Հայաստանի Գիտությունների Ազգային Ակադեմիա, Հայաստանի կենսաբանական հանդես
Национальная Академия Наук Армении. Биологический журнал Армении
National Academy of Sciences of Armenia. Biological Journal of Armenia

Քննարկեք · Дискуссии · Discussions

Биолог. журн. Армении, 3-4 (49), 1996

УДК 612.846 + 617.758.1

ГЛАЗ КАК МОДЕЛЬ И ОБЪЕКТ КОМПЛЕКСНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

В.Р. ГАЛОЯН

Институт биохимии НАН Армении, 375014, Ереван

Приведены основные положения модели и концепции. Показана всеохватывающая причастность плавания глаза ко всей структурно-функциональной организации периферийного органа зрения. Концепция содержит ряд моделей и подмоделей, в комплексе решающих ряд фундаментальных задач офтальмологии и физиологии зрения. Впервые определены истинный центр вращения, центр тяжести и форма яблока глаза. Разработаны: универсальная концепция ортофории, гетерофории, содружественного и смешанного косоглазия; концепция формирования децентровки диоптрики и центральной ямки сетчатки глаза; модель рефрактогенеза в норме и при патологии; модель патогенеза прогрессирующей миопии. Экспериментально установлен факт исчезновения фиксационных дрейфов и микроскачков глаз без ущерба для зрения. Предложен ряд профилактических рекомендаций, направленных на достижение и поддержание хорошего зрения. Выявлено, что в рефрактогенезе и при формировании децентровки диоптрики и центральной ямки сетчатки глаза кроме генетического фактора участвуют сопутствующие кофакторы. Сформулированы обобщенные законы кофакторов офтальмогенеза и кофакторов развития процессов, а также плавания тел.

Բերված են մոդելի հիմնադրույթները և կոնցեպցիաները: Ցույց է տրված աչքի լողալու ընդհանրական առնչությունը տեսողության պերիֆերիկ օրգանի ամբողջ կառուցվածքա-ֆունկցիոնալ կազմակերպման հետ: Կոնցեպցիան պարունակում է մի շարք մոդելներ և ենթամոդելներ, որոնք լուծում են ակնաբանության և տեսողության ֆիզիոլոգիայի մի շարք հիմնահարցեր: Առաջին անգամ որոշվել են պտտման իրական, ծանրության կենտրոնները և ակնախնձորի ձևը: Աշակվել են: օրտոֆորիայի, հետերոֆորիայի, համակցված և խառը շլության ունիվերսալ կոնցեպցիան, աչքի դիօպտրիկայի ապակենտրոնացման և ցանցաթաղանթի կենտրոնական փոսիկի ձևավորման կոնցեպցիան: Նորմայում և պաթոլոգիայում ռեֆրակտոգենեզի մոդելը: աճող միոպիայի պաթոգենեզի մոդելը: Փորձնականորեն հաստատված է, աչքի ֆիքսման որեյֆների և միկրոսակադների անհետացման փաստը, առանց վնաս պատճառելու տեսողությանը: Առաջադրված են մի շարք պրոֆիլակտիկ հանձնարարականներ լավ տեսողության հասնելու և պահպանելու ուղղությամբ: Պարզաբանված է, որ ռեֆրակտոգենեզում և աչքի դիօպտրիկայի ապակենտրոնացման ու ցանցաթաղանթի կենտրոնական փոսիկի ձևավորման պրոցեսում, գենետիկական ֆակտորից բացի, մասնակցում են ուղեկցող կոֆակտորներ: Ձևակերպվել են օֆտալմոգենեզի և զարգացման պրոցեսների կոֆակտորների, ինչպես նաև մարմինների լողի, ընդհանրացված օրենքները:

The main conceptions of the developed model have been presented. The role of floating of eye in participation of the whole structural-functional organization of peripheral organ of vision has been shown. The conception contains a number of models and submodels solving the several fundamental problems of ophthalmology and physiology of vision. For the first time the true centre of rotation, centre of gravity and the form of eyeball have been defined. The article includes: the universal conception of ortophory, heterophory, concord and mixed squint; the conception of the formation of decentration of dyoptric and central fossa of eye retina; the model of refractogenesis in norm and pathology; the model of pathogenesis of progressive myopy. The fact of the disappear-

ance of fixed drifts and microsaccads of eyes without any damage of vision is experimentally revealed. A number of prophilactic recommendations directed for the achievement and supporting of good vision are given. The participation of attendant co-factors besides the genetic factor in refractogenesis and in formation of decentration of dyoptric and central fossa of eye retina is revealed. The general laws of co-factors of the ophthalmogenesis and the co-factors of development processes, also the floating of bodies, have been formulated.

Офтальмология - физиология зрения

Периферийный орган зрительного анализатора - глаз - является оптико-механическим, информационно- аналитическим сенсорным органом, доставляющим в мозг 90% информации о внешнем мире [18]. В работе глаза можно выделить три основных компонента его структурно-функциональной организации: это диоптрика глаза, фокусирующая изображение внешнего мира на сетчатку глаза, сама сетчатка, представляющая собой часть мозга, вынесенную наружу и обладающую специфическим свойством преобразования оптической информации в закодированный поток биоимпульсов, направляемых в высшие центры зрительного анализатора, и глазодвигательный аппарат (ГДА), обеспечивающий установку и различные движения глаз. Все это характеризует глаз как сложную систему.

Как известно, сложные живые системы эффективнее исследовать методом научного моделирования. Биологические модели в силу сложности и полифункциональности исследуемого объекта отражают совокупность и взаимосвязь различных наук, объективно взаимодействующих в нем, что приводит к феноменам междисциплинарности и общенаучности. Иначе говоря, объекты природы изучаются не одной, а целым комплексом взаимодействующих наук. В результате формируются новые междисциплинарные комплексы наук [29].

