

# Очевидная анатомия и невероятная физиология аккомодации

---

*Страхов Владимир Витальевич*

**Доктор медицинских наук, профессор, главный офтальмолог Ярославля и области**



## Очевидная анатомия и невероятная физиология аккомодации

Страхов Владимир Витальевич, д.м.н., профессор, главный офтальмолог Ярославля и Ярославской области

Анатомия аккомодации – интереснейший и сложный аспект. Физиология еще сложнее. И во всех разделах анатомии и физиологии есть немало проблем.

Есть такой наглядный интереснейший список – «бывшие в употреблении» теории аккомодации. Гипотезы, версии, теории... можно их называть, как угодно. Посмотрите, еще с 1611 года! А какие фамилии! Каждый из них интеллект, который предполагал свою версию, гипотезу, считал, что она действительно приближена к истине. Годы проходят, что-то остается, многое забывается, что-то не подтверждается, что-то развивается. Я бы хотел сегодня немного остановиться на том, что на сегодняшний день стало понятным, что утвердилось и чему можно верить.



Теория Германа Гельмгольца жива, никому не удалось ее загнать в угол. Наоборот, в углу оказались, как правило, гонители Гельмгольца.

А Герман Гельмгольц был убежден, что в ответ на сокращение цилиарной мышцы, цинновы связи расслабляются, тяга на капсулу уменьшается и хрусталик, в силу своей эластичности, начинает принимать более выпуклое положение. Это реализуется в усилении рефракции при рассмотрении предметов на близком расстоянии. Это действительно так. Я бы только хотел обратить Ваше внимание вот на какой момент: на картинке не только хрусталик изображен, но и, как Вы замечаете, ядро. Вот это фактически terra incognita, она плохо изучаема оптически. Не достаточно было методов исследования, чтобы все-таки попытаться разобраться, что именно происходит с ядром во время аккомодации. А между тем, величайший Гульшtrand в свое время как раз придавал большое значение влиянию ядра во время аккомодации. И об этом мы поговорим чуть позже.

Теория Адриана Глессера. Он теперь становится классиком, все ссылаются на его работы на живом глазу, его знаменитые опыты с обезьянами, когда он реально показал, как аккомодирует

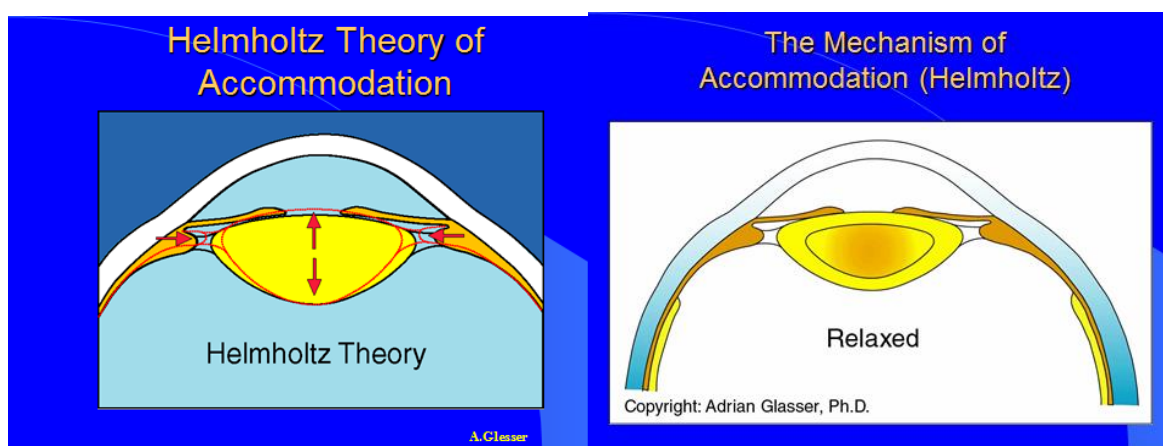
глаз и что происходит почти со всеми внутриглазными участниками этого процесса. Это очень важный момент, потому что теоретизировать можно сколько угодно, но лучше один раз увидеть, чем потом остаться в недоумении со всякими расчетами, в том числе математическими. И Адриан Глессер это сделал. И показал всему миру.

