталика вызвана любым из силовых воздействий — стекловидного тела, связочного аппарата или внутриглазной жидкости.
- \* **Уменьшается:** форма хрусталика изменяется за счет упругих сил (эластичности) его капсулы, т.е. внутривнутриглазной структуры



Эксперимент на обезьянах с UBM – контролем установил **уменьшение** экваториального диаметра хрусталика на высоте аккомодации (A.Glassec 1998)

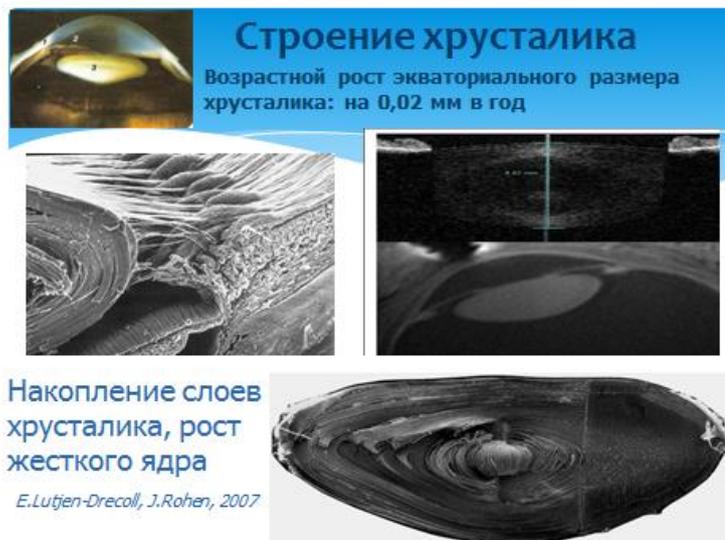
На этом слайде результаты того же самого эксперимента, подтвержденного на людях, на близнецах альбиносах. Получен тот же результат.

## ОУМ: увеличение дистанции между экватором хрусталика и склерой на высоте аккомодации - подтверждение лентикулярного механизма аккомодации



Уменьшение экваториального диаметра хрусталика при аккомодации: в отсутствие аккомодации (слева) расстояние от экватора хрусталика до склеральной шпоры 1,401 мм, в состоянии максимальной аккомодации – 1,695 мм (R.Wilson, 1999)

Получается, что центральное действующее лицо аккомодации, главный персонаж, это хрусталик. Поэтому к нему тоже были применены новые методы визуализации. Хорошо видна слоистая структура хрусталика, формирование ядра, которое формируется, как оказалось, еще до рождения, и младенец рождается уже с ядром, просто оно маленькое и прозрачное. С возрастом происходят всякие изменения хрусталиковые, которые влияют на процесс аккомодации.



Интересны были данные, полученные по цилиарным волокнам. На слайде вы видите прикрепления экваториальных, передних, задних цилиарных волокон к поверхности хрусталика. Как оно разнообразно по геометрии, по площади прикосновения к поверхности хрусталика. И понятно, что такая сложная система крепления не может существовать только для того, чтобы держать хрусталик, то есть служить исключительно как поддерживающий аппарат. По-видимому, и это уже доказано, что волокна играют роль такой тонкой настройки кривизны хрусталика, его задней и передней поверхности. И это очень важный элемент механизма настройки оптической силы хрусталика



На этом слайде показан другой конец прикрепления волокон, не к поверхности хрусталика, а дальше. И здесь очень интересный момент выяснился. Что, в принципе, цилиарные волокна к самой цилиарной мышце не крепятся. Они крепятся либо к боковым поверхностям цилиарных отростков, либо идут прямо к хориоретинальной спайке, и крепятся там. Это вообще очень интересное наблюдение, потому что именно туда прикрепляются меридиональные волокна цилиарной мышцы, то есть порция Брюкке. Задняя порция волокон после крепления в короне свободно оканчивается в мембране стекловидного тела.

