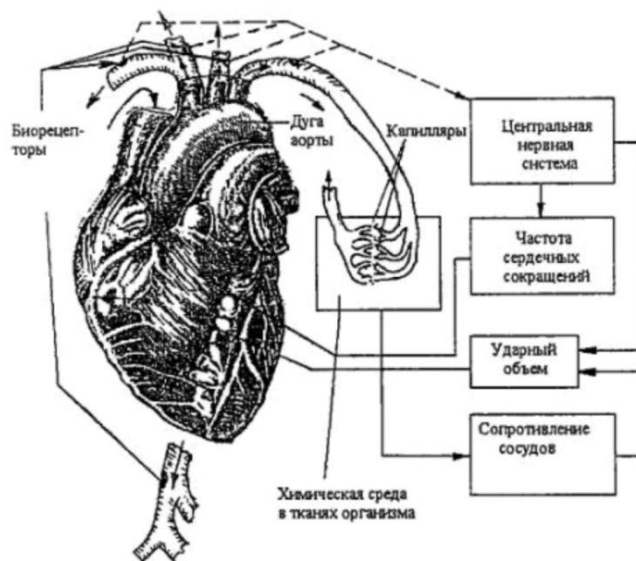


Лекция 8

Система управления кровообращением. Система стабилизации величины зрачка глаза

Она состоит из двух контуров управления. Первый управляет артериальным давлением. Измерение давления производится биорецепторами - чувствительными элементами, расположенными в дуге аорты и в сонных артериях. Информация о давлении поступает в центральную нервную систему, управляющую частотой сердечных сокращений и величиной ударного объема - количеством крови, вырабатываемой за одно сокращение сердца. Второй контур следит за постоянством химической среды в тканях организма. Изменение химического состава межклеточной жидкости приводит к изменению сопротивления сосудов, что непосредственно влияет на величину ударного объема сердца.



На частоту сердечных сокращений значительное влияние оказывает дыхание. Это влияние осуществляется главным образом через систему блуждающего нерва. (**Блуждающий нерв** (лат. *nervus vagus*) — X пара черепных нервов. Является смешанным. Обеспечивает:

- двигательную иннервацию мышц мягкого нёба, глотки, гортани, а также поперечно-полосатых мышц пищевода

- парасимпатическую иннервацию гладких мышц лѐгких, пищевода, желудка и кишечника (до селезѐночного изгиба ободочной кишки), а также мышцы сердца. Также влияет на секрецию желез желудка и поджелудочной железы
- чувствительную иннервацию слизистой оболочки нижней части глотки и гортани, участка кожи за ухом и части наружного слухового канала, барабанной перепонки и твѐрдой мозговой оболочки задней черепной ямки.)

В регуляции частоты сердечных сокращений участвуют как местные механизмы (саморегуляция), так и высшие отделы центральной нервной системы (ЦНС) - (управление). В *первой регулирующей системе* основную роль играют изменения тонуса блуждающего нерва, которые влияют на величину порогового потенциала и крутизну деполяризации клеток синусового узла, а также на проницаемость клеточных мембран и отношения ионных концентраций калия и натрия. Это ведет к изменению продолжительности сердечного цикла (рис. 6.7).