На основе междисциплинарного принципа взаимодействия наук нами разработана новая, не имеющая аналогов в мировой литературе гидробиооптикомеханическая концепция глазодвигательной функции, которая расширяет традиционное представление о функциональной сфере ГДА, выявляет новые аспекты ее [5-16, 32-34]. Концепция базируется на множестве принципов, законов и представлений, так или иначе охватывающих 43 научные дисциплины, и содержит ряд моделей и подмоделей. Основополагающей является модель плавающего глаза, где яблоко глаза, размещенное во внутрикапсульной межтканевой жидкости, а хрусталик - в камерной водянистой влаге, рассматриваются как плавающие тела. В результате этого на яблоко глаза кроме глазодвигательных мышц действуют естественные физические и гидромеханические силы: тяжести, подъемной, выталкивающей, остойчивости, отрицательного давления и т.п. Эти силы могут оказывать патологическое влияние на установку и движения глаз или нести полезную функцию, что прежде не учитывалось. Так, например, в монографиях [26, 30], посвященных работе ГДА, указывается, что "весом глаза и трением пренебрегаем", и это делается без всякого обоснования. В других работах [35, 36], где приводятся данные о возможном влиянии внутриорбитальных образований (зрительного нерва, кровеносных сосудов, конъюнктивы), пассивной упругости мышц на движения глаза даже не упоминается о внутрикапсулярной межтканевой жидкости - полное неведение либо недооценка реалий. Все это привело нас к мысли о поисках нетрадиционных путей решения этой сложной проблемы.

Цель работы - анализ и дальнейшее развитие гидробиооптикомеханической концепции глазодвигательной функции, где глаз в целом представлен как объект междисциплинарного комплексного исследования.

Анализ начнем с основной, стержневой идеи - плавания глаза. Идея подтверждается прежде всего тем, что удельный вес глаза (1,051) и хрусталика (1,00) меньше удельных весов межтканевой жидкости (1,056) и водянистой влаги (1,0037), а также рядом экспериментов, проведенных на энуклеированном и нативном глазе, и построенной адекватной физической

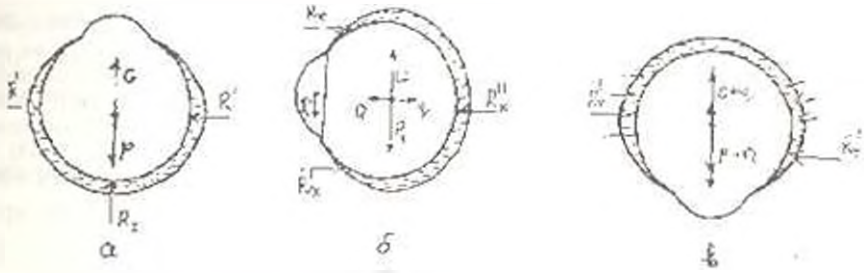
моделью. А определение предельных условий плавания тел, согласно которому "если две твердые поверхности разделены тремя молекулярными слоями жидкости, то подвижная поверхность находится в состоянии плавания", не оставляет сомнений в том, что глаз в глазнице находится в состоянии плавания. Плавание глаза происходит в замкнутом сосуде-капсуле глаза с выступающей из капсулы роговицей, а плоскость плавания - вход капсулы меняет свою ориентацию в пространстве, в том числе и зрачком, направленным вниз, т.е. глаз плавает верхом вниз (рис.1а,б,в). Это выходит за область свободного плавания, чему и дано теоретическое обоснование - выведена формула плавучести

$$p + q = G + Q;$$

или

$$p = G + Q - q,$$

где p - вес глаза, G - подъемная сила, Q - выталкивающая сила, q - отрицательное давление.



а б в

Рис.1в,б,в. Плавающий глаз при 3 ориентациях в пространстве: а - зрачком вверх, б - зрачком прямо, в - зрачком вниз. R', R'' - гидростатическое давление слева и справа. Объяснение в тексте.

Согласно уравнениям и по аналогии с законом Архимеда сформулирован обобщенный закон плавания тел, гласящий: на глаз (тело) в глазнице (в замкнутом сосуде) действует подъемная сила, равная весу жидкости в переменном объеме погружаемой части глаза (тела), и силы выталкивания и отрицательного давления, зависящие от ориентации глаза (головы, сосуда) в пространстве. При ориентации головы лицом вверх - горизонтальное расположение входа капсулы (рис. 1а) - уравнение общего вида переходит в уравнение Архимеда.

$$p = G$$

Это позволяет классифицировать плавание нативного глаза как общий случай плавания тел.

Согласно законам плавания, глаз в глазнице находится в состоянии невесомости, так как его вес уравновешен подъемной силой, а трение - внутреннее, т.е. определяется взаимодействием молекул межтканевой жидкости, и поэтому пренебрежимо мало. Таким образом, получено научное обоснование правомерности пренебрежения тяжестью глаза и трением, которое разрешило вопрос, поднятый автором, но не нашедший в литературе. Пребывание глаза в невесомости (в первом приближении) и практическое отсутствие трения - это те самые рациональные и оптимальные условия организации движения вообще и, в частности, глазных движений, которые совершаются при минимальном рассеянии энергии и с большой точностью. И это хорошо согласуется с принципом оптимальности и целесообразности [1]. Так, например, тремор глаз, который происходит при отсутствии или минимальном тетанусе глазодвигательных мышц, возможен лишь при нахождении яблока глаза в состоянии оптимального равновесия в сочетании с наличием минимального трения, что и обеспечивается плаванием глаза.