Известно, что во время аккомодации сокращается ресничная мышца, приближаясь к экватору хрусталика. Но хочу спросить у вас вот о чем. Не кажется ли вам, что в данном случае на слайде 2 мы видим сразу две диафрагмы. Одна диафрагма «зрачковая», которая регулирует диаметр зрачка, необходимый для компенсации больших или малых уровней освещенности. А вторая – не менее важная и очень явная – это «цилиарная» диафрагма, внутри отверстия которой находится хрусталик. И задача этой диафрагмы регулировать не поток света, а степень натяжения цинновых связок хрусталика.

Это удивительно! Но Радужка и цилиарное тело – ближайšie родственники, даже кровные родственники, обладающие схожими биомеханическими особенностями, мышечным каркасом. И в этом нет ничего удивительного. Другое дело, что конечный результат работы радужки и цилиарного тела преследует разные цели, один регулирует световой поток, другой – аккомодационный. Хотя и здесь не все так просто....

Я не открою для вас секрет, что ширина зрачка имеет отношение к приспособляемости глаза для четкого видения предметов на разном расстоянии. Ведь чем уже зрачок – тем больше глубина резкости. А глубина резкости – это возможность больше и четче видеть на близком расстоянии. То есть этот компонент, не рефракционный, а именно аккомодационный, выполняется именно за счет изменения ширины зрачка, в том числе, конечно.

Более того, Гельмгольц постулировал, что на вершине аккомодации сужается зрачок, а за пятьдесят лет до Гельмгольца Шейнер описывал, что при взгляде вдаль зрачок расширяется. Об этом забыли, и не обращают на это внимание, хотя эти постулаты – давняя реальность.

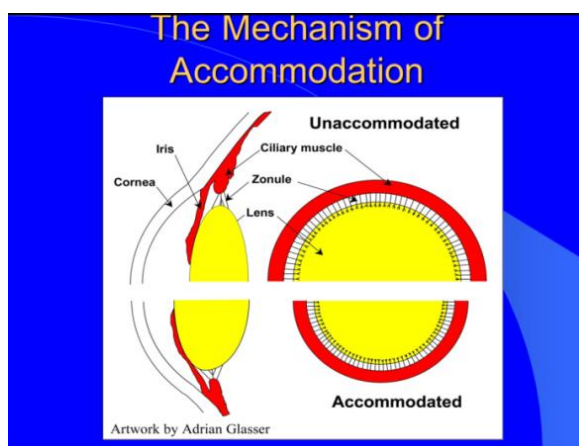


Адриан Глессер поместил в мозг обезьяны в ядро Вестфала-Эдингера электрод и при подаче электрического тока, сокращалась цилиарная мышца и корона цилиарного тела приближалась к экватору хрусталика, заметно уменьшало расстояние между ними. Это позволяет убедиться в гениальном предсказании Германа Гельмгольца. На момент максимального напряжения цилиарной мышцы, сама структура мышечной ткани мало меняется, она становится разве что



более плотной. Но сам факт уменьшения кольца цилиарного тела в ответ на возбуждение аккомодации - бесспорен.

Ниже изображена ситуация аккомодирующего и неаккомодирующего глаза. Видно, что это кольцо - меньшего диаметра. Это принципиально важно!



Я бы обратил еще внимание не только на корону цилиарного тела, но и на связочный аппарат. На снимках ультразвуковой биомикроскопии он совсем иначе выглядит, чем на картинках. На рисунках цинновы связки заканчиваются в короне. Нет!

Они, конечно, имеют промежуточные крепления в короне, но основное крепление в области *ora serrata*. Это безусловный факт.

Итак, как аккомодация выглядит в молодом возрасте. Возникает стимул к аккомодации для близи – кольцо цилиарного тела приближается к хрусталику – экватор хрусталика отодвинулся. Произошло то, что и описывалось Г.Гельмгольцем. Это краеугольный камень всех теорий. Если бы Шахар увидел это хотя бы один раз, то понял бы что на вершине аккомодации хрусталик не увеличивает свой экваториальный диаметр, а уменьшает. И это прямая дорога к тому, что на самом деле действуют эластические силы внутри хрусталика, а не растяжение его цинновыми связками. Именно поэтому отсутствие реальной анатомической базы для теоретических рассуждений позволило Р.Шахару закончить свою теорию. А в пожилом возрасте? В пожилом возрасте расстояние между экватором хрусталика и отростками *ma-lень-ко-е*. При сокращении цилиарная корона полностью приближается, практически касается экватора хрусталика. То есть при пресбиопии идет не только потеря эластичности, но и уменьшается рабочее расстояние аккомодации. Это тоже очень важно.