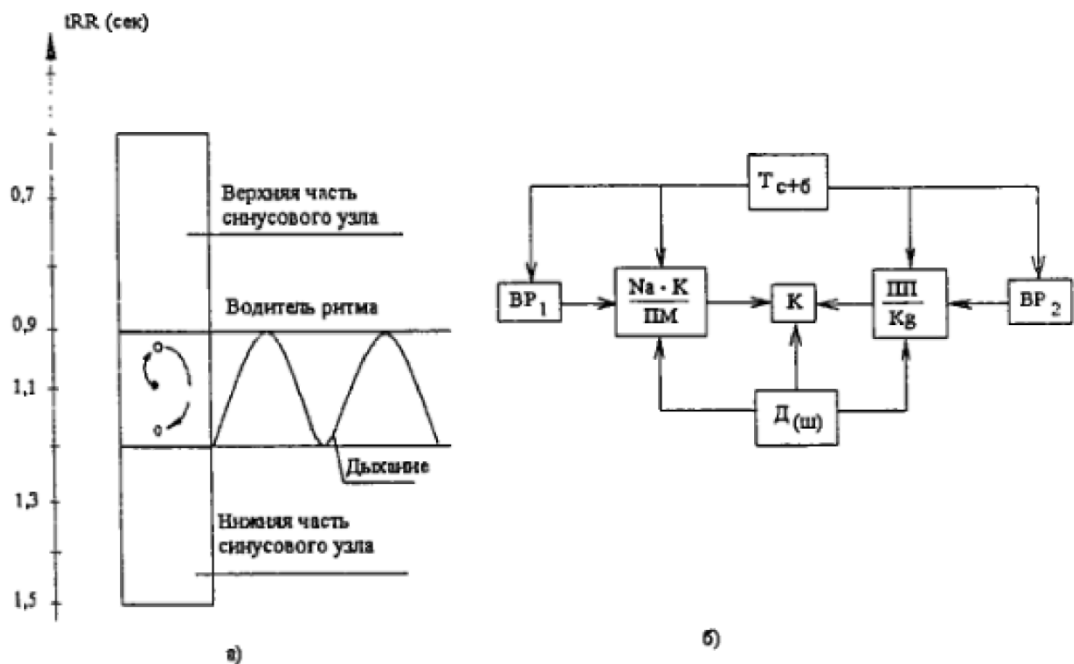


Рис. 6.7. – Регулирующая система синусового узла

а) изменение положения водителя ритма в связи с дыханием; в) блок-схема информационной управляющей системы синусового узла; $BP1$, $BP2$ - клетки-водители ритма, $Na-K$ - концентрация ионов натрия и калия; PM - проницаемость клеточных мембран; $ПП$ - пороговые потенциалы; Kg - крутизна деполяризации; K - канал связи; $Tc+b$ - тонус симпатического и блуждающего нерва; $D(ш)$ - дыхание (шум)

Средняя частота пульса зависит от того, в какой части синусового узла расположен водитель ритма-группа клеток, управляющих автоколебательным процессом. Клетки, расположенные в верхней части синусового узла, обладают повышенной возбудимостью и в роли водителя ритма обеспечивают более высокую частоту пульса.

При возбуждении блуждающего нерва происходит подавление «инициативы» клеток с высокой возбудимостью и роль водителя ритма переходит к клеткам, расположенным в средней или нижней части синусового узла. Вследствие рефлекторного влияния дыхания на тонус блуждающего нерва происходят периодические изменения положения водителя ритма в синусовом узле в такт с дыханием или, точнее, с дыхательными колебаниями тонуса блуждающего нерва. Таким образом, происходит как бы модуляция сигналов, вырабатываемых синусовым узлом, процессами, связанными с дыханием. При этом деятельность синусового узла может быть представлена как приспособительная, обусловленная компенсаторной реакцией сердца на действие факторов, связанных с дыхательными движениями: изменение притока-оттока крови, изменение давления в грудной полости и т.п. С точки зрения автора регулирующей системы синусового узла дыхание можно рассматривать как возмущение, как шум, как помеху.

Уменьшение синусовой аритмии при физической нагрузке, при введении атропина, при вдыхании амилнитрита (*амилнитрит* применяют как сосудорасширяющий лекарственный препарат. Его вдыхают при приступах стенокардии, иногда —

при эмболии центральной артерии сетчатой оболочки глаза; при вдыхании паров изоамилнитрита происходит быстрое, но непродолжительное расширение кровеносных сосудов, особенно венечных сосудов сердца и сосудов мозга. Используется также как противоядие при отравлении синильной кислотой и её солями. Противопоказано применение изоамилнитрита при глаукоме.) может интерпретироваться как процесс оптимизации информационной системы, ведущей к повышению ее надежности. При этом происходит сужение частот информационного канала. *Второй контур управления* ритмом сердечных сокращений обеспечивает поступление регулирующих сигналов от ЦНС.

