

3-4 (48) 1995

Биолог. журн. Армении, 3-4 (48), 1995 г.

УДК 612.846+617.758.1

ГИДРОБИОМЕХАНИЧЕСКАЯ КОНЦЕПЦИЯ СОДРУЖЕСТВЕННОГО КОСОГЛАЗИЯ И МОДЕЛЬ ОБУЧЕНИЯ

В. Р. ГАЛОЯН

Институт биохимии НАН Армении, Ереван

На базе ранее предложенной нами модели плавающего глаза разработана гидробиомеханическая концепция ортофории, гетерофории и содружественного косоглазия. Схематически и аналитически рассматриваются гидромеханические силы, возникающие в нативном глазе, которые и определяют нормальную и патологические состояния глаз в орбитах. Показано, что причиной гетерофорий и содружественного косоглазия являются отклонения формы яблока глаза от нормы, продуцирующие формозависимые гидромеханические силы, а при нормальной форме устанавливается ортофория. Концептуальные признаки и выводы подтверждены литературными данными. Построена офтальмологическая физическая модель, содержащая плоские имитаторы двух глаз, размещенных на платформе. Модель позволяет имитировать функциональные положения гидробиомеханической концепции и наглядно демонстрировать ортофорию, гетерофорию и содружественное косоглазие с возможностью измерения угла косоглазия.

Նախկինում առաջադրված լողացող աչքի մոդելի բազայի հիման վրա մշակված է օրտոֆորիայի, հետերոֆորիայի եւ համակցված շլուքյան հիդրոկենսամեխանիկական կոնցեպցիան: Սխեմատիկ եւ վերլուծողական կերպով քննարկվում են քնականոն աչքում առաջացած հիդրոմեխանիկական ուժերը, որոնցով էլ որոշվում է աչքերի նորմալ եւ պաթոլոգիկ տեղադրումը ակնախոռոչներում: Ձուլց է տրված, որ հետերոֆորիայի եւ համակցված շլուքյան առաջացման պատճառը աչքի գնդի ձեւի շեղումներն են նորմայից, որոնք էլ առաջացնում են ձեւապատճառ հիդրոմեխանիկական ուժերը, իսկ նորմալ ձեւի դեպքում հաստատվում է օրտոֆորիա: Կոնցեպտուալ հիմնավորումները եւ ամփոփումները հաստատված են գրականության տվյալներով: Կառուցված է ակնաբանական ֆիզիկական մոդել, որը հնարավորություն է տալիս նմանակել հիդրոկենսամեխանիկական կոնցեպցիայի ֆունկցիոնալ հատկանիշները եւ ակնառու ցուցադրում է օրտոֆորիան, հետերոֆորիան միաժամանակ չափելով շլուքյան անկյունը:

The hydrobiomechanical conception of orthophory, hetherophory and concordness squint is elaborated on the bases of the model of floating eye proposed early. The hydrobiomechanical forces arising in the natural eye and determining the normal and patologic staite of eyes in the orbits schematically and analitically are considered. The cause of hetherophory and concordness squint are deflexions of the form of eyeball from the norm produced by for-

*Содружественное косоглазие - гидробиомеханическая
концепция - модель обучения*

Моделирование в биологии представляет одно из важных и обширных направлений и в настоящее время бурно развивается: появляются все новые концепции и модели отдельных органов и систем, частей мозга и организма в целом. Нами разработаны теория и модель плавающего глаза [1-4], а также ряд офтальмологических наглядных моделей, где моделируемый объект-глаз, в том числе и плавающий, глазодвигательные мышцы заменяются конкретными объемными физическими элементами и служат для моделирования механических свойств системы [5-7]. В другой серии наших моделей [8, 9] глазное яблоко и хрусталик представлены в виде плоских подвижных дисков и служат для демонстрации истинного центра вращения глаза либо децентровки диоптрики глаза.

В настоящей работе разработаны гидробиомеханическая концепция содружественного косоглазия и ее офтальмологическая модель обучения.