Согласно тому же принципу целесообразности, естественные гидромеханические силы

используются центральной нервной системой для организации функционально необходимых действий. Не вызывает сомнения, что дрейф глаз при фиксации точки происходит под действием неуравновешенной силы тяжести P_2 выступающей из капсулы части глаза и силами дополнительной устойчивости [7]. Как известно, фиксационный дрейф глаз выполняет незадантационную функцию, однако в наших экспериментах при ориентации головы лицом вверх и вниз дрейф и микроскачки глаз исчезли без ущерба для зрения (рис.2) [9]. Это связано с исчезновением соответствующих сил, что делает дискутабельным дезадантационную функцию дрейфа глаз. Окончательно этот вопрос может быть решен экспериментами в условиях невесомости.

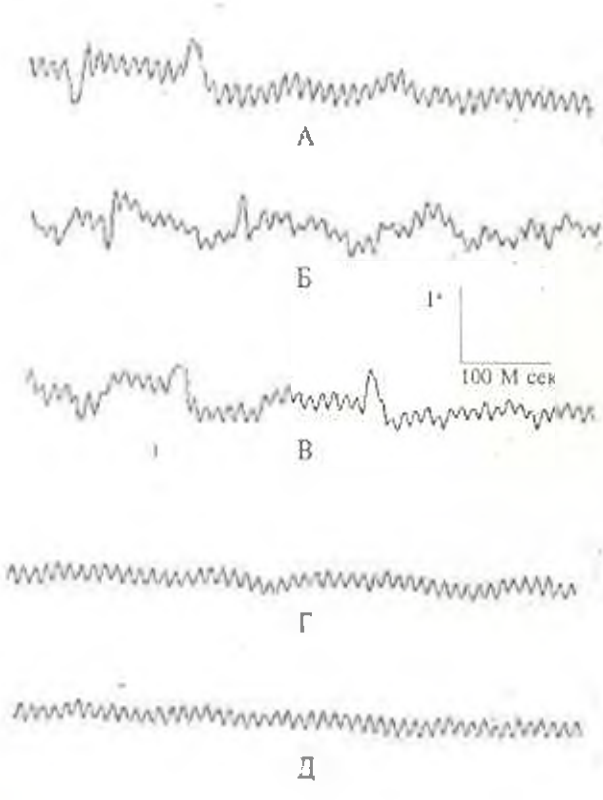


Рис.2. Записи движений глаз при фиксации точки. А - положение головы нормальное теменем вверх, Б, В - голова наклонена к левому и правому плечу, Г, Д - голова ориентирована лицом вверх и вниз.

К функциональному значению модели плавающего глаза необходимо отнести и локализацию центра вращения (ЦВ) глаза. До выхода в свет работы [6] за ЦВ глаза принималась произвольная точка, расположенная на оптической оси за геометрическим центром на расстоянии 13,5мм от вершины роговицы. Это определение было принято абстрактно по схеме искусственного редуцированного глаза [19] и не имеет никакой аргументации в пользу совпадения с реально существующим ЦВ. В действительности глазное яблоко не имеет точки подвеса и постоянной оси вращения и возможно, что ЦВ локализуется в определенной области внутри глаза благодаря плаванию. Тогда центр плавания глаза есть его ЦВ и лежит он в передней полусфере глаза на расстоянии 7,7мм от вершины роговицы, там, где пересекается оптическая ось со зрительной линией. Этот вывод подтверждается расчетами и геометрическими построениями - сравнением максимальной амплитуды горизонтальных отклонений глаза с размерами глазной щели (рис.3), а также тем фактом, что при торзионных движениях глаз вращается вокруг зрительной линии, следовательно, ЦВ должен находиться в точке пересечения зрительной линии и оптической оси [6,7]. Это обстоятельство сообщает глазу эксцентричное вращение, которое впервые наблюдалось нами на нативном глазе (рис.4) [6] и явилось экспериментальным подтверждением нахождения истинного ЦВ в передней полусфере яблока глаза.

Довольно неожиданным и значительным оказался вывод о влиянии плавания глаза на центровку его диоптрики. Впервые правдоподобное объяснение получила вековая загадка - несовпадение оптической оси и зрительной линии - и связанная с этим децентрированность диоптрики глаза. В основе столь сложного явления, неподдающегося объяснению законами физиологической оптики, лежит механика глаза - плавание глаза и хрусталика. Предложена гидробиооптикомеханическая концепция децентровки диоптрики глаза и установления места

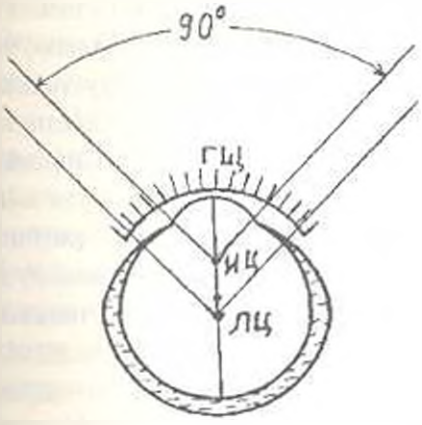


Рис.3. Схема возможных поворотов глаза на 90° вокруг двух центров вращения: истинного (ИЦ) и ложного (ЛЦ), в первом случае роговица перемещается в пределах глазной щели (ГЩ), во втором - выходит за ее пределы.

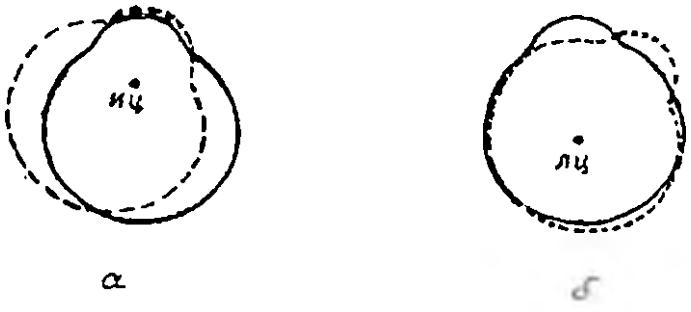


Рис.4. Схематическое изображение поворотов глаза на 45° вокруг двух центров вращения, расположенных от вершины роговицы на 7,7 (а) и 13,5мм (б).