Имеются два пути экстракардиальных воздействий на сердце: нервный и гуморальный. **Гуморальная регуляция** — один из эволюционно ранних механизмов регуляции процессов жизнедеятельности в организме, осуществляемый через жидкие среды организма (кровь, лимфу, тканевую жидкость, полость рта) с помощью гормонов, выделяемых клетками, органами, тканями. У высокоразвитых животных, включая человека, гуморальная регуляция подчинена нервной регуляции и составляет совместно с ней единую систему нейрогуморальной регуляции. Продукты обмена веществ действуют не только непосредственно на эффекторные органы, но и на окончания чувствительных нервов (хеморецепторы) и нервные центры, вызывая гуморальным или рефлекторным путём те или иные реакции.

Информация, передаваемая гуморально имеет важное значение для обеспечения необходимого уровня работы сердечно-сосудистой системы. Однако команды, передаваемые гуморальным путем, характеризуются замедленной передачей. Эффективность гуморального канала ниже, чем нервного, хотя его помехоустойчивость и надежность выше благодаря более совершенному «кодированию» информации.

Управление через системы симпатического и блуждающего нервов эволюционно развивалось более поздно, чем управление по гуморальному каналу, Оно предназначено для обеспечения оперативных реакций на различные внешние воздействия первичного или кратковременно характера-

Устойчивое приспособление к изменяющимся условиям внешней среды осуществляется по гуморальным командам, которые поступают к сердцу и к синусовому узлу вслед за нервными. При этом нервные команды носят в отдельных случаях предварительный характер, подготавливают почву для наилучшего восприятия основной, исполнительной команды, поступающей по гуморальным путям. Дублирование команд, выделение предварительной и исполнительной команды - это, по-видимому, тоже один из механизмов повышения надежности системы управления.

Рассматривая гуморальные команды, поступающие к синусовому узлу, следует отметить, что динамика выделения в кровь продуктов деятельности эндокринной системы может существенно влиять на ритм сердечных сокращений. Так хорошо известно влияние гормона Щитовидной железы на частоту пульса. При базедовой болезни наблюдается тахикардия, при микседеме - брадикардия. **Микседема** (от греч. *múxa* — слизь и *óidēma* — опухоль, отёк), слизистый отёк, заболевание, обусловленное недостаточностью (гипотиреоз) или полным выпадением функций щитовидной железы. Введение адреналина аналогично возбуждению симпатической системы. Гормоны влияют не только на пульс, но и на другие физиологические функции.

Система стабилизации величины зрачка глаза

Глаз является одним из основных чувствительных органов, с помощью которого они получают необходимую информацию об окружающей среде и на ее основе принимают соответствующие решения о своем поведении.

Схема данной биосистемы представлена на рис. 6.8.