Гидробиомеханическая концепция содружественного косоглазия основана на ранее представленной нами модели плавающего глаза [1], согласно которой яблоко глаза, размещенное в межтканевой жидкости теноновой капсулы находится в состоянии плавания. Это подтверждается прежде всего тем фактом, что удельный вес яблока глаза ($1,051 \text{ г/см}^3$) меньше удельного веса межтканевой жидкости капсулы глаза ($1,056 \text{ г/см}^3$), а реципрокный принцип работы глазодвигательных мышц не может вывести глаз из состояния плавания [1]. На состояние плавания глаза не могут влиять и коммуникационные и анатомические элементы, такие, как кровеносные сосуды глаза, зрительный нерв, конъюнктив, в силу их малого воздействия. Плавание глаза подтверждается и рядом экспериментальных фактов-явлений, связанных с плаванием и наблюдаемых в нативном глазе [1,2, 10]. Таким образом, на глаз в глазнице, кроме мышечных усилий, действуют естественные физические (гидромеханические) силы: сила тяжести глаза P , подъемная сила G , силы остойчивости, возникающие при крене плавающего тела, что соответствует поворотам глаза. В отличие от

свободного плавания кроме указанных сил возникают две другие антагонистические силы: сила выталкивания Q и сила отрицательного давления q [1-4]. Выталкивающая сила Q поликомпонентна и зависит от ориентации головы в пространстве. Она возникает под действием неуравновешенного гидростатического давления, неуравновешенной силы тяжести межтканевой жидкости, противолежащей входу теноновой капсулы, и эффектом переменной глубины погружения глаза [4].

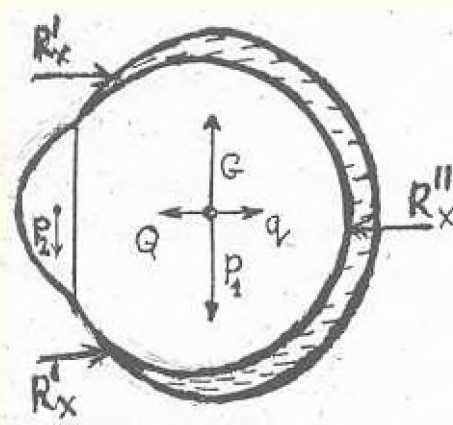


Рис. 1. Схематическое изображение плавающего глаза.

Действительно из рис. 1 видно, что гидростатическому давлению справа R''_x противостоит меньшее гидростатическое давление слева R'_x , результирующая [4].

$$R_x = \pi \gamma r^3 \sin^2 \alpha,$$

где γ - удельный вес межтканевой жидкости, r - радиус плоскости плавания, α - угол между осью орбиты и вертикалью, характеризующий пространственную ориентацию глаза (головы).

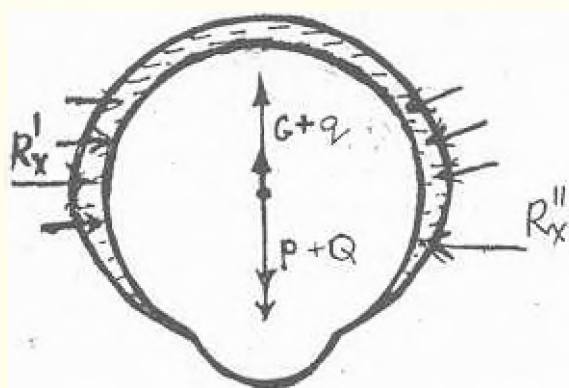


Рис. 2. Схематическое изображение плавающего глаза, ориентированное лицом вниз.