формирования центральной ямки сетчатки (ЦЯС) (рис.5) [14,34]. Согласно условиям плавания тел (Второму закону Архимеда), равновесие глаза (установка его в орбите) и ориентация оси хрусталика устанавливаются под действием силы тяжести глаза (хрусталика) P и подъемной силы G, причем сами силы P и G направлены по одной и той же гравитационной прямой. Это будет наблюдаться во всех случаях, когда голова ориентирована лицом вверх и глазодвигательные и цилиарная мышца расслаблены. В этом случае при строго симметричной форме яблока глаза его оптическая ось будет совпадать с осью плавания и установится вдоль гравитационной вертикали. Аналогично этому ось хрусталика как тела симметричной формы направится по той же гравитационной вертикали. Если же форма яблока глаза имеет асимметрию, оптическая ось не совпадет с осью плавания, вследствие чего устанавливается под углом к фронтальной плоскости. Известно, что центральная ямка у новорожденных находится в зародышевом состоянии и окончательно формируется под воздействием сфокусированного на сетчатку света в постнатальный период в течение первых 2-3 месяцев жизни младенца. В этот период острота зрения ничтожно мала (порядка 0,01) и нет ни предметного зрения, ни фиксации, а имеется лишь ощущение света [26]. В это время, хотя и функционируют глазодвигательные мышцы, однако движения глаз не координированы и отсутствует содружественность в их движениях [21]. Следовательно, глазодвигательные мышцы не могут направить глаза на рассматриваемый

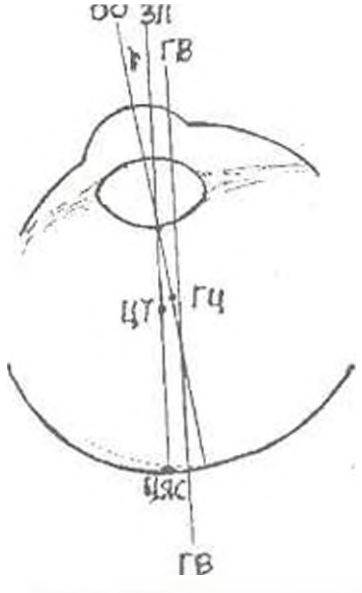


Рис.5. Схематическое изображение децентровки диоптрики глаза (угол γ) и места формирования ЦЯС, по Второму закону Архимеда. Объяснение в тексте.

предмет, т.е. направить фовеа под зрительную ось вследствие отсутствия (незрелости) оптокинетического рефлекса установки. Аналогично этому отсутствует также регуляция ориентации оси хрусталика. В этот период хрусталик имеет эллипсоидальный (близкий к шаровому) вид и не аккомодирует, отсутствует также зрачковый рефлекс. Установлено, что цилиарное тело (мышца), ответственное за аккомодацию и ориентацию хрусталика, недоразвито - в нем отсутствует ряд функциональных структур. Как видно, оптокинетика и в этом случае не работает и не может регулировать ориентацию оси хрусталика, т.е. направить световые лучи на место будущей центральной ямки. Установлено, что центральная ямка формируется благодаря многократному (длительному) световому воздействию определенной одной и той же области фовеа сетчатки, куда фокусируются фронтальные световые лучи. Так как оптокинетическая установка глаза у младенца отсутствует, то единственным механизмом установки глаз в орбитах в этот период является механизм, определяемый плаванием глаза. А так как преобладающим положением головы младенца в этот период является преимущественно положение лицом вверх, то оба глаза под воздействием силы тяжести и подъемной силы принимают положение, соответствующее прямому стоянию глаз в орбитах, следовательно, фронтальные световые лучи все чаще или постоянно фокусируются в одном и том же месте сетчатки, что и определяет место окончательного формирования ЦЯС, которое в точности совпадает с ее зародышем. Это следует из того факта, что в области желтого пятна имеется амонова выпячивание склеры. Последнее вызывает смещение центра тяжести глаза в сторону от оптической оси, и установившееся равновесие плавающего глаза обеспечивает данное совпадение. Кроме того, для фокусировки фронтальных лучей в центральную ямку сетчатки необходимо, чтобы ось хрусталика имела соответствующую ориентацию. Такую ориентацию хрусталику дает состояние плавания, при котором его ось направляется по той же гравитационной прямой. Очевидно, что в зависимости от расположения амоновой выпуклости и связанного с ней смещения центра тяжести глаза от оптической оси к виску или носу угол расхождения между оптической осью и зрительной линией - угол γ - будет положительным или отрицательным.