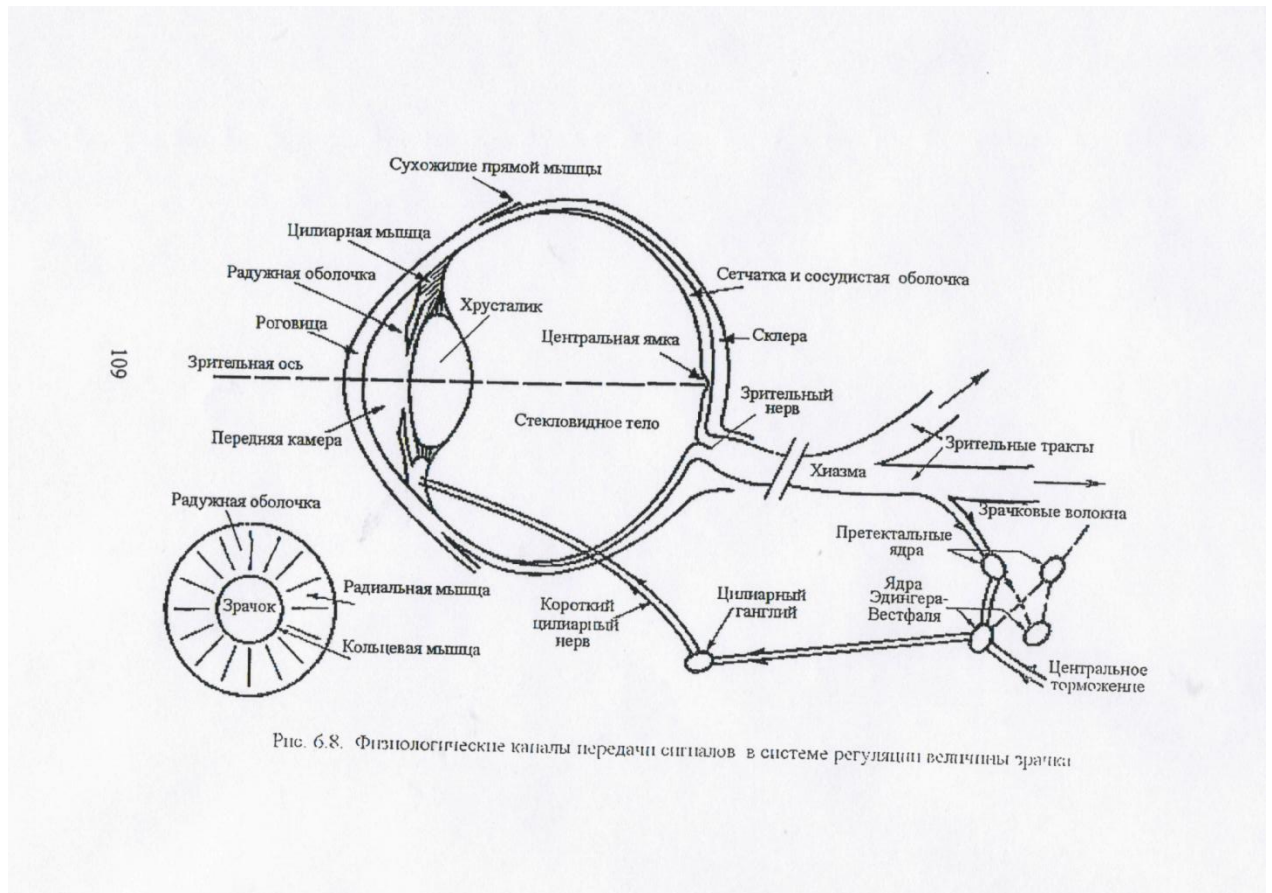


Рис. 6.8. Физиологические каналы передачи сигналов в системе регуляции величины зрачка

В радужной оболочке 1 глаза, непроницаемой для света, имеется отверстие 2 - зрачок, поток света через зрачок поступает в глаз. Система управления для нормального процесса видения обеспечивает правильную освещенность сетчатки 3 глаза в зависимости от различной освещенности рассматриваемых предметов. Кроме того, эта система обеспечивает четкое расположение близко расположенных предметов, благодаря тому, что не пропускает лучи, которые проходят через периферию хрусталика 4, где оптическая аберрация (искажение траектории частицы или недостаточная отчетливость изображений, даваемых оптическими приборами) максимальна. Величина зрачка изменяется с помощью двух мышц-антагонистов радужной

