

Лекция 20

Анатомия и физиология зрительной системы

Функция глаза состоит в получении и передаче зрительной информации от окружающей среды в сенсорные области головного мозга.

Зрительный образ проецируется на рецепторы сетчатки глаза благодаря сложной оптической системе. Сетчатка образована густой сетью рецепторов и связанных с ними нейронов, извлекающих информацию о таких параметрах зрительного раздражителя, как, в частности, интенсивность, свет, размер, кривизна и скорость перемещения. Эта информация передается по зрительному нерву к зрительным областям мозга, где происходит ее анализ.

Глаз представляет собой сферический орган, покрытый плотной фиброзной оболочкой, склерой. Склера спереди переходит в прозрачную роговицу. Внутренняя поверхность склеры выстлана двумя тонкими оболочками — сосудистой и сетчаткой. Сосудистая оболочка, содержащая многочисленные сосуды, питающие глаз, расположена между склерой и сетчаткой. Сетчатка — это слой, образованный нервными элементами: здесь расположены фоторецепторы и вставочные нейроны. Аксоны ганглиозных клеток сетчатки образуют зрительный нерв.

Хрусталик делит глаз на два отсека с жидким содержимым: передняя камера заполнена водянистой влагой; позади хрусталика находится сосудистая масса — стекловидное тело. Перед тем, как попасть на сетчатку, свет должен пройти через прозрачную роговицу, водянистую влагу, зрачок, хрусталик и стекловидное тело.

Поступающий в глаз световой поток регулируется радужкой, изменяющей размер зрачка. В радужке имеются две группы мышечных волокон, суживающие и расширяющие зрачок. Мышца, суживающая зрачок (сфинктер) состоит из окружающих отверстие циркулярных волокон, тогда как мышца, расширяющая зрачок (дилататор) образована радиальными волокнами, отходящими от зрачка подобно спицам колеса. Сфинктер иннервируется парасимпатическими нервами, а дилататор — симпатическими.

На ярком свете радужка сокращается, и входящий в глаз световой поток уменьшается. При увеличении освещения нейроны посылают импульсы по парасимпатическим волокнам, иннервирующим сфинктер зрачка. Если уровень освещения снижается, то нейроны тормозят активность парасимпатических волокон, что приводит к расслаблению сфинктера и расширению зрачка. Возбуждение симпатических нервов при эмоциональной или физической нагрузке сопровождается активным расширением зрачка в результате сокращения волокон дилататора.

Оптическая схема глаза сходна с фотоаппаратом. Роговица и хрусталик фокусируют лучи на сетчатке, содержащей слой фоторецепторов; последние запечатлевают зрительный образ в виде изменений электрических потенциалов. Возбуждение фоторецепторов световыми лучами аналогично экспозиции пленки в фотоаппарате.

Прохождение световых лучей через искривленную поверхность, разграничивающую две среды с различной оптической плотностью, сопровождается преломлением лучей, или рефракцией. Если лучи от отдаленного источника проходят через двояковыпуклую линзу, то в результате преломления они сходятся в некой точке зади этой линзы — фокусе. Преломление зависит от угла падения световых лучей на поверхность линзы; чем больше угол падения, тем сильнее преломление луча. Лучи, проходящие через центр линзы перпендикулярно к ней, не преломляются вовсе.

Диоптрия — это величина, обратная фокусному расстоянию. Общая преломляющая сила глаза составляет примерно 66,7 диоптрии. При прохождении лучей через глаз они преломляются на четырех поверхностях раздела: 1) между воздухом и роговицей; 2) между роговицей и водянистой влагой; 3) между водянистой влагой и хрусталиком; 4) между хрусталиком и стекловидным телом.

Если, не напрягая глаз, рассматривать предмет, удаленный не более чем на 6 м, то изображение его будет размытым. Это связано с тем, что преломляющая сила глаза оказывается недостаточной, чтобы сфокусировать изображение на сетчатке. Для того чтобы изображения близлежащих предметов могли фокусироваться на сетчатке, существует аккомодационный рефлекс, под влиянием которого преломляющая сила глаза может увеличиваться на 14 диоптрий.

При аккомодации преломляющая сила глаза возрастает в результате увеличения кривизны хрусталика. Эта кривизна изменяется вследствие сокращения кольцевой ресничной мышцы, окружающей хрусталик. Хрусталик как бы подвешен в центре этого кольца на радиальных волокнах цинновой связки. Ресничная мышца сокращается под действием парасимпатических волокон, идущих в составе глазодвигательного нерва. Когда взгляд переводится с отдаленного предмета на близлежащий предмет, то эти волокна возбуждаются и ресничная мышца сокращается. При этом уменьшается диаметр образованного его мышечного кольца. Так как волокна цинновой связки вплетаются в это кольцо, то при уменьшении его диаметра они расслабляются, снижение натяжения связок позволяет эластическому хрусталику принять сферическую форму; при этом преломляющая сила глаза увеличивается.

Возбуждение парасимпатических волокон при рассматривании близлежащего предмета приводит также к сужению зрачка в результате сокращения его сфинктера. Периферические лучи не попадают на сетчатку, и глубина резкости увеличивается. На сетчатке формируется более четкое изображение.

Острота зрения отражает способность оптической системы глаза строить четкое изображение на сетчатке. Она измеряется путем определения наименьшего расстояния между двумя точками, при котором их изображения не сливаются. Это расстояние должно быть достаточным для того, чтобы лучи от обеих точек попадали на разные рецепторы сетчатки. В норме острота зрения равна углу в 1'.

