

О ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ И БИОМЕХАНИЧЕСКИХ ПОСТУЛАТАХ НОВЫХ ТЕОРИЙ АККОМОДАЦИИ

Кошиц И.Н.¹, генеральный директор ЗАО «Питерком-Сети / МС»; Светлова О.В.², проф., д.м.н.; Макаров Ф.Н.³, проф., д.м.н.; Гусева М.Г.², врач-оптометрист.

¹ЗАО «Питерком-Сети / МС»;

²ГБОУ ВПО Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова;

³ФГБУН Институт физиологии им. И.П. Павлова РАН; Санкт-Петербург.

От редакции

Публикуя эту статью, мы надеемся, что она послужит поводом для конструктивного диалога, а не для очередного витка взаимной критики. Очевидно, что для выработки адекватных представлений об аккомодации необходима плодотворная полемика и объединенные усилия представителей разных научных дисциплин.

Взрывной характер числа публикаций по новым теориям аккомодации за последние годы говорит о явной актуальности проблемы. Действительно, до настоящего времени мы не только не имеем общепринятых представлений о теории аккомодации, но даже достоверно выявленные нормы аккомодации при одновременной работе обоих глаз пока отсутствуют. Следует констатировать, что нет единого мнения об исполнительных механизмах хрусталиковой аккомодации по Гельмгольцу [44], и пока не вошла в практику разработанная общая классификация всех имеющихся в глазу механизмов аккомодации [28,31]. Более того, в вопросе разработки общепринятого глоссария по исполнительным механизмам аккомодации пока также наблюдается «разброд и шатание», а полярность мнений достигла критического уровня. Наше видение этого вопроса ранее было изложено в работах [11,14-17,20,28,57-61].

Если говорить о разработке аккомодационной терминологии чуть подробнее, то в первую очередь поражает историческая некорректность использования самого понятия «тонус аккомодации» в глазу человека. Если аккомодация – это *физиологическая функция*, может ли она иметь тонус?! Или тонус может иметь только единственный исполнительный механизм аккомодации в глазу человека – активная ресничная мышца (РМ)? И, например, аналитическая, алгебраическая, степенная, рациональная, физиологическая и другие *функции* могут иметь тонус или нет?! И возможны или нет выражения: тонус речи, тонус слуха, тонус зрения, тонус сна, тонус приема пищи, тонус стекловидного тела и др.? Конечно, любая физиологическая *функция* может быть активной, пассивной, ослабленной, недостаточной, избыточной и т.п., но тонуса определено иметь не может. Тонус может иметь только ее исполнительный механизм. Мы же принципно

С позиций биомеханики и нормальной физиологии глаза рассмотрены три новые теории аккомодации, недавно разработанные отечественными офтальмологами. Выявлено несоответствие каждой из этих теорий законам механики, а также некорректная для физиологии глаза интерпретация основных постулатов этих теорий. Эти новые теории аккомодации не уточняют и не развивают классическую теорию аккомодации Гельмгольца, а фактически отвергают ее в части представлений о возможных исполнительных механизмах процесса аккомодации и их взаимодействии. Отмечено, что, несмотря на исключительную оригинальность научных догадок авторов этих новых теорий, такой умозрительный исследовательский подход, к сожалению, не «расширяет наши представления о механизме изменения клинической рефракции глаза» [8], а наоборот, усложняет практическое понимание особенностей функционирования исполнительных механизмов аккомодации в глазу человека.

Ключевые слова: глаз человека, зрительная аккомодация, исполнительные механизмы аккомодации, скорость перенастройки аккомодации, предустановка аккомодации, теория аккомодации Гельмгольца.

Koshits I.N., Svetlova O.V., Makarov F.N., Guseva M.G. THE PHYSIOLOGICAL AND BIOMECHANICAL POSTULATES OF THE NEW THEORIES OF ACCOMMODATION

The three new theories of accommodation, which was newly developed by Russian ophthalmologists, are considered from the viewpoint of biomechanics and physiology of normal eye. It was revealed that each of these theories do not correspond to the laws of mechanics, but also revealed an incorrect interpretation of basic postulates in terms of eye physiology. The new theory of accommodation did not specify and develop the classical Helmholtz theory of accommodation, but in fact renounce it – so far so it relates to the ideas about possible actuators of accommodation process and their interaction. It is noted that unfortunately (despite the extraordinary originality of author's scientific speculation) such speculative research approach is not "expands our understanding of mechanism of change in clinical refraction" [8], but rather complicates the practical understanding of accommodation actuators functioning in human eye.