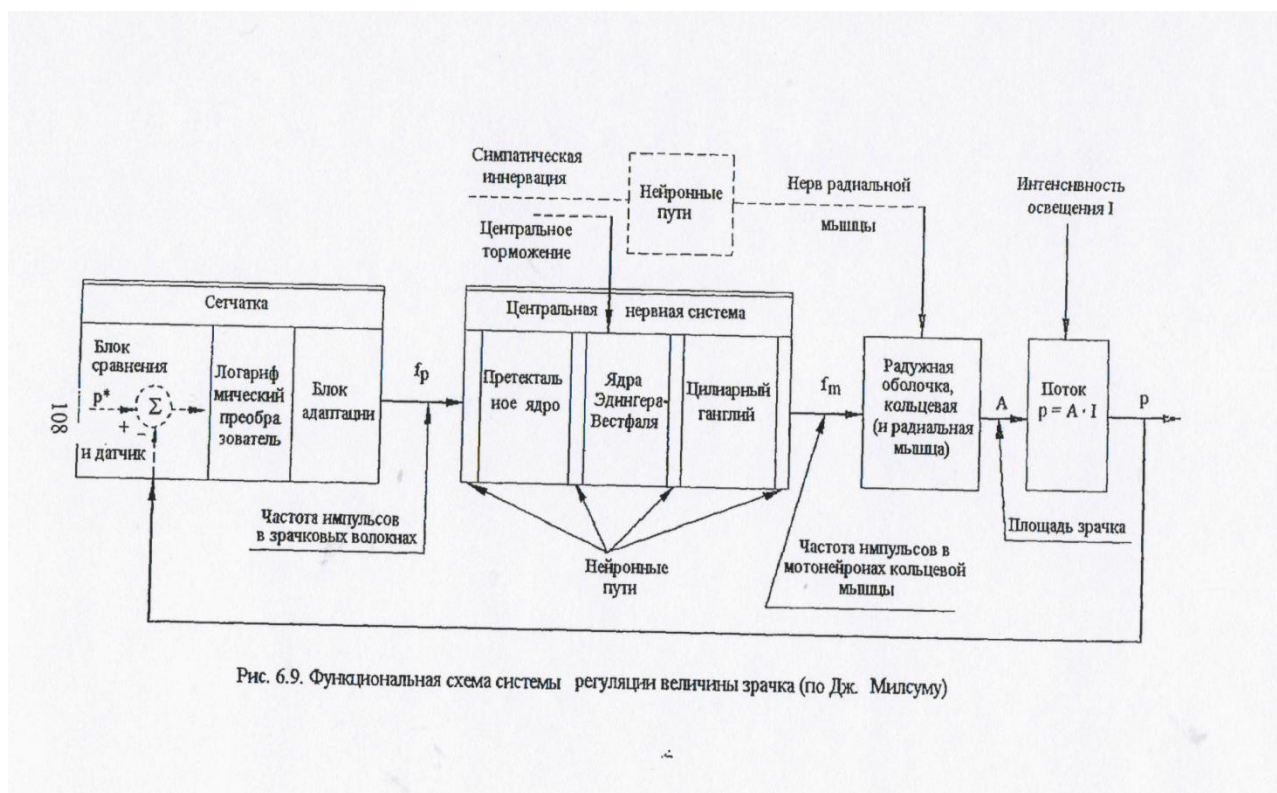
оболочки глаза: радиальной 5 (дилататора), расширяющей зрачок, и кольцевой 6 (сфинктера), сужающей его. Однако кольцевая мышца более развита и является управляющим органом зрачка.

Суть процесса управления заключается в следующем. Световой поток, проходя через зрачок 2 радужки 1, попадает на фоторецепторы сетчатки 3 глаза. Возбуждаясь, последние передают сигналы по волокнам зрительного нерва 7, которые несут как зрительную информацию, так и информацию об управлении зрачком. В составе зрительного нерва 7 зрачковые волокна, несущие информацию о состоянии зрачка, соединяются с пучком нервных волокон 8, идущих к кольцевой мышце. Поступающие по этому каналу сигналы воздействуют на мышцы 5, 6, изменяющие величину зрачка.