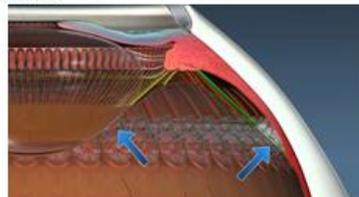
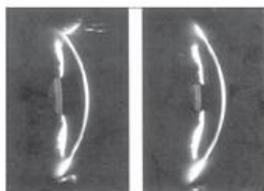


На что бы я хотела обратить внимание – как взаимодействуют передние, экваториальные и задние порции волокон при аккомодации.

### Теория согласованного синхронного (взаимовозвратного) действия зонулярных волокон (D.Goldberg, 2011)



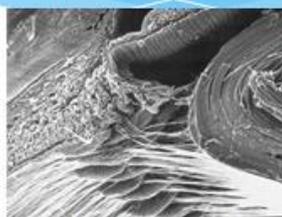
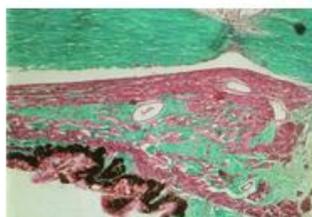
При сокращении цилиарной мышцы передняя порция волокон ослабляется, а задняя натягивается и оказывает силовое воздействие на заднюю капсулу хрусталика, изменяя его толщину и форму задней поверхности. Во время расслабления цилиарной мышцы задние волокна ослабляются, и хрусталик сдвигается кзади из-за нарастающего напряжения передних связок.



Видите, при сокращении цилиарной мышцы получается так, что передние волокна ослабляются, и натягивается задняя порция волокон. Поэтому хрусталик выпячивается вперед, о чем говорил еще Гельмгольц, вспомните первый слайд. И наоборот, когда мышца расслабляется, то передняя порция как –то давит на хрусталик, а задние волокна расслабляются. И хрусталик сдвигается чуть назад. Вот такое взаимовозвратное действие, такой механизм очень важен для понимания дальнейшего.



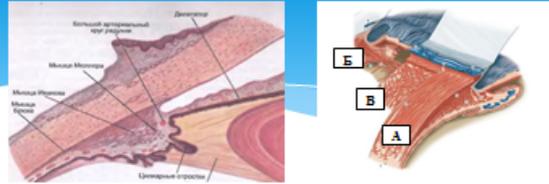
### Цилиарное тело, цилиарная мышца и зонулярные волокна



Не установлено прямой анатомической связи между цилиарной мышцей и зонулярными волокнами. Их натяжение или ослабление возможно только опосредованно - через перемещение гиалохориоретинальной спайки в области зубчатой линии при экскурсиях хориоидеи вследствие мышечных сокращений/расслаблений меридиональной мышцы Брюкке, имеющей с хориоидеей непосредственную анатомическую связь

Ну, и конкретно, сама цилиарная мышца. Как я уже сказала, там нет прямой связи с волокнами, есть перемещение гиалохориоретинальной спайки, куда крепятся меридиональные волокна Брюкке. Получается, что мышца соединена с хориоидеей. Это тоже очень важный момент, поскольку когда мышца сокращается или расслабляется, она тянет за собой сосудистую оболочку и та ее как пружина тоже тянет, то есть они находятся во взаимодействии. И понятно, что сокращение и вообще работа мышцы очень связаны с состоянием сосудистой системы глаза, потому что сосудистая оболочка – самый лавный гемодинамический бассейн глаза. И связь гемодинамики с работой цилиарной мышцы нам тоже очень важна для дальнейшего понимания.