Сила R_x достигает максимального значения, когда $\alpha=90^\circ$, затем уменьшается и при $\alpha=180^\circ$ исчезает (рис.2). Однако при последней ориентации выстояние глаза наибольшее [1], причиной тому является наличие двух других сил выталкивания. Во-первых, начиная с $\alpha=90^\circ$ будет действовать нарастающая сила выталкивания, определяемая силой тяжести неуравновешенной части жидкости, противолежащей входу капсулы за яблоком глаза. В общем случае эта сила определяется выражением

$$V_{ж} = \gamma \omega'_x \Delta L \sin \alpha',$$

где $V_{ж}$ - сила выталкивания под действием силы тяжести слоя жидкости; ω'_x - окружность с диаметром, равным диаметру плоскости плавания; ΔL - величина щели между яблоком глаза и теноновой капсулой; α' - угол наклона глаза, отсчитываемый после наклона на 90° , т. к. $\alpha'=0$ до наклона в 90° . Во-вторых, из рис.1 видно, что сила тяжести выступающей из капсулы части глаза не оказывает давления на жидкость и подъемная сила уравнивает лишь часть тяжести глаза. Вследствие этого уменьшается степень погружения глаза в жидкость и глаз смещается наружу, т. е. выталкивается из капсулы, причем начиная с $\alpha=90^\circ$ сила тяжести выступающей части глаза еще сильнее будет смещать глаз наружу, как бы вытягивая его из капсулы. Эта "выталкивающая-вытягивающая" сила в общем случае определится выражением

$$F_{в-в} = P'(2\sin \alpha' - \sin \alpha),$$

где P' - вес выступающей части глаза:

$$P = dW'$$

Здесь $W' = \pi h^2 (r' - \frac{1}{2}h)$ - объем выступающей части глаза, r' - радиус яблока глаза, h - высота сегмента, d - средний удельный вес передней области глаза [1].

Запишем обобщенную силу выталкивания:

$$Q = \pi \gamma r^3 \sin^2 \alpha + \pi \gamma r^2 \Delta L \sin \alpha' + 2P' \sin \alpha' + P' \sin \alpha,$$

где Q - обобщенная выталкивающая сила. Величина Q зависит от ориентации глаза (головы) и изменяется по закону синуса, причем второе и третье слагаемые равны нулю вплоть до достижения $\alpha=90^\circ$, а при $\alpha=180^\circ$ первое и четвертое слагаемые равны нулю.

Сила отрицательного давления q возникает как противодействующая сила выталкивания. Действительно, согласно закону статики, условием равновесия является равенство нулю всех действующих на покоящийся глаз сил и моментов сил:

$$\sum_i F_i = 0, \quad \sum_{i=1} M_{i-1} = 0$$

Следовательно, в системе глаз-глазница должна присутствовать сила, равная и противоположно направленная выталкивающей. И так как действие полного давления R приводит к выталкиванию яблока глаза из капсулы, то в задней части капсулы возникнет разрежение (небольшой вакуум) - отрицательное давление q по сравнению с внешним атмосферным давлением, которое и будет противостоять выталкивающей силе. Равнодействующая сила отрицательного давления q приложена к центру тяжести глаза и направлена по оси орбиты назад. Выталкивающая сила направлена нормально к задней поверхности яблока глаза и приводит к выталкиванию глаза из капсулы. Действие этих сил по аналогии с основными силами плавания также может создавать кренящие моменты и влиять на стояние глаз в орбитах - вызвать скрытое и явное косоглазие. По аналогии с критериями устойчивости свободно плавающего глаза (тела) сформулируем критерий устойчивости для глаза под действием силы выталкивания Q и отрицательного давления q . Рассмотрим положение глаза, когда его передне-задняя ось совпадает с осью орбиты. Тогда равнодействующая сила направлена по оси орбиты, т. е. совпадает с силой отрицательного давления и обе силы уравновешены. Данное положение глаза будем считать равновесным. Когда же глаз смещается (совершает поворот) из указанного положения, то нормальная сила может несколько менять свое направление в зависимости от кривизны той поверхности, которая оказалась под действием выталкивающей силы. Кроме того, возможно, что и центр тяжести глаза при патологии формы яблока глаза окажется смещенным по оси глаза вперед-назад либо в сторону от оси. В этих случаях, как и в случае свободного плавания, глаз перейдет в новое

отличное от исходного равновесное состояние. Причем при смещении глаза уже из нового равновесного состояния возникнут силы остойчивости и новое равновесное положение глаза может быть остойчивым или нестойчивым. Сформулируем эти критерии. Если при смещении глаза из равновесного положения равнодействующая нормальной силы пересечет ось глаза впереди центра тяжести, то имеем остойчивое равновесие, если же сзади центра тяжести - нестойчивое, когда же точка пересечения совпадает с центром тяжести - безразличное, т. е. исходное. При остойчивом равновесии глаз, отклоненный из равновесного состояния, снова возвратится в первоначальное положение, при нестойчивом будет еще больше отклоняться от равновесного состояния, а при безразличном - останется в отклоненном положении.