Зрачковый рефлекс может быть вызван либо изменением интенсивности раздражения частичной области сетчатой оболочки глаза (в этом случае изменяется частота импульсов в определенных нервных волокнах), либо увеличением возбуждения площади сетчатки, что приводит к возбуждению большого количества нервных волокон. Естественно, что чем больше света на сетчатке, тем больше фото рецепторы увеличивают интенсивность выходных нервных сигналов.

Кроме основного контура управления зрачком, на его величину влияет контур аккомодации, изменяющий степень преломления хрусталика на коротких и длинных расстояниях с помощью ресничного нерва 9 и ресничной мышцы 10, а также различные связи, несущие информацию об эмоциональном состоянии человека или животного в целом. Основная задача системы регуляции величины зрачка состоит в том, чтобы обеспечить ясное видение близко расположенных предметов; но для получения четкого изображения их на сетчатке глаза нужно, чтобы на нее не попадали лучи, проходящие через периферию хрусталика, где оптическая абберация максимальна. Важно отметить, что системы регуляции, обеспечивающие сходимость зрительных осей, аккомодацию и сужение зрачка, должны работать согласованно, и только в этом случае удастся получить ясное

изображение близко расположенных предметов. Таким образом, важен вопрос о взаимосвязях между этими системами. Функциональная схема системы регуляции величины зрачка приведена на рис. 6.9.



В сетчатке формируется разность между текущим значением сигнала о световом потоке (P) и требуемым его значением (P^*). При этом обязательно существование физиологического блока сравнения, формирующего сигнал ошибки. Достаточно выделение данной функции чисто с методологической точки зрения.

Это хорошо известный закон Вебера-Фехнера. Соответствующий график показан на рис. 6.10.

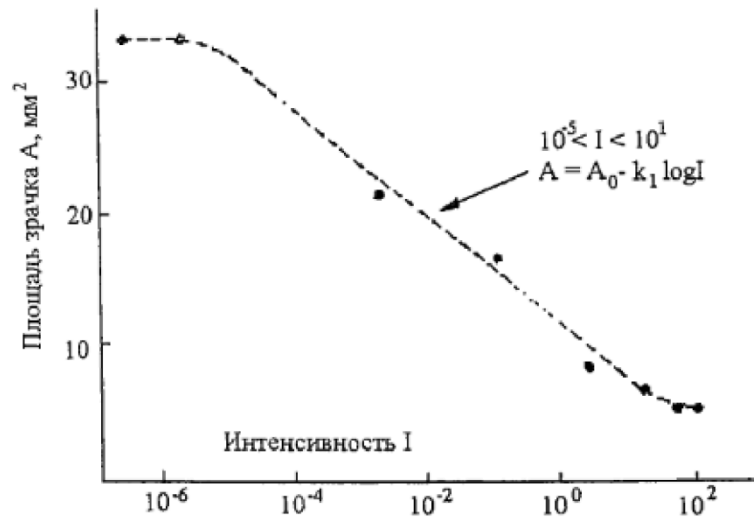


Рис. 6.10. Характеристика логарифмической чувствительности площади зрачка к интенсивности освещения

Блоки сетчатки: блок адаптации. Логарифмическая чувствительность сетчатки характеризует установившееся состояние некоего нейрхимического процесса, детали которого здесь не рассматриваются. При изменении интенсивности света наблюдается медленный переход от старой площади зрачка, установившейся в результате адаптации, к новой. Время, необходимое для адаптации, меняется в зависимости от направления изменения. Так, адаптация к свету происходит довольно быстро и завершается приблизительно за 1 мин, а адаптация к темноте требует до 30 мин.