## Цилиарное тело и цилиарная мышца



- а) меридиональные волокна (мышца Брюкке) - самые мощные и длинные (около 7 мм), прикрепляются к склере в области корнео-склеральной трабекулы и склеральной шпоры, свободно идут до зубчатой линии, где вплетаются в хориоидею, доходя отдельными волокнами до экватора глаза (парасимпатическая иннервация)
- б) циркулярные волокна (мышца Мюллера) не имеют прикрепления, наподобие сфинктера радужки, располагаются в виде кольца в самой вершине короны ЦТ. При их сокращении вершина короны «заостряется», и отростки ЦТ приближаются к экватору хрусталика (парасимпатическая иннервация)
- в) радиальные волокна (мышца Иванова) образуют переплетающуюся решетку, составляют основную мышечную массу короны ЦТ, прикрепляются к увеальной части трабекулярной сети в прикорневой зоне радужки, свободно оканчиваются в виде радиально расходящегося венчика на тыльной стороне короны, обращенной к СТ. При сокращении подтягиваются к месту прикрепления, меняют конфигурацию короны и смещают ее в направлении корня радужки (симпатическая иннервация)

И вот, наконец, сама цилиарная мышца. Мы говорим цилиарная мышца, хотя на самом деле она состоит из нескольких порций, будем считать, что из трех порций по классической точке зрения: меридиональной, циркулярной и радиальной. И понятно, что состояние каждой из этих порций влияет не только сама на себя, но и влияет на всю мышцу, потому что это все таки единое целое. И мы сейчас будем много говорить о радиальных волокнах мышцы Иванова, потому что это именно та мышца, которая и определяет аккомодацию для дали.

Если мы внимательно посмотрим на эту картинку, увидим, что радиальные волокна (порция Иванова) действуют таким образом, что при их сокращении ВСЯ цилиарная мышца несколько вытягивается и увеличивается расстояние от короны. То есть если хорошо работает радиальная порция Иванова, она влияет на работу меридиональных и циркулярных волокон.

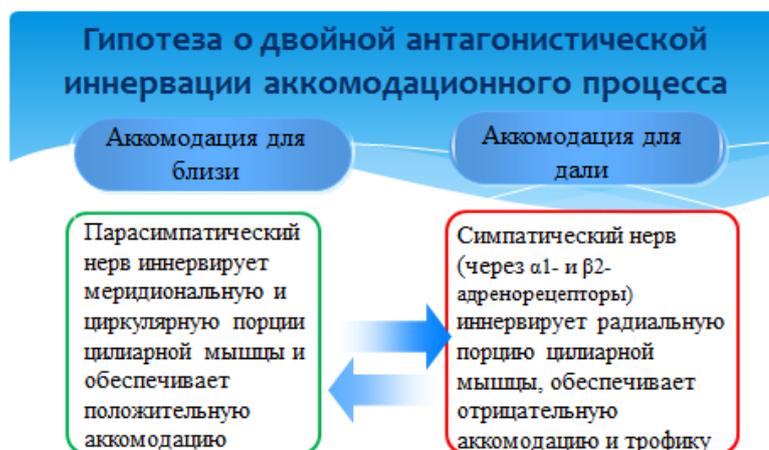
Если каким-то образом нарушается баланс и взаимодействие порций между собой (меридиональной, циркулярной и радиальной), то возникают различные нарушения аккомодации.

### Аккомодация – сложный многосторонний и многофакторный механизм

- \* Аккомодационные нарушения у детей и патология рефракции:  
дисбаланс вегетативной иннервации, несоответствие работоспособности цилиарной мышцы зрительным нагрузкам
- \* Аккомодационные нарушения у взрослых и развитие пресбиопии:  
утолщение и увеличение объема хрусталика, увеличение его жесткости (капсулы и содержимого), относительное смещение зонулярных волокон, снижение показателя преломления хрусталика, ослабление цилиарной мышцы...



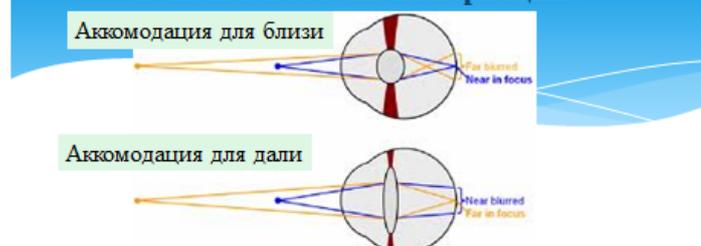
Я сознательно включила в этот слайд разные точки зрения, чтобы вы посмотрели на то, как много это изучалось и Краснов, например, говорил об одной парасимпатической иннервации, а Дашевский уже говорит о наличии двух иннерваций, и такая точка зрения сейчас главенствующая.