Key words: human eye, visual accommodation, accommodation actuators, tuning rate of accommodation, preset of accommodation, Helmholtz theory of accommodation.

ально не можем определить, например, тонус алгебраической или степенной функции. Но может ли иметь тонус РМ – **активный исполнительный механизм** физиологической функции «аккомодация глаза»? И вот здесь наверняка следует сказать «да».

Но тогда надо признать, что наблюдается широко распространенная подмена понятия «тонус ресничной мышцы» словосочетанием «тонус аккомодации». РМ может иметь соответствующий тонус, а аккомодация как физиологическая рефлекторная функция – нет. И если относиться к офтальмологии как к настоящей науке, которая все-таки должна жить в согласии с законами природы, следует констатировать, что в ней не должно быть места некорректным понятиям. Поэтому так называемый «тонус аккомодации», по-видимому, необходимо исключить из офтальмологической практики, заменив его на адекватное законам физиологии и механики определение «тонус РМ».

За последние два десятилетия классическая теория аккомодации Г.Л.Ф. фон Гельмгольца (1855) [44], представляющая собой яркий пример научного прозрения, подверглась необоснованной критике со стороны R.A. Schachar [56] и его последователей. Кроме того, опубликовано несколько новых теорий аккомодации, причем каждая из них находится в явном противоречии с классической теорией аккомодации Гельмгольца [5,6,8,39,40].

Наш углубленный биомеханический и физиологический анализ исполнительных механизмов аккомодации и теории Гельмгольца показал, что его теория полностью адекватна законам механики и теории управления [10,11-18,20,24,28,31-34,46-51,57-61]. Анализ ошибочных взглядов R.A. Schachar, который полностью отвергает теорию аккомодации Гельмгольца, в наших публикациях уже был проведен, поэтому на этом останавливаться не будем [29].

Отметим, что как высококлассный физик и механик Г.Л.Ф. фон Гельмгольц рассматривал аккомодацию именно как **однонаправленный процесс** и ввел в своей основополагающей классической работе [44] два физиологических понятия: «**есть аккомодация**» (взгляд вблизи) и «**нет аккомодации**» (взгляд вдаль); естественно, о «покое аккомодации» при среднем расположении ресничной мышцы он вообще не упоминал. Поскольку истина процесса аккомодации была раскрыта Гельмгольцем лишь частично, после Гельмгольца на протяжении почти двух веков появилась масса других теорий аккомодации, подробно рассмотренных нами ранее в работах [31,32,33,50,57-61].

Заметим, что всегда очень полезно обращаться «к истокам». Как указывалось более века назад в энциклопедии Брокгауза и Эфрона, *«Прежде полагали, что покоящийся глаз приспособлен к среднему расстоянию, и принимали два направления аккомодации: положительное для близкого и отрицательное для далекого расстояния. Но теперь признано, что при нормальных условиях глаз приспособлен к бесконечной дали и что, следовательно, существует только одно направление аккомодации [выделено нами] – приспособление глаза к близким расстояниям»* [1]. Фактически эта энциклопедическая статья констатировала согласие с теорией аккомодации Гельмгольца. «Символы веры» о наличии активной ак-

комодации вдаль и о наличии «покоя аккомодации» при работе глаз на среднем расстоянии были окончательно изжиты.

Однако на протяжении XX столетия стали регулярно появляться различные экстравагантные теории аккомодации, авторам которых, по-видимому, не доставало популярности Гельмгольца. Критический биомеханический анализ большинства этих теорий уже был ранее проведен в наших работах, поэтому отправляем читателя к их публикациям в открытом доступе [31,32,33,50,57-61].

Но если искать главную причину слабой проработанности всех этих теорий аккомодации, можно с уверенностью сказать, что она заключается, к сожалению, в недостаточной компетентности их авторов в сопредельных вопросах биофизики, механики и физиологии. Вышесказанное вовсе не означает отсутствие нашего глубокого уважения к авторам этих теорий аккомодации – они это сделали «так, как смогли», то есть на уровне их знаний и понимания проблемы аккомодации глаз человека. Однако многие медицинские проблемы, включая аккомодацию и рефракцию, лежат на стыке различных областей знаний, и для их успешного решения в современных условиях необходим синергетический подход, позволяющий с большой вероятностью исключить ошибки при постановке задачи исследования, используя в полной мере познания из сопредельных фундаментальных дисциплин. О современных требованиях к офтальмологическому образованию в РФ см. наши работы [21,22].