Рассмотрим взаимосвязь между ортофорией, гетерофорией и содружественным косоглазием с вызывающими их причинами - силами остойчивости, определяющими равновесные состояния, которые являются производными от формы глаза и характеризуются отношением ПЗО/ПД и ПЗО/ВД (передне-заднего к поперечному и вертикальному диаметру глаза). Так как центр тяжести глаза расположен на расстоянии 12,66 мм [2] от вершины роговицы, то ортофория, согласно критерию безразличного состояния, будет. В этом случае отношение $\text{ПЗО}/\text{ПД} = \text{ПЗО}/\text{ВД} = 1,03$. Эта форма глаза принимается за нормальную, в этом случае нормаль выталкивающей силы пересечет ось глаза в центре тяжести глаза и глаз будет находиться в состоянии безразличного равновесия, т. е. в состоянии ортофории. При этом, если и левый и правый глаз будут иметь форму, соответствующую нормальной, то стояние глаз в орбитах будет прямым ортофоричным без учета действия глазодвигательных мышц. Когда же $\text{ПЗО}/\text{ПД} < 1,03$, нормаль выталкивающей силы пересечет оптическую ось впереди центра тяжести, глаз будет пребывать в новом остойчивом состоянии плавания и под действием восстанавливающей силы установится экзофория, если оба глаза будут иметь одинаковую указанную форму. В случае $\text{ПЗО}/\text{ПД} > 1,03$ нормаль выталкивающей силы пересечет оптическую ось сзади центра тяжести, что соответствует нестойчивому состоянию равновесия, и под действием кренящих сил установится эзофория, а стояние глаз в орбитах будет эзофоричным, если оба глаза будут иметь одинаковую указанную форму.

Согласно приведенной классификации, ортофория, которая в отличие от гетерофории встречается в узкой области возможных форм яблока глаза, должна наблюдаться редко. Действительно, согласно данным [11], ортофория составляет 13-17%, в то время как гетерофория - 83-87% случаев. В отличие от гетерофории, предполагающей единообразность отклонений формы обоих глаз от нормы, 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 эзо- или экзофорию, то будет наблюдаться сходящееся либо расходящееся косоглазие. Это следует из содружественного характера движений глаз, которые, как известно, осуществляются благодаря одинаковым развиваемым усилиям мышц обоих глаз независимо от их положения в орбитах. Совершенно ясно, что при разнополюсности гетерофории у обоих глаз достижение одинакового их стояния в орбитах невозможно, так как для этого понадобилось бы подавать разные сигналы на одноименные мышцы обоих глаз, что исключается. И поскольку для выработки управляющего сигнала центральная нервная система может исходить то от левого, то от правого глаза или от одного и того же глаза, будет наблюдаться периодическое или постоянное содружественное косоглазие. В подтверждение предложенной модели содружественного косоглазия приведем литературные данные. Установленно, 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 [11]. Там же указывается, что причиной развития косоглазия нередко являются уже небольшие значения анизометропии.

Офтальмологическая модель реализует гидробиомеханическую концепцию косоглазия и наглядно демонстрирует ортофорию, гетерофорию и содружественное косоглазие, которые осуществляются посредством сравнения стояния имитаторов левого и правого глаз с возможностью измерения угла косоглазия. Это достигается при помощи имитации нормальных, укороченных и удлиненных форм двух глаз и установлением центров тяжести двух глаз в различные положения, что адекватно имитации различных состояний равновесия - остойчивого, нестойчивого и безразличного

и их различных сочетаний. Затем для демонстрации косоглазия либо левым, либо правым ведущим глазом имитируют фиксацию дальней точки, адекватно повороту ведущего глаза поворачивают другой глаз и измеряют на шкале угол косоглазия (рис.3).