Нарушения аккомодации при миопии: тормозить парасимпатическое влияние (холинблокаторы) или стимулировать симпатическое (симпатомиметики)?

Сейчас все-таки такое мнение о существовании двойной антагонистической иннервации, аккомодации для близи и об аккомодации для дали, которая обеспечивается именно симпатическим влиянием. И тогда встает вопрос, если это симпатическое влияние существует, то почему мы не обращаем на него внимание, почему оно вне нашей сферы интересов.

### Управление аккомодацией: парасимпатическая и симпатическая иннервация?



- М.Мorgan (1944): симпатический и парасимпатический отделы ВНС не одинаковы по степени влияния на аккомодацию. Стимуляция симпатического нерва приводит к ослаблению рефракции на 1,0-1,5 дптр, а стимуляция глазодвигательного нерва – к усилению в пределах 10,0 дптр.

Видите, уже тоже более 50 лет назад было установлено, что аккомодация для дали очень небольшая по объему, где-то 1-1,5 диоптрии. А аккомодация для близи гораздо больше. В принципе, это возможно понять, даже из общебиологических соображений ясно, что человеку как биологическому виду гораздо важнее замечать, что происходит на близких и средних расстояниях, потому что здесь может быть какая-то опасность, а что происходит

вдали не так важно. Но, тем не менее, хотя и не такой большой объем аккомодации для дали,но он все-таки существует.



- М-холиноблокаторы - торможение парасимпатического влияния: парез меридиональных и циркулярных волокон цилиарной мышцы (мышц Брюкке и Мюллера)
- α-адреномиметики - стимуляция симпатического влияния: активация радиальных волокон цилиарной мышцы (мышцы Иванова)

Каким же образом мы можем на эту аккомодацию для дали повлиять? Чуть выше я говорила, что сокращение и активность радиальной мышцы регулирует состояние всей цилиарной мышцы в целом. И это влияние существует для того, чтобы мышца работала нормально и ее работоспособность сохранялась. Потому что если выключается симпатическое влияние и радиальная мышца не работает, то из-за этого получается, что цилиарная мышца все время находится в состоянии аккомодации для близи. И тогда те лучи, которые поступают параллельным пучком с дальних объектов в глаз, они сходятся за глазом и возникает стимул «отодвинуть экран», то есть удлинить глаз и происходит или возникновение близорукости, или ее прогрессирование. Поэтому этот объем работоспособности радиальных волокон надо непременно сохранять и поддерживать.

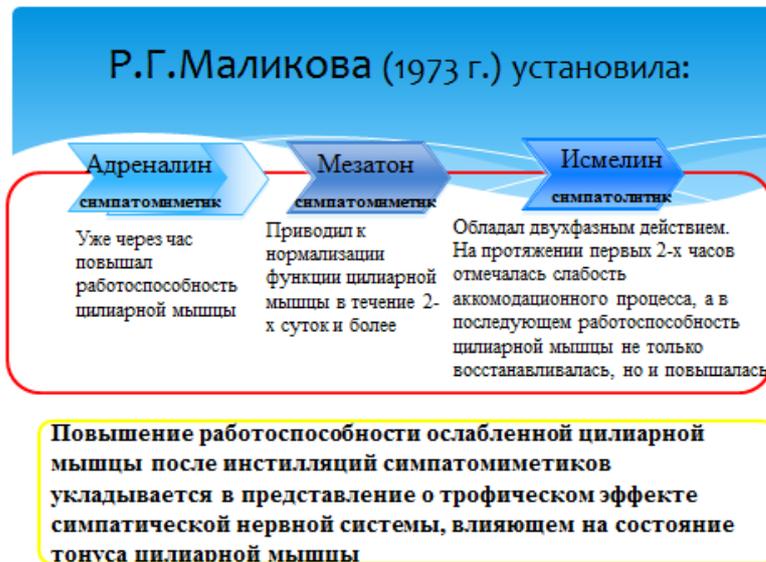
### G. Tornqvist (1966, 1967, 1970)

в опытах на обезьянах определял роль симпатической и парасимпатической нервных систем в иннервации аккомодации и установил, что инстилляция β – адренергических медиаторов тормозит положительную аккомодацию и ослабляет рефракцию покоя.