Рассмотрим возможные патологические влияния. Известно, что природа не терпит пустоты, в том числе и живые организмы, внутри которых наличие пустоты недопустимо. Однако в модели плавающего глаза, как уже отмечалось, имеется отрицательное экстраглазное давление, которое возникает как противодействие силе выталкивания и незначительному вываливанию глаза из капсулы при наклоне головы лицом вниз. Вследствие этого в задней части капсулы у полюса глаза возникает по сравнению с внешним атмосферным незначительное отрицательное давление, условно названное нами экстраглазным вакуумом [6]. Экстраглазной вакуум - это реальная физическая сила, приложенная к задней стенке глаза и к прилежащим тканям - зрительному нерву, кровеносным сосудам и т.п. И сколь малым оно бы ни было, не исключено, что при периодическом многократном воздействии может привести к осевому растяжению глаза либо к разрыву кровеносных сосудов, разрушению миелиновой оболочки зрительного нерва и т.п. В качестве подтверждения приведем результаты опытов на нативном глазе, когда обезьян подвешивали на несколько часов в день в течение шести месяцев вниз головой, так, чтобы глаза их были направлены вниз [24]. Цель опытов заключалась в выявлении зависимости осевой миопии от наклона головы лицом вниз. В результате вместо эмметропии у одной обезьяны возникла миопия в 5,0 Д, а у другой - миопия повысилась от 3,0 до 13 Д с соответствующими гистологическими изменениями глазного дна, типичными при растяжении глаза. Все попытки объяснить причину растяжения заднего полюса глаза оказались безрезультатными, хотя достоверность опытов очевидна и позже была подтверждена другими исследователями [31]. Сейчас представляется возможным утверждать, что единственной вероятной причиной растяжения глаза являлась сила экстраглазного вакуума. Очевидно, эта сила, по аналогии с рассмотренной выше моделью,

тянет глаз за заднюю поверхность назад, вызывая растяжение склеры. Обращает на себя внимание факт вдвое большего растяжения задней стенки миопического глаза. Это указывает на то, что склера этого глаза слабая и может быть растяжима до значительных величин. *Заключаем: причиной прогрессирующей миопии является периодическое воздействие экстраглазным вакуумом на заднюю стенку глаза при наличии слабости склеры.*

Другой пример: описаны случаи, когда повышенная нагрузка на глаз - рубка дров - приводит к потере зрения. Не исключено, что при этом происходит отслоение сетчатки, кровоизлияние либо повреждение зрительного нерва под разрушающим действием экстраглазного вакуума. В практической офтальмологии действует памятка, запрещающая больным со слабым зрением, например близоруким, заниматься спортом, рубкой дров, выполнять работу при опущенной голове и т.п. Этот запрет выработан на основе эмпирически-статистического наблюдения, реальной же причиной указанной патологии является экстраглазной вакуум.

Наряду с патологическим действием просматривается и функционально полезная роль экстраглазного вакуума. Известно, что глаза у новорожденных в 80% случаев гиперметропичны. В дальнейшем рост глаза в этом направлении опережает таковой по всем другим и вскоре устанавливается эмметропия [20, 21]. *Отсюда вывод: гиперметропичность при рождении биологически целесообразна, поскольку в период роста младенца, когда он ползает на четвереньках и его голова ориентирована лицом вниз возникает экстраглазной вакуум, определяющий растяжение - опережающий рост глаза в передне-заднем направлении.* В порядке рекомендации заключаем: дозированным воздействием экстраглазным вакуумом на растущий глаз при надлежащем офтальмологическом контроле можно регулировать рефрактогенез у детей - дальнозорким младенцам предписать ползание на четвереньках, а близоруким - запретить. И еще, действующий для школьников специальный офтальмологически ориентированный санитарно-гигиенический (профилактический) комплекс мероприятий для близоруких дополнить ограничениями зрительной деятельности с учетом разрушающего действия экстраглазного вакуума.

Одним из важных вопросов теоретической офтальмологии является определение формы яблока глаза в норме и при патологии. Это необходимо и для анализа действия на установку глаза формозависимых гидромеханических сил, которые перераспределяются уже при незначительной асимметрии формы и могут привести к различным аномалиям стояния глаз в орбитах - скрытому и явному косоглазию.Исследованию формы яблока глаза посвящено большое количество работ [19, 21], однако до появления работы [6] не было единого мнения о форме глаза в норме. Одни исследователи считают глазное яблоко шаром [2, 19], другие - эллипсоидом с длинной осью в передне-заднем направлении [30]. Однако эти выводы сделаны чисто эмпирически без теоретического анализа предпосылок образования той или иной формы яблока глаза. Нами восполнен этот пробел и дано теоретическое обоснование определения формы оболочки глаза. Глаз уподоблен упруго-деформированной оболочке, заполненной однородной жидкостью. Из теории оболочек известно, что анизотропия формы оболочек, испытывающих нормальные давления, пропорциональна упругим свойствам оболочек, и имеющие место малые деформации подчиняются обобщенному закону Гука [17].

$$\sigma_{ij} = C_{ijKL} E_{KL},$$

где σ_{ij} - напряжение, C_{ijKL} - модуль упругости, E_{KL} - деформации.

Известно, что роговица толще и мягче склеры, а сама склера обладает выраженной неоднородностью механических свойств: в макулярной области имеет максимальную толщину и более растяжима, чем в экваториальном поясе [3]. Очевидно, под действием сил внутриглазного давления яблоко глаза примет близкую к сферической форму, при этом

мягкая роговица будет выпучиваться, задний полюс вытягиваться, а вертикальный и горизонтальный диаметры неодинаково сжиматься. В результате получится эллипсоид с тремя неравными осями.

К выводу об эллипсоидальной форме яблока глаза в норме как закономерной можно прийти и из представления о глазе как о филогенетическом теле вращения. Действительно, не исключено, что в основе эволюции формы яблока глаза лежала потребность производить движения глазами или, что то же самое, различные движения животного могли привести к тем или иным движениям глаза. Следовательно, определение формы яблока глаза сводится к определению формы тела вращения однородной жидкой массы, заключенной в упруго-эластичную оболочку, или, что то же самое, к определению формы тела вращения однородной гравитирующейся жидкости [23,25].

Теория фигур гравитирующихся жидкостей дает общие критерии образования различных форм. Применив эти критерии к яблоку глаза, мы приходим к следующим выводам.

1. Форма яблока глаза в норме не может быть шаром, так как глаз в процессе зрения постоянно вращается.