Во время лекции я говорю своим студентами: «Когда вы пошли в школу,, вам было 7 лет, то объем аккомодации был у вас 14 диоптрий, а на 5-м курсе института, когда вам 20 лет, объем аккомодации 10 диоптрий. Что случилось с вами, если объем аккомодации полностью зависит от эластичности хрусталика?» Они (студенты) всегда выглядят озабоченно: «Неужели мы так постарели?». Дело, конечно, не в старости. Какая может быть потеря эластичности в 20 лет? Хрусталик в этом возрасте суперэластичен. Но хрусталик внутри глаза растет. И он ежегодно на 20 микрон увеличивает свой размер. Увеличение размера хрусталика и объема, соответственно, – и есть уменьшение рабочего расстояния аккомодации. Вот и все. И экскурсии его уменьшаются, и объем аккомодации уменьшился тоже. Но когда наступает возраст тридцатилетний, когда на

самом деле уплотняется ядро, начинаются ядерные изменения, связанные с потерей эластичности, и начинается клиническое приближение пресбиопии.

В молодом возрасте эластичность хрусталика очень высока. В пожилом возрасте цилиарные волокна практически касаются экваториальной части хрусталика. Аккомодационная дистанция очень маленькая и поэтому биомеханический результат может свестись к нулю. То есть это тоже важная составляющая часть в развитии пресбиопии, дорогие коллеги, не только в потери эластичности.

Возникает вопрос – а сам-то хрусталик изменяется или нет? Скажем так: если бы он не изменялся, то край цилиарного тела непосредственного коснулся бы хрусталика. На самом деле он этого не достает, потому что хрусталик изменяет свой диаметр, уменьшая его. Это принципиальный вопрос касательно гидравлической информации экваториальных зон хрусталика.

Еще один момент – это появление аккомодационных аберраций хрусталика на высоте аккомодации. Они действительно есть. Этот факт заставил Рональда Шахара искать объяснение аберрациям. Какой у Шахара был ход мысли? Если изменение хрусталика зависит от его эластичности, то эластичность будет действовать во всех направлениях. То есть линза была сферической, сферической и станет. Стали проверять, и оказалось, что на вершине аккомодации возникли аберрации. И вот тут-то он и пришел к идее, что поверхность хрусталика становится не сферической, а асферической. И радиус кривизны центральной части хрусталика не таков как радиус кривизны периферии. Это надо объяснять, и одно из объяснений он и придумал, что растягивается периферия, а «набухает» центр. Но на самом деле, это не совсем так. Дело в том, что действительно сильные аккомодационные аберрации существуют и на момент аккомодации для близи более крутым становится центральная часть хрусталика. Однако, этот эффект может быть объяснен совсем по другому, не так как у Р.Шахара, причем объяснений может быть даже несколько. Американец Адриан Глессер считает, что ответственна неравномерная толщина передней капсулы хрусталика, в центральной зоне она тоньше (а это, действительно, факт), а вместе прикрепления цинновых связок, у экватора, она утолщается, образует как бы кольцо. В результате неравномерности толщины капсулы хрусталика чуть большую кривизну приобретает центральная часть хрусталика.

Лично у меня несколько другое мнение. Я думаю, что дело, скорее всего, в ядре хрусталика. Более плотное (хотя и эластичное) в молодом возрасте, но оно меняет свою конфигурацию в результате аккомодации. Об этом писал и построил свою нобелевскую лекцию Альвар Гульшранд. Называлась эта лекция удивительно просто: «Как я обнаружил механизм внутривнутрихрусталиковой аккомодации». Кстати, он единственный нобелевский лауреат из офтальмологов. Так вот он как раз и говорил, что принимает участие не только передняя поверхность хрусталика, но и внутреннее ядро, которое в ответ на изменение степени напряжения капсулы хрусталика меняет свою конфигурацию на более выпуклую. И вот этим вполне можно объяснить асферичность хрусталика на высоте аккомодации для близи.

■ Альвар Гульстранд.