Блок сетчатки как единого целого. На нашей схеме сетчатка в целом представлена тремя последовательно связанными блоками, выполняющими функции блока сравнения, преобразователя с логарифмической чувствительностью и блока, реализующего динамическую адаптацию. С физиологической точки зрения провести такое деление на реальной сетчатке очень трудно, так как каждый подпроцесс неразрывно переплетается с другими в едином нейрхимическом процессе. Простым критерием делимости подпроцессов служит возможность выделения причинно-связанных входных и выходных величин, осуществляющих связь между подпроцессами, а этого, конечно, сделать не удастся. Таким образом,

указанный здесь порядок следования этих трех блоков до некоторой степени произволен, и выбрать удовлетворительным образом входные и выходные переменные удастся только для всего блока сетчатки в целом. Ими служат соответственно суммарный световой поток p , падающий на сетчатку, и частота импульсов в зрачковых волокнах f_p , причем предполагаемое эталонное значение входного потока p^* генерируется изнутри.

Передача сигналов в центральной нервной системе. Построить модель канала передачи информации через центральную нервную систему к сфинктеру довольно просто, если только не вдаваться в детали процесса, посредством которого осуществляется передача. Нейроны можно при этом рассматривать как простые линии передачи, характеризующиеся некоторой величиной запаздывания, что связано с конечной скоростью передачи. Для крупных миелинизированных волокон, типичных: для системы управления скелетными мышцами, эта скорость составляет 70-120 м/с, поэтому запаздывание в соответствующих «линиях передач» системы управления зрачковым рефлексом обычно не превосходит 1 м/с, и следовательно, им можно пренебречь по сравнению с запаздыванием, обусловленным другими причинами.

Информационное содержание нейронных сигналов. Почти во всех системах решается задача управления непрерывными, аналоговыми величинами (давлением, температурой, напряжением мышц и т.п.). По этой и по ряду других причин кажется вероятным, что дискретность нейронных импульсов (спайки, потенциалы действия), характерная для передачи сигналов по нерву, еще не определяет "цифрового" характера обработки информации в нервной системе. Скорее дело здесь обстоит таким образом, что полезную информацию несет величина, обратная среднему интервалу между последовательными импульсами. Эта величина определяет «среднюю» частоту импульсов и существенно непрерывна. Поэтому она идеально подходит для передачи информации о непрерывных физических величинах. На самом же деле для усиления сигнала природа воспользовалась

еще и дополнительным средством -вовлечением большого числа нейронов. Поэтому в дальнейшем, говоря о частоте импульсов, мы будем иметь в виду все проявления интенсивности сигнала, выражающиеся как в увеличении их частоты, так и в увеличении числа возбужденных нейронов.

Основной эффектор системы регуляции величины зрачка; кольцевая мышца. Выходным сигналом блока центральной нервной системы является частота импульсов f_m в мононейронах кольцевой мышцы- основного исполнительного устройства, осуществляющего изменения размера зрачка. Состояние радиальной мышцы, естественно, также играет определенную роль, а поэтому его следует учесть как дополнительный входной сигнал. Наконец, выходным сигналом блока радужной оболочки служит площадь зрачка A . Поведение этого блока предполагает использование механических усилий, и перемещение масс, а потому имеет неизбежно динамических характер.

Объект управления - световой поток, падающий на сетчатку. На сетчатку падает извне свет неконтролируемой и непредсказуемой интенсивности. Предположим, что сетчатка пытается регулировать или поддерживать на существенно постоянном уровне падающий на нее суммарный световой поток, по крайней мере, до завершения более медленных процессов адаптации.

Суммарный световой поток равен произведению интенсивности света I на площадь зрачка A и поэтому его можно регулировать, уменьшая A каждый раз, когда увеличивается I . Таким образом, объект управления описывается алгебраическим уравнение, связывающим между собой A , I , и p , и несколько необычен в том отношении, что не обладает динамическими свойствами. Другими словами, в этой модели предполагается, что p передается от зрачка к сетчатке со скоростью света, т.е. что соответствующее запаздывание пренебрежимо мало по сравнению с тем, которое обуславливается физиологическими причинами.