2. Оптимальной формой яблока глаза в норме является эллипсоидальная, так как равновесными формами фигур вращения, как правило, являются эллипсоидальные, сжатые по оси вращения.Установлено, что ~ 80% вращения глаз человек совершает вокруг вертикальной оси и реже вокруг сагиттальной, чем поперечной. Следовательно, оси яблока глаза неравновелики. Самая короткая - вертикальная ось, самая длинная - сагиттальная.

Для подтверждения сделанного вывода обратимся к литературным данным по непосредственному измерению геометрии яблока глаза. Показательны данные работы [19], где для характеристики формы яблока глаза используются два коэффициента: ПЗО/ПД и ПЗО/ВД - отношение передне-задней оси к поперечному и вертикальному диаметрам. По принятой в работе классификации все три диаметра считаются практически одинаковыми, а форма глаза - шаровидной, если эти коэффициенты лежат в пределах 0,98-1,02.

Форма глаза	ПЗО/ПД	ПЗО/ВД	n	$n_{отн.}$ %
Шаровидная	0,98-1,02	0,98-1,02	130	56,5%
Удлиненная				
по оси	>1,02	>1,02	41	17,8
по оси и ПД	0,98-1,02	>1,02	28	12,2
по оси и ВД	>1,02	0,98-1,02	19	8,3
по ПД	<0,98	0,98-1,02	10	4,3
по ВД	0,98-1,02	<0,98	2	0,9

В таблице приводится классификация по форме 230 закончивших свой рост глаз. Из этих данных следует, что отношение ВД/ПД будет меняться в пределах 0,96-1,04, т.е. ВД существенно отличается от ПД в "шаровидных глазах". Очевидно, что фигур с указанными характеристиками будет непрерывный ряд с преобладанием эллипсоидов с тремя неравными осями, т.е. "шаровидные глаза" в действительности эллипсоиды.

Для определения (выбора) формы глаза в норме необходимо прежде всего исходить из принципа оптимальности и целесообразности достижения правильной установки глаза в орбите, без которой невозможно бинокулярное зрение. Важность такого подхода очевидна, поскольку при косоглазии отклоненный глаз выключается из акта зрения. Следовательно, для функционирования глаза прежде всего необходимо правильное стояние двух глаз в орбитах и лишь после этого рассматривать его функции как органа зрения. Правильное стояние глаз необходимо и с психологической, и косметической точек зрения.

Анализ влияния формы глаза на его плавучесть выявляет взаимосвязь между различными состояниями равновесия плавающего глаза и его установкой в орбите -

встречающимися формами скрытого и явного косоглазия и ортофории. Например, остойчивое состояние равновесия приводит к экзофории, неостойчивое - эзофории, безразличное - к ортофории [7, 15]. Уже из приведенного анализа можно сделать вывод, что нормальной формой глаза является форма, при которой стояние глаза ортоформично, так как в данном случае мышцы глаза находятся при минимальном натяжении вследствие отсутствия необходимости компенсации сил остойчивости. Это согласуется с принципом оптимальности и целесообразности.

Так как ЦТ глаза, как было показано в [5], расположен на расстоянии 12,66мм от вершины роговицы, то ортофория, согласно критерию безразличного состояния, будет наблюдаться при радиусе кривизны задней полусферы, равном 11,94. В этом случае отношение ПЗО/ПД ≈ ПЗО/ВД = 1,028 ≈ 1,03. Полученный результат сравним с экспериментальными значениями (мм):

Величина	ПЗО	ПД	ВД	ПЗО/ПД	ПЗО/ВД
Данные [25]	24,6	23,6	23,4	1,04	1,05
Данные [30]	24,0	23,5	23,0	1,02	1,04

Из приведенных данных получим: 1,02<ПЗО/ПД<1,04 и 1,04<ПЗО/ВД<1,05. Если интервал изменения ПЗО/ПД со средним значением, равным 1,03, согласуется с принципом оптимальности, то интервал значений ПЗО/ВД ≈ 1,04(5) - нет, так как в этом случае действует сила остойчивости, вращая глаз вниз. Однако эта сила прибавляется к силе тяжести роговицы P_2, которая и так не уравновешена и компенсируется глазодвигательными мышцами (рис.16).

Следует отметить, что при нормальной форме яблока глаза длина ПЗО лежит в пределах, где наблюдается высокий процент случаев соразмерности. Что же касается оптимальной сплющенности по вертикали, то, возможно, это необходимо для самокорректирования физиологического астигматизма роговицы, который в пределах 0,5 Д считается нормальным и не вызывает субъективных жалоб.

Можно было бы предположить некоторую асимметрию формы, вызванную амоповой выпуклостью склеры, однако известно, что эта выпуклость исчезает в процессе роста глаза. Но тем не менее глаз обладает некоторой асимметрией. На это указывает тот факт, что равновесное состояние свободно плавающего энуклеированного глаза отличалось от ожидаемого равновесия [5], при котором ось симметрии (оптическая ось) должна была направиться по гравитационной вертикали. Она же составляла острый угол с последней, что указывает на асимметрию формы глаза. Можно прийти к заключению: *яблоко глаза в норме представляет асимметричный эллипсоид с тремя неравными осями, причем передняя полусфера симметрична, а задняя содержит незначительную асимметрию (выпуклость) в квадранте, где расположено фовеа.*

Разработана [7, 15] универсальная гидробиомеханическая концепция ортофории, гетерофории, содружественного и смешанного косоглазия, рассматривающая в качестве причины аномальной установки отклонение формы яблока глаза от нормы. Анализ влияния формы яблока глаза на его установку основан на теории остойчивости плавающих тел. Критерий остойчивости для удобства здесь выражен через метацентр [27]. Выше уже определились критерии, обеспечивающие ортофорию - ПЗО/ПД = 1,03. В этом случае нормаль выталкивающей силы пересечет ось глаза в центре тяжести глаза, и глаз будет находиться в состоянии безразличного равновесия. При этом если и левый и правый глаз будут иметь одинаковую форму, то стояние глаз будет прямым ортоформичным без учета действия глазодвигательных мышц. Когда же ПЗО/ПД < 1,03 или ПЗО/ПД > 1,03, нормаль выталкивающей силы пересечет оптическую ось в первом случае впереди, а во втором - за центром тяжести, тогда в первом случае установится экзофория, а во втором - эзофория, если оба глаза будут иметь соответствующую одинаковую указанную форму.