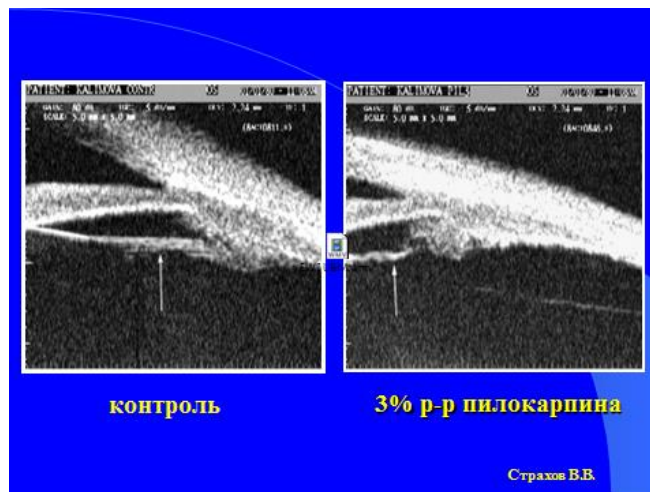
Автор Нобелевской лекции "Как я обнаружил механизм интракапсулярной аккомодации" Нобелевская премия (1911).

ПЕРВЫМ, БОЛЕЕ 100 ЛЕТ НАЗАД, ВЫСКЗАЛ ИДЕЮ АКТИВНОЙ АККОМОДАЦИИ ДЛЯ ДАЛИ ПОД ВЛИЯНИЕМ СИМПАТИЧЕСКОЙ ИННЕРВАЦИИ



Итак, на сегодняшний день абсолютно доказано, что сокращение меридиональной и циркулярной мышцы цилиарного тела под воздействием пилокарпина (или другого стимула к аккомодации, медикаментозного, электрического или естественного) приводит к расслаблению связочного аппарата хрусталика в полном соответствии с теорией Германа Гельмгольца.

Мы в Ярославле неплохо на эту тему поработали и вот что увидели при ультразвуковой биомикроскопии, единственном методе, позволяющем реально увидеть цинновы связке в работе и реальной жизни.



Смотрите, это медикаментозная модель аккомодации для близи. В исследовании принимали участие студенты - добровольцы, которым закапывались препараты влияющие на тонус цилиарной мышцы, поскольку при ультразвуковой биомикроскопии нельзя естественным способом возбудить аккомодацию.

Тонус покоя аккомодации, который превышает обычный тонус – это из физиологии, поскольку тонус вегетативной нервной системы – это ее обязательное свойство. Без тонуса - вегетативной системы не существует. Мы в иннервации аккомодации все бродим вокруг парасимпатической нервной системы, ее преобладании. А вот вегетативная иннервация сосудистой системы, например, полностью построена на тонусе симпатической нервной системы. Там тонус симпатикуса задает просвет сосудов. Если импульс его больше базового – он еще сузит сосуд, если меньше – наоборот, расширит. Один и тот же отдел вегетативной нервной системы (симпатический) совершает два противоположных биомеханических поступка. Суживает и

расширяет. Супер! Здорово! Эргономично! Так и должна работать система большая, огромная, емкая. Тонус – важная вещь. Я хочу сказать, что именно в формате изменения тонуса покоятся все практически без исключения нарушения аккомодации, о которых мы говорим. Не близорукость! Близорукость – это осевые проблемы, структурная..., я имею в виду функциональные расстройства аккомодации. Однако вернемся к физиологии. Не все системы в организме иннервационно устроены, по подобию сосудистой системе. Причем сама вегетативная нервная система, как известно, имеет два конкурирующих отдела, которые взаимно дополняют и влияют друг на друга, создают устойчивые механизмы той или иной подвижности, в тех или иных потребностях. Понятно? Нет? Для примера - у нас же перед глазами радужка. Она в точности построена именно по такому принципу – есть сфинктер с парасимпатическим влиянием, есть дилататор - симпатическое влияние. Кстати, любопытно, а зачем в радужке дилататор? И вообще, почему бы не устроить регуляцию с помощью одного отдела – парасимпатического, например, как впрочем и считается.