Сказанное хорошо иллюстрируют исследования процесса аккомодации, выполненные немецким офтальмологом К. Mütze в 1954 году. Он попытался в очередной раз «поправить» Гельмгольца и ввел понятие «покой аккомодации» [52]. В СССР это понятие было введено в 1973 году на основании исследований К. Mütze авторами работы [4]. Анализ ошибочных представлений К. Mütze, предложившего понятие «покой аккомодации» в результате некорректного эксперимента, был проведен А.И. Горбанем и нами и представлен в статьях [11,18,32,58]. Из этого анализа приходится сделать непростой вывод: понятие «покой аккомодации» необходимо исключить из офтальмологической практики [11,14,17,18,20] и заменить на введенное нами адекватное законам механики понятие «**предустановка аккомодации**» [14,17,18,20,58].

Но если не следовать четко основанным на законах механики представлениям Гельмгольца, то необходимо ввести революционные поправки в его теорию аккомодации и начать говорить не только о «покое аккомодации» (читай – покое РМ), но также и об активной аккомодации как вблизи, так и вдаль, что мы зачастую и наблюдаем на практике в ряде современных исследований [2,5,6,8,39,40], по сути, возвращающих нас обратно во времена до Брокгауза и Эфрона, то есть в XIX век! При этом весь возможный диапазон активной аккомодации вдаль оценивается адептами этой «теории» всего в 0,5–1,5 ди-

оптрии [5]. Наиболее яркими сторонниками теории «активной аккомодации вдаль» являются авторы работ [2,5,39,40], предлагающие кардинально изменить теорию аккомодации Гельмгольца и представляя эти изменения как дальнейшее развитие его (Гельмгольца) теории. Мы неоднократно и достаточно корректно критиковали на различных конференциях и в статьях как сами эти воззрения, так и качество проводимых для их подтверждения экспериментов, поэтому не будем повторяться и отсылаем читателя к уже опубликованным нами материалам [13,20,34].

Одно перечисление попыток так называемого «определения покоя аккомодации» в отечественной литературе вызывает удивление из-за своей расплывчатости: «относительный... функциональный... или тонический... покой аккомодации»; «тонус покоя», «фокус покоя»; «оптическая установка физиологического покоя» и т.п. **При этом энергопотребление РМ считается минимальным, однако ее тонус не минимален** [42]! Отметим, что в вопросе о физиологическом понимании термина «покой аккомодации» наблюдается постепенная «сдача позиций» апологетами теории активной аккомодации вдаль, для одного существования которой жизненно необходима область «покоя аккомодации». В частности, соавтор статей [37,38] недавно предложил считать «покоем аккомодации» работу зрительной системы человека в безориентирном пространстве (цитируем по [41]): «В области фундаментальных исследований аккомодации, я считаю, мы заняли хорошую позицию, и мы договорились, что существует «покой аккомодации», он обозначается не как «установка зрения вдаль», а как «состояние без зрительного стимула». Это правильная позиция, которая многое ставит на свои места».

В этом мнении фактически сконцентрированы все недостатки идеологии «покоя» с не минимальным тонусом РМ в среднем расположении фокусной зоны глаза (см. [11,14,16,18,57,58]). Однако отчетливо стало просматриваться понимание очевидной необходимости введения адекватного законам механики и теории управления понятия «**предустановка аккомодации**», при которой тонус РМ и ее энергопотребление не минимальны, поскольку РМ, как вратарь, встает «посередине ворот аккомодации», настраиваясь на расстояние 1,2–1,5 метра. Это необходимо, чтобы не только снизить общее энергопотребление всего процесса аккомодации. Главная задача «предустановки аккомодации» – **минимизировать** скорость перестройки зрительной системы обнаружения у человека от взгляда «полностью вдаль» к взгляду «полностью вблизи», соблюдая принцип энергосбережения в биологических системах [см. 11,12,13,15,18,20,24]. И «предустановка аккомодации» – это точно не ее «покой»!