Согласно приведенной классификации, ортофория, которая в отличие от гетерофории

встречается в узком интервале возможных форм яблока глаза, должна наблюдаться редко. Действительно, согласно данным [28], ортофория составляет 13-17%, в то время как гетерофория - 83-87%.

Для объяснения содружественного косоглазия достаточно допустить неодинаковость (гетероформность) левого и правого глаза. Например, если один глаз в соответствии с формой должен иметь эзофорию, а другой - экзофорию или один - ортофорию, другой - эзофорию или экзофорию, то будет наблюдаться сходящееся либо расходящееся косоглазие. Это следует из содружественного принципа движений глаз, поскольку для достижения одинакового стояния глаз в орбитах понадобилось бы подавать разные сигналы на одноименные мышцы обоих глаз, что исключается. В подтверждение предложенной модели содружественного косоглазия приведем литературные данные. Установлено, что среди лиц с косоглазием одного глаза от 69 до 75% составляют лица с осевой анизометропией, в основном обусловленной различиями в длине передне-задней оси двух глаз [28].

Продолжая классификацию косоглазия укажем: при ПЗО/ВД < 1,03 установится гиперфория, а при ПЗО/ВД > 1,03 - гипофория. Развитие циклофории (внутренней - инциклофории и наружной - экциклофории) можно объяснить отклонением центра тяжести глаза влево и вправо от оси симметрии, что будет иметь место при асимметрии формы яблока глаза и вызовет поворот глаза вокруг ПЗО. В этих случаях при прямом стоянии глаз торзия компенсируется действием косых глазодвигательных мышц, когда же глаза выключаются из фиксации, косые глазодвигательные мышцы расслабляются, и глаз совершает циклодукцию. Не представляет проблемы объяснение смешанного косоглазия, когда отклоненный глаз, имея различные аномалии стояния, одновременно содержит различные комбинации экзо-, эзо-, гипо- и циклофории. Ясно, что случаев смешанного косоглазия наблюдается большое множество и объясняется это бесчисленным множеством отклонений формы яблока глаза от нормы.

Как видим, гидромеханическая теория косоглазия правдоподобно, причем с единых позиций объясняет как орто- и гетерофорию, так и содружественное и смешанное косоглазие.

Приведенный выше материал показал всеохватывающую причастность модели плавающего глаза к структурно-функциональной организации периферийного органа зрения. Это вызвано тем, что гидробиооптикомеханическая концепция рассматривает работу ГДА и глаза в целом в качественно новой структурной организации, учитывающей влияние внешней среды - внутриканальцевой межтканевой жидкости. Это и способствует переосмотру известных и обнаружению новых функций ГДА, с одной стороны, и генерации новых идей - с другой. Здесь имеем ситуацию, сходную с широко используемым методом исследования при "новых внешних условиях", который неизбежно приводит к новым научным открытиям. Примеров тому много [4, 22]. Хотя в нашем случае "новое внешнее условие" для глаза не создается искусственно, а естественно реализовано природой, тем не менее идея плавания глаза ситуационно аналогична. Влияние внешней среды - межтканевой жидкости - ранее не учитывалось, ускользнув от внимания исследователей, видимо из-за неочевидности. Таким образом, к междисциплинарному и общенаучному феноменам прибавился и феномен методологии открытий.

Рассмотрим конкретное проявление первых двух феноменов на примере гидробиомеханической концепции формирования децентровки диоптрики и ПЗС глаза, а также рефрактогенеза - процесса формирования соразмерной рефракции. Как было показано выше, в механизм функционирования концепции вовлечен ряд факторов: офтальмогенетический, охватывающий закладку зародыша ПЗС и диоптрики глаза, амоповой выпуклости на оболочке глаза, условий плавания яблока глаза и хрусталика; гидромеханический - достижение прямого стояния глаз в орбитах и нужная ориентация хрусталика по второму закону Архимеда; оптический и оптокинетический - наличие освещения

и постоянное либо периодическое (оптокинетическое) направление фокусированных световых лучей в зародыш ЦЯС; санитарно-гигиенический - обязательное пеленание новорожденного и его горизонтальное расположение - лежачее на спине лицом вверх. Отсутствие какого-либо из этих факторов неизбежно приводит к патологии. Например, отсутствие либо несовпадение амоновой выпуклости с зародышем ЦЯС может привести к аномальной децентровке хрусталика и образованию ложной макулы, при полном и длительном (3мес) отсутствии освещения фовеа сетчатки не развивается, а неправильный уход за новорожденным может вызвать аномальное развитие ЦЯС.

Аналогично рассмотренному найдем сопутствующие кофакторы рефрактогенеза. Очевидно, что рефрактогенез должен содержать следующие кофакторы: способность растяжения задней части склеры, которое может происходить под действием отрицательного экстраглазного давления при наличии надлежащих физико-механических свойств склеры - физический фактор; наличие аккомодации и оптокинетической фиксации - физиологический фактор; соблюдение гигиены труда и быта: исключение либо назначение ползания на четвереньках, чтение лежа на спине, работа с мелкими предметами - санитарно-гигиенический фактор.