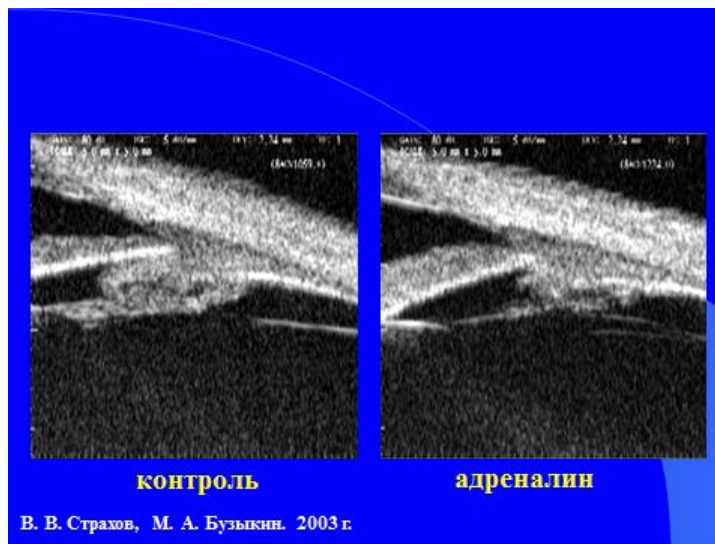
Почему так не сделать в радужке? Ну, действительно, был бы сфинктер один, был бы сокращен до какого-то уровня. И если бы этот стимул был выше тонуса, зрачок суживался бы, если ниже тонуса – расширялся бы. Было бы замечательно. Однако, радужка не эластична, она не способна самостоятельно обратно возвратиться. Те, кто оперирует – точно это знают. Радужка безвольная скользкая ткань. Чтобы ей вернуться в суженное состояние – природа так создала - нужен дилататор, который работает самостоятельно и при ослаблении тонуса парасимпатической нервной системы берет на себя функции начинает активно себя вести под управлением симпатического отдела ВНС.

Мы же знаем, что расширить зрачок можно двумя способами: либо парализовав сфинктер, атропином, либо активировав дилататор Адреналином. Вот мы капнули каплю атропина, он парализовал мышцу, и он ничего не стимулирует.... и речи о движении чего либо нет вообще, полное бездействие... Но в ответ на это, находящийся в противофазе, под воздействием симпатической системы дилататор освобождается и приходит в тонус. Если же мы капнем симпатомиметик, адреналин, например, или фенилэфрин, известный в офтальмологии как Ирифрин, и вызовем сокращение дилататора, то он перетянет сфинктер, и зрачок будет широкий. А если адреналин вдруг самостоятельно хлынул в кровь, ну, человек испугался, например, то что возникает? Реализуется известная поговорка – «У страха глаза велики», и расширяется зрачок.

Мы начали наш разговор с сопоставления двух действующих диафрагм, радужной и цилиарной. Действие радужки построено на двойственном механизме. А «кровный брат» радужки, цилиарное тело, тоже может работать по этим же принципам. Только нужно поискать, кто исполнитель, и насколько реально он может откликаться на стимуляцию симпатической нервной системы.

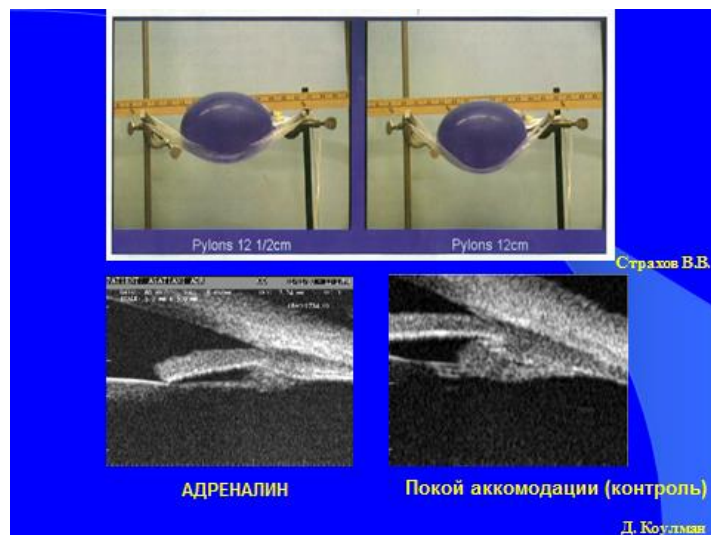
До ультразвуковой биомикроскопии это было невозможно, этот таинственный угол под корнем радужки никто не видел. Никогда! А с ультразвуковой биомикроскопией это стало возможно.

И вот мы в эксперименте взяли и закапали адреналин. И обнаружили...