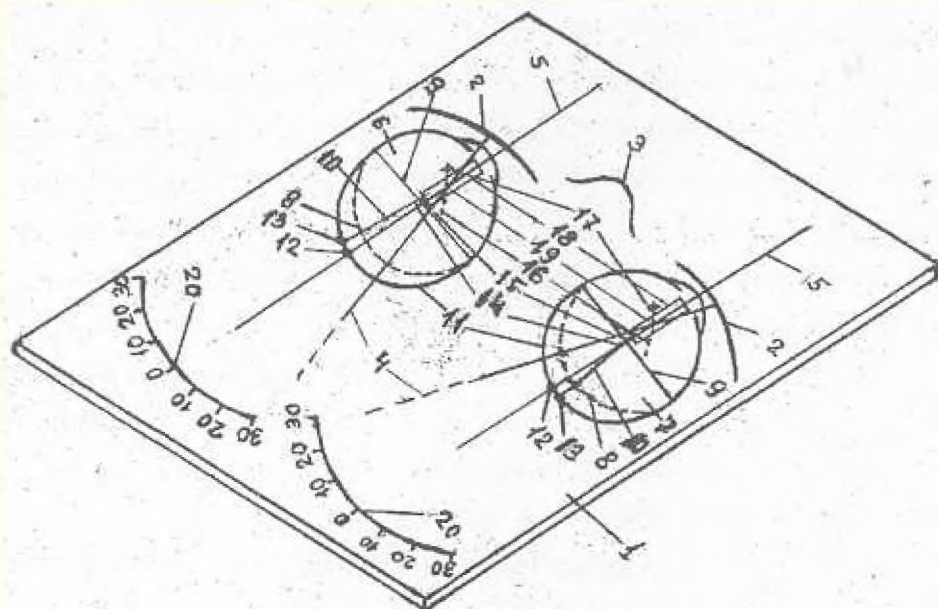


Рис .3. Изображение вида офтальмологической модели.

На рис.3 показан общий вид офтальмологической модели. Модель содержит платформу (1), с нанесенными на ней изображениями левой и правой глазных щелей (2), переносицы (3), орбитальных осей (4), зрительных линий (5), соответствующих прямому стоянию глаз, плоских прозрачных имитаторов левого (6), правого (7) глаза, размещенных на платформе (1) соответственно за левым и правым глазными щелями (2) над орбитальными осями (4) и зрительными линиями (5). Имитаторы левого (6) и правого (7) глаз состоят из нижних пластин (8), с нанесенными на них поперечными осями (9), передне-задними (оптическими) осями (10), верхних пластин (11) с нанесенными на них изображениями центральных ямок сетчаток (12), отстоящих на одинаковом расстоянии у обоих глаз влево либо вправо от заднего полюса глаза (13), центров тяжести глаз (14), расположенных за геометрическими центрами (15). Имитаторы 6 и 7 прикреплены к платформе при помощи осей вращения (16), содержащих фиксаторы (17), прижимающие верхние пластины (11) к нижним пластинам (8), вставленные в направляющие пазы (18), выполненные на верхних пластинах вдоль оптических осей (10), оси вращения (16), вставленные в сквозные отверстия - центры

вращения (19), имитаторов 6 и 7, служащих одновременно геометрическими центрами угловых шкал (20), нанесенных в задней части платформы. В качестве центров вращения имитаторов служит установленный нами истинный центр вращения глаза, расположенный впереди геометрического центра в узловой точке глаза на расстоянии 7,7 мм от вершины роговицы. При этом поперечная ось глаза равна 23,6 мм, передне-задняя ось в укороченном варианте - 22 мм, базовое расстояние между зрительными осями - 60 мм, размер глазной щели - 28 мм, размер переносицы - 32 мм, расстояние центра тяжести от вершины роговицы - 12,66 мм, максимальное расстояние центральной ямки сетчатки от заднего полюса глаза - 3 мм, длина направляющих пазов - 10 мм. Приведенные величины соответствуют средним элементам лица и параметрам глаза человека. Для большей достоверности параметры деталей модели могут быть увеличены в произвольное число раз с сохранением отношений между их размерами - базового расстояния, переносицы, глазной щели, поперечной оси, передне-задней укороченной оси, расстояния центра тяжести и центра вращения от вершины роговицы, направляющих пазов, отстояния центральной ямки сетчатки от заднего полюса глаза - как 1: 0,53: 0,47: 0,39: 0,38: 0,21: 0,17: 0,13: 0,05.