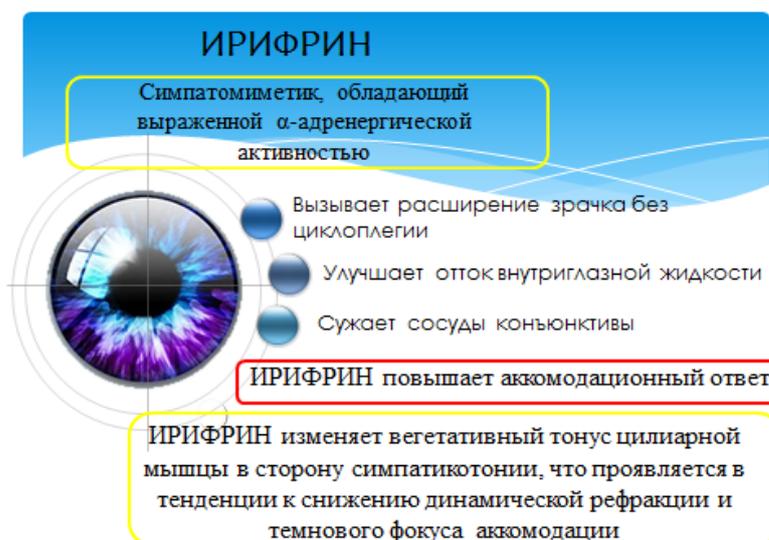
**Изменения аккомодации автор на основании реографических исследований связывал с изменением кровотока в цилиарной мышце под влиянием симпатомиметических веществ**

Как это делать? Каким-то образом ее стимулировать. А как стимулировать? Известно, что стимуляторами симпатического влияния являются альфа-адреномиметики. Уже довольно

давно в опыте на обезьянах известный ученый Торнквист обнаружил, что инстилляцией бета-адренергических медиаторов можно ослабить аккомодацию для близи и уменьшить рефракцию покоя. И кстати, он тоже связывал это с кровоснабжением, как я уже обращала ваше внимание, что цилиарная мышца и кровоснабжение, как близнецы-братья, очень связаны.

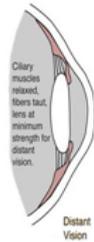


И уже довольно давно, Маликова, это была аспирантка руководителя нашего отдела профессора Эдуарда Сергеевича Аветисова, сравнивала несколько препаратов адреналиноподобного действия и остановила свое внимание на мезатоне (фенилэфрин), потому что у него было много преимуществ по сравнению с другими препаратами. Как она выяснила, при инстилляциях мезатона улучшается работоспособность цилиарной мышцы. И мы теперь понимаем почему это происходит.



Сейчас вместо мезатона у нас есть ирифрин. И на сегодняшний день это единственный препарат, который имеет возможность влиять на тонус цилиарной мышцы в нужном нам направлении.

## •Нарушения аккомодации при миопии: лечить ли не лечить?



• $\alpha$ -адреномиметики  $\Rightarrow$  стимуляция симпатического влияния  $\Rightarrow$  активация радиальных волокон цилиарной мышцы (мышцы Иванова)  $\Rightarrow$  стимуляция аккомодации вдаль  $\Rightarrow$  профилактика прогрессирования миопии?

Вот к чему мы пришли. Если мы применяем адреномиметики, то мы усиливаем симпатическое влияние и тогда мы помогаем нормально работать радиальным волокнам цилиарной мышцы, стимулируем аккомодацию вдаль, и можем как-то целенаправленно повлиять на возникновение и прогрессирование миопии.