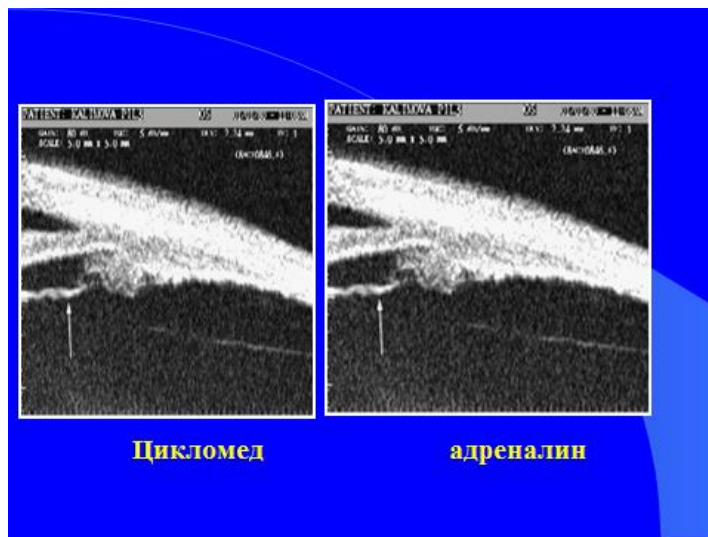
Во-первых, изменилась конфигурация цилиарного тела. Видно?

А во-вторых, изменилось расстояние от экватора до короны цилиарного тела. Итак, какие выводы мы делаем? Что имеется какая-то двигательная активность. Эта двигательная активность кем возбуждена? Прямым лекарственным веществом, адреналином, симпатическим представителем. О нем мы прежде даже и не думали, а считали, что в аккомодации только парасимпатика работает. А на самом деле работает, и мощно работает, симпатомиметик. Хотя и раньше были работы, например профессора Л.М.Деева, которые свидетельствовали о скоплении адренергических нервных окончаний в области радиальных волокон, мышцы Иванова цилиарного тела.



Очень важный слайд, посмотрите! Аккомодация в модели – штативы, расположенные на расстоянии 12,5 см друг от друга. Между ними натянута пленка (цинновы связки), где свободно лежит шарик, заполненный водой, имитирующий хрусталик. При сближении опор-штативов всего на 0,5 см, смотрите, как изменилась форма хрусталика, как провисли цинновы связки, и сократилась цилиарная мышца. Давление в стекловидной полости на высоте аккомодации смещает всю конструкцию кпереди.





(Страхов В.В.)

А посмотрите на эту картинку. Похожи фотографии?

Вот также как внешне трудно отличить мидриаз адреналиновый от атропинового, также трудно отличить состояние двигательного аппарата цилиарного тела при циклоплегии (воздействие холинолитиков, цикломед) и при воздействии симпатомиметиками (адреналин, Ирифрин). То есть, то, что происходит в цилиарном теле в различных медикаментозных моделях аккомодации с биомеханической точки зрения очень похоже.

Теперь давайте признаемся. Когда мы рассматриваем циклоплегическую ситуацию, то мы говорим о вызванном покое аккомодации. Да? Так ведь? А под покоем аккомодации (со стороны рефракции) мы понимаем установку глаза вдаль. Верно? Так вот если здесь (картинка с цикломедом, Страхов В.В.) мы говорим о том, что глаз установлен вдаль, то тогда здесь (картинка с адреналином) что должны сказать? Циклоплегия? Нет, так как это активность совсем другого лекарственного вещества.

Таким образом, под воздействием адреномиметиков обнаружена мышечная активность короны цилиарного тела, что приводит к натяжению связочного аппарата хрусталика. А вот натяжение связочного аппарата хрусталика может выдать только одну позицию, а именно уплощение передней поверхности хрусталика. А уплощение передней поверхности хрусталика и есть уменьшение его преломляющей способности. Не намного. На 1 диоптрию. Но все-таки это хороший результат.

В результате нашей беседы вы, я надеюсь, начинаете понимать, что на самом деле существует активная аккомодация вдаль. Не только аккомодация вблизи, но и активная аккомодация вдаль, которая реализуется через двигательную активность мышцы Ивана, стимулируемой симпатической нервной системой.

## **Клинические признаки активной аккомодации для дали**

1. **Время настройки аккомодации для дали < времени настройки аккомодации вблизи.**
2. **Расширение зрачка.**
3. **Энергозатратность аккомодации для дали.**
4. **Ослабление рефракции при электростимуляции симпатической НС.**
5. **Ослабление рефракции под действием адреномиметиков, например Ирифрина.**
6. **Усиление рефракции при параличе симпатической иннервации (синдром Горнера).**
7. **«Темновой фокус».**
8. **Дефицит аккомодации при аккомодографии**  
..... и др.

Страхов В.В.

«Покой» аккомодации – это состояние без зрительного стимула, при котором рефракция глаза в безориентирном пространстве усиливается, примерно, на 1,0 D. Это и есть рефракционный эквивалент тонуса «покоя» аккомодации или «темновой фокус».