Офтальмологическая модель работает следующим образом. Платформу располагают горизонтально, можно держать на ладони левой руки. Имитаторы левого (6) и правого (7) глаз закрепляют к платформе при помощи осей вращения (16), вставленных в сквозные отверстия-центры вращения (19) таким образом, чтобы центры тяжестей (14) лежали на орбитальных осях (4) и глаза имели прямое стояние. Это достигается при помощи корректирующих перемещений верхних пластин (11) имитаторов 6 и 7 вдоль направляющих пазов (18) и их вращения вместе с нижними пластинами (8) вокруг оси вращения (16). Это исходное положение имитаторов 6 и 7 соответствует ортофории, так как в этом положении равнодействующая нормальной силы - орбитальная ось (4) - проходит через центр тяжести (14), следовательно, глаз находится в состоянии безразличного равновесия и при снятии фиксационного рефлекса он останется неподвижным.

Для демонстрации эзо - и экзофории верхние пластины (11) перемещают на равные расстояния от исходного положения, в первом случае - вперед в сторону глазных щелей (2), во втором -

назад. При этом орбитальные оси (4) в первом случае окажутся за, во втором впереди центров тяжести (14). Эти положения имитаторов 6 и 7 соответствуют в первом случае ситуации нестойчивого равновесия, во втором - остойчивого равновесия плавания глаза. Следовательно, при снятии установочного рефлекса глаз отклонится в первом случае вовнутрь к носу (переносице), во втором - кнаружи. Эти положения демонстрируются вращением имитаторов 6 и 7 вокруг осей (16). Для демонстрации содружественного косоглазия одну из верхних пластинок либо левого (6), либо правого (7) имитаторов глаз перемещают из исходного положения вперед или назад либо перемещают обе пластины (11) в противоположных направлениях: одну - вперед, другую - назад, имитируя укороченную или удлиненную форму яблока глаза по передне-задней оси глаза, затем оба имитатора устанавливают в положение физиологического покоя, т. е. центры тяжести (14) совмещают с орбитальными осями (4). Это достигается вращением имитаторов 6 и 7 вокруг осей (16). При этом положения имитаторов в орбитах окажутся разными. Затем по желанию выбранный ведущий глаз устанавливают в положение прямого стояния - дальней фиксации. При этом центральную ямку сетчатки этого глаза совмещают со зрительной линией (5). Это достигается вращением соответствующих имитаторов вокруг оси (16). На угловой шкале (20), соответствующей этому (ведущему) глазу, отсчитывают угол произведенного поворота, затем на такой же угол поворачивают второй имитатор, при этом угол расхождения и будет углом косоглазия. Офтальмологическая модель может быть использована для демонстрации ортофории, гетерофории и содружественного косоглазия в соответствии с гидробиомеханической концепцией, что будет способствовать закреплению учебного материала и повышению эффективности обучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Галоян В. Р. Биолог. журн. Армении, 39, 2, 105-118, 1986.
2. Галоян В. Р. Биофизика, 33, 6, 1041-1053, 1988.
3. Галоян В. Р. Биофизика, 34, 3, 481-487, 1989.
4. Галоян В. Р. Биофизика, 35, 1, 118-123, 1990.
5. Галоян В. Р. Авт. свид. , N 1277175, Бюл.46,1986.
6. Галоян В. Р. Авт. свид. , N 1401508, Бюл.21,1988.
7. Галоян В. Р. Авт. свид. , N 1552222, Бюл.11,1990.
8. Галоян В. Р. Авт. свид. , N 1649596, Бюл.18,1992.
9. Галоян В. Р. Авт. свид. , N 1720075, Бюл.10,1992.