Теперь конкретно рассмотрим так называемые «аккомодационно-гидрогемодинамические» теории аккомодации, возникшие в самое последнее время [6,8]. Смысл

этих теорий состоит в том, что, в глазу существуют не замеченные Гельмгольцем исполнительные механизмы хрусталиковой аккомодации, которые якобы округляют хрусталик при взгляде вблизи или вдаль. При этом авторы этих исследований не всегда четко говорят, в чем, по их мнению, неправ Гельмголец в своей теории аккомодации.

Например, авторы работы [6] утверждают, что перетекание водянистой влаги из передней камеры в супрацилиарную щель будет менять форму стекловидной камеры, которая, в свою очередь, будет давить на хрусталик сзади и округлять его. С другой стороны, автор работы [8] утверждает, что перетекание ВВ из передней камеры в венозный синус склеры будет изменять ВГД, которое и является именно тем исполнительным механизмом, который участвует в округлении хрусталика. То есть в обеих теориях задействована многократно описанная нами ранее функциональная связь аккомодации с оттоком водянистой влаги.

Начнем с терминологии, так как это по-настоящему поможет вникнуть в суть проблемы. Само по себе словосочетание «гидродинамика глаза» является не вполне точным, поскольку предполагает наличие заметной «скорости перетекания внутриглазной жидкости» [25]. «Перетекание» водянистой влаги (ВВ) в глазу происходит относительно медленно. Фактически ВВ пассивно фильтруется через 3 фильтра в глазу: сквозь юкстаканаликулярную ткань трабекулярной зоны, сквозь межволоконный матрикс ЦМ и, наконец, сквозь склеру.

Регуляция этого своеобразного медленного дренирования ВВ (как в настольном фильтре для очистки воды) осуществляется за счет выработки внутриглазным эпителием **катализаторов** оттока – естественных простагландинов и, возможно, пока еще не открытых **ингибиторов** оттока. Заметим, что склера богата рецепторами простагландинов [3]. Вышеуказанный процесс прохождения ВВ по путям оттока точнее всего можно охарактеризовать с помощью науки «гидравлика» [43], которая описывает в том числе и стационарные медленные передвижения жидкости, то есть «**гидростатику глаза**».

Обращаем внимание читателя на то обстоятельство, что термин гидродинамика глаза был справедливо исключен нами из научного оборота, поскольку в глазу в принципе отсутствует заметное **течение** водянистой влаги (**скорость ее перемещения** в глазу обычно не превышает десятых долей мм в минуту). Это означает, что в глазу в основном есть только медленное **дренирование** (фильтрация) ВВ сквозь ткань – фильтр в трабекулярной зоне (юкстаканаликулярная ткань), сквозь межволоконный матрикс ресничной мышцы и далее – сквозь ткань склеры.

Например, в работе [62] **расход** ВВ по УСПО in vivo составил от 0,047 до 0,052 мм³ в минуту, что составляет **одну тысячную долю** стандартного объема капли из пи-

петки при глазных инстилляциях (объем одной капли ≈ 50 мм³). А в работе [52] расход ВВ по УСПО выявлен еще в 15 раз меньше – 0,003 мм³/мин. Таким образом, заметное скоростное течение ВВ в глазу отсутствует, и можно говорить только о ее медленном перетекании или дренировании.

Поэтому подобные состояния *фильтрационного перемещения жидкости* наиболее корректно описывает не «гидродинамика», а «**гидравлика**», являющаяся прикладным разделом общей науки «механика жидкостей» [43]. Эти прикладные знания в смежной для офтальмологии области позволяют описывать важные параметры фильтрационного перемещения ВВ. Недаром сегодня применяется корректное с точки зрения механики понятие «*гидравлическое сопротивление*» (в глазу), а не «*гидродинамическое*» [36,37].

Сказанное иллюстрирует то обстоятельство, что фильтрация водянистой влаги из передней камеры в супрацилиарную щель сквозь межволоконный матрикс РМ происходит достаточно медленно. Например, если представить себе, что весь продуцируемый минутный объем ВВ (до 8,5 мм³/мин [46]) перетекает из передней камеры только сквозь РМ, то за 1 секунду в супрацилиарную щель профильтруется 8,5 мм³/мин : 60 с ≈ 0,14 мм³, то есть около **14 сотых (!) долей кубического миллиметра**. На языке механики это означает состояние статики, а не динамики, когда заметное динамическое перетекание ВВ фактически отсутствует, но фильтрация со скоростью 0,14 мм³/сек имеется.