Рассмотренные примеры позволяют сделать важный вывод: *в офтальмогенезе децентровки диоптрики, ЦЯС и рефракции глаза в целом, кроме генетического фактора, участвуют сопутствующие факторы, т.е. кофакторы.* Таким образом, *офтальмогенез протекает при наличии и под воздействием следующих факторов: генетического, физического, психо-оно-оптокинетического, физиологического и санитарно-гигиенического.*

Установленная закономерность офтальмогенеза имеет не только теоретическое, но и практическое значение и показывает, что для правильного формирования децентровки диоптрики, ЦЯС и рефракции глаза в целом немаловажное значение имеют режим освещения, правильный уход за новорожденными и профилактико-гигиенические мероприятия.

Закон кофакторов офтальмогенеза так же, как и междисциплинарный феномен, основан и вытекает из принципа единства природы - всеобщей взаимосвязанности и взаимообусловленности материальных процессов. Установленный закон имеет универсальный, общенаучный характер и определяет любой материальный процесс. Так, например, развитие биосферы Земли определяется известными кофакторами: земля, вода, воздух и огонь. Сформулируем закон кофакторов развития процессов в общем виде. *На наш взгляд, любой материальный процесс характеризуется, определяется и протекает при сопутствующих кофакторах развития.* Выразим закон кофакторов развития математически.

$$A = \sum_{i=1} B_i ,$$

где A - функция условий развития, B_i - кофактор, i = 1, 2, 3,... n

В общем случае любой процесс характеризуется необходимым минимальным числом факторов развития - B_M. При $A \geq B_M$ процесс будет развивающимся, а при $A < B_M$ он затухает. Из равенства видно, что минимальное число факторов развития процессов равно 2 и это характеризует процесс развития "начало начал". Однако это уже выходит за область нашей темы.

Совокупность приведенных факторов характеризует гидробиооптикомеханическую концепцию и комплексное исследование глаза в целом как уникальное научное достижение - прорыв в науке о зрении.

Отличительная особенность работы - междисциплинарная направленность исследований, расширяющая круг соприкасающихся с проблемой зрения научных дисциплин, беспрецедентно широкомасштабно взаимодействующих в решении единой проблемы, в сущности, объединенных в некую междисциплинарную комплексную науку.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бернштейн Н.А.* Очерки по физиологии движений и физиологии активности. М., 1966.
2. Большая медицинская энциклопедия. Изд. 2, *7*, 415, М., 1958.
3. *Булач Э.Х.* Автореф. канд. дисс., М., 1971.
4. *Буш Г., Винклер У.* Определение характеристических параметров полупроводников по электрическим, оптическим и магнитным измерениям., М., 1959.
5. *Галоян В.Р.* Биолог. журн. Армении, *39*, 2, 105-118, 1986.
6. *Галоян В.Р.* Биофизика, *33*, 6, 1041-1053, 1988.
7. *Галоян В.Р.* Биофизика, *34*, 3, 481-487, 1989.
8. *Галоян В.Р.* Биофизика, *35*, 1, 118-123, 1990.
9. *Галоян В.Р.* Биолог. журн. Армении, *45*, 2,102-104, 1992.
10. *Галоян В.Р.* Авт. свид. СССР, Бюл. N 46, 1966.
11. *Галоян В.Р.* Авт. свид. СССР, Бюл. N 21, 1988.
12. *Галоян В.Р.* Авт. свид. СССР, Бюл. N 18, 1991.
13. *Галоян В.Р.* Авт.свид. СССР, Бюл. N 11, 1990.
14. *Галоян В.Р.* Авт.свид. СССР,Бюл. N 10, 1992.
15. *Галоян В.Р.* Биолог. журн. Армении, *48*, 4,3-13, 1995.
16. *Галоян В.Р.* Вестн. общественных организаций, 6, 7,1996.
17. *Геккелер И.* Статика упругого тела. М.-Л., 1934.
18. *Глезер В.Д.* Зрение и мышление. Л., 1985.
19. *Дашевский А.И.* Новые методы изучения оптической системы глаза и развития ее рефракции. Киев, 1956.
20. *Дымшиц Л.А.* Основы офтальмологии детского возраста. Л., 1970.
21. *Ковалевский Е.И.* Детская офтальмология. М., 1970.
22. *Кольман Э.* Ленин и новейшая физика. М., 1961.
23. *Ламб Г.* Гидродинамика. М.-Л., 1947.
24. *Левинсон Г.* Вестн. офтальмологии, 2, 6, 761, 1909.
25. *Лихтенштейн Л.* Фигуры равновесия вращающейся жидкости. М., 1965.
26. *Матюшкин Д.П.* Глазодвигательный аппарат млекопитающих. Л., 1972.
27. *Осипов П.Е.* Гидравлика и гидравлические машины. М., 1965.
28. *Полчаева-Адигезалова* Анизометропия. Баку, 1981.
29. *Эшметов Н.* Диалектика возникновения и развития междисциплинарных наук. Ташкент, 1986.
30. *Ярбус А.Л.* Роль движений глаз в процессе зрения. М., 1965.
31. *Essed, Soewarno* Klin. Mbl. Augenheilk, 56-62, 80, 1928.
32. *Galoyan V.R.* Abstracts 12 ECVP, Israel, 1989.
33. *Galoyan V.R.* Preseeding, 6-th, ECEM, Leuven, 1991.
34. *Galoyan V.R.* The Irish Jour. of Psychology, March- April, 1995.
35. *Robinson D.A.* Amer. Jour. Physiology, *25*, 548, 1969.
36. *Thomas T.C.* Kibernetik, 3, 254, 1967.

Поступила 6.V.1996