Остроту зрения можно проверить с помощью таблиц Снеллена.

У многих людей изображение на сетчатке всегда получается нечетким. Это бывает связано либо с необычной формой глазного яблока, либо с неправильной кривизной роговицы или хрусталика.

Дальновзоркость, или гиперметропия, возникает в результате укорочения глазного яблока. Расстояние между хрусталиком и сетчаткой слишком мало, и фокус оказывается позади сетчатки. Этот дефект исправляется ношением очков с выпуклыми линзами, увеличивающими преломляющую силу глаза.

Люди с удлинёнными глазными яблоками страдают близорукостью (миопией). В этом случае четкое изображение формируется впереди сетчатки. Для исправления этого нарушения применяют вогнутые линзы, уменьшающие преломляющую силу глаза.

Неправильная кривизна роговицы лежит в основе астигматизма. Изображение на сетчатке искажено: одни его части находятся в фокусе — другие нет. В этом случае используют линзы, корригирующие неправильную кривизну роговицы.

Сетчатка состоит из четырех слоев клеток: пигментного слоя, слоя фоторецепторов и двух слоев нейронов сетчатки. Наружный (ближайший к склере) слой образован пигментными клетками. Слой фоторецепторов расположен между пигментными и нервными клетками. Во внутреннем (прилегающем к стекловидному телу) слое находятся ганглиозные нервные клетки, аксоны которых образуют зрительный нерв.

Вследствие такого «обратного» расположения слоев сетчатки позвоночных животных свет у них, прежде чем попасть на фоторецепторы, должен пройти оба слоя нервных клеток; по мере прохождения через эти слои многие лучи рассеиваются на нейронах. Из-за этого рассеивания качество изображения на сетчатке страдает.

Лишь в небольшом участке сетчатки — центральной ямке — формируется четкое изображение. Здесь слои нейронов смещены к периферии и фоторецепторы открыты для восприятия световых лучей. Свет непосредственно падает на рецепторы центральной ямки, не рассеиваясь на нейронах. В этом участке содержится большое количество маленьких фоторецепторов в виде колбочек, что повышает остроту зрения.

В сетчатке имеется два вида фоторецепторов — палочки и колбочки. Палочки, чувствительность которых выше при слабом освещении, ответственны за «сумеречное зрение»; колбочки — воспринимают различные цвета и отвечают за «дневное зрение». В сетчатке более 100 млн. палочек и около 5 млн. колбочек. Последние сосредоточены преимущественно в центре сетчатки, в частности в центральной ямке. На периферии сетчатки большую часть рецепторов составляют палочки.

Посредством сети нейронов сетчатки фоторецепторы соединяются с ганглиозными клетками. Аксоны ганглиозных клеток образуют зрительный нерв, по которому от сетчатки к головному мозгу передается зрительная информация.

Существуют три типа нейронов сетчатки — биполярные, горизонтальные и амакриновые клетки. Биполярные клетки непосредственно связывают фоторецепторы с ганглиозными клетками, т.е. осуществляют передачу информации через сетчатку в

вертикальном направлении. Напротив, горизонтальные и амакриновые клетки, соединяя рецепторы с биполярными клетками, передают информацию по горизонтали.

Ганглиозные клетки обладают концентрическими рецептивными полями: каждой ганглиозной клетке соответствует маленький круглый участок сетчатки, при освещении которого клетка подвергается либо возбуждению, либо торможению. В рецептивном поле различаются две противоположные по функции области — центр и периферия. Примерно половина всех ганглиозных клеток возбуждается при попадании света в центр рецептивного поля; напротив, при освещении периферии световым кольцом эти клетки подвергаются торможению. Другие же ганглиозные нейроны возбуждаются при освещении периферии и тормозятся при освещении центра рецептивного поля.

Такая антагонистическая организация рецептивных полей ганглиозных клеток обусловлена наличием двух путей проведения возбуждения в сетчатке. Реакции на возбуждение центра связаны с вертикальным путем, по которому информация передается от фоторецепторов к биполярным клеткам и от них к ганглиозным. Реакции же на раздражение периферии рецептивного поля обусловлены горизонтальным путем проведения возбуждения. Сигналы от фоторецепторов периферических зон передаются к ганглиозным клеткам через сеть, образованную отростками амакриновых, биполярных и горизонтальных клеток.

Разница в остроте центрального и бокового зрения соответствует различию в размерах рецептивных полей периферических и центральных ганглиозных клеток. В периферических областях сетчатки к каждой такой клетке поступают сигналы примерно от 600 палочек; поэтому острота зрения в этих областях низка. В центральной же зоне центры рецептивных полей многих ганглиозных клеток образованы всего одной колбочкой. Такое соотношение, при котором на одну ганглиозную клетку приходится лишь одна колбочка, обуславливает высокую остроту зрения в центральной ямке.

По зрительному нерву информация от глаза передается к зрительным областям головного мозга. Оба зрительных нерва соединяются в области основания мозга, образуя зрительный перекрест (хиазму). Здесь половина всех волокон зрительных нервов, а именно волокна от назальных половин сетчатки, перекрещиваются и переходят на противоположную сторону; волокна же от височных половин не перекрещиваются и остаются на одноименной стороне. В результате этого перекреста в правом таламусе оканчиваются волокна от правых половин каждого глаза, а в левом — от левых.