Однако на XIX международном офтальмологическом конгрессе «Белые ночи 2013» соавтором работы по рассматриваемой нами теории аккомодации [6] была озвучена в авторском докладе расчетная цифра расхода ВВ по УСПО в момент аккомодации **30–40 мм³** [7]! Чтобы такой объем ВВ «просочился» сквозь межволоконный матрикс РМ, необходимо не менее **4,7 мин** (40 мм³ : 8,5 мм³/мин ≈ 4,7 мин)! А это означает, что предлагаемый авторами исполнительный механизм аккомодации, основанный на перетекании ВВ из передней камеры в супрацилиарную щель, не сможет быстро изменить форму стекловидной камеры, которая, в свою очередь, будет давить на хрусталик сзади и округлять его. И вот почему.

Согласно обобщенному материалу сайта www.glazamed.ru, скорость аккомодативных реакций такова (цитируем): «*При переводе взгляда с далеко расположенных предметов на близлежащие затрачивается 0,64 с, а в обратном направлении этот процесс происходит быстрее (0,56 с)... В ответ на предъявление стимула аккомодация реагирует в среднем через 0,36 с, т. е. медленнее, чем зрачок на свет (0,26–0,3 с).* [Lovenstein O., 1958; Campbell F., Westheimer G., 1959]».

При взгляде «полностью вблизи» увеосклеральный отток перекрыт, т.е. перетекание ВВ в супрацилиарную щель отсутствует [9,10,11,19,27]. Это означает априори, что

«аккомодационно-гидродинамическая» теория в этой фазе аккомодации в принципе не работает. Но даже если предположить, что это не так, и если помнить о том, что хрусталик под воздействием изменяющей свою форму стекловидной камеры перемещается при взгляде вблизи вперед на 0,3–1,2 мм [45], то объем ВВ, необходимой для перемещения хрусталика кпереди за счет изменения формы (сдавливания «с боков») стекловидной камеры, по нашей приближенной оценке, должен составлять не менее 6 мм³. То есть время, необходимое для перетекания этого объема ВВ из передней камеры в супрацилиарную щель, будет составлять не менее 6 мм³ : 0,14 мм³/сек = **43 сек**. Очевидно, что механизм «перетекания» ВВ не успевает принять участие в акте аккомодации, поскольку это два совершенно разных по скорости процесса. Учитывая изложенное, следует констатировать, что так называемую «аккомодационно-гидродинамическую теорию» [6] в принципе нельзя считать достаточно обоснованной. К аналогичному выводу пришли авторы работы [26].

Также стоит отметить, что авторы новой «аккомодационно-гидродинамической теории» [6], как уже указывалось выше, фактически отвергают теорию аккомодации Гельмгольца, пытаясь объяснить факт округления хрусталика не взаимосвязанной работой передней и задней порций волокон ресничного пояса в сочетании с силами упругости сумки хрусталика, а гипотетическим механизмом его «поддавливания» со стороны стекловидной камеры. Такой упрощенный подход к объяснению процесса хрусталиковой аккомодации в основном за счет «поддавливания» сумки хрусталика со стороны стекловидной камеры был популярен еще в XIX веке и уже многократно критиковался нами [16,17]. На этом пути «отметились» многие известные офтальмологи – например, Albert von Pflugk [55] и даже ученик Гельмгольца Marius Tscherning [63].

Заметим, что в уточненном нами механизме аккомодации по Гельмгольцу необходимое изменение формы стекловидной камеры обеспечивается в полном соответствии с законами механики усилием РМ через растяжение куполообразно расположенных структур хороидеи и их смещение (под действием возросшего натяжения со стороны РМ) вперед и внутрь [13-16,19,20,24,27-28,30,50]. Поэтому в принципе нет оснований считать не только новой, но и работоспособной выдвинутую авторами работы [6] новую гипотезу функционирования исполнительного механизма аккомодации.

Автором уже упомянутой работы [8] предложена (цитируем) «*энергосберегающая гидрогеомодинамическая теория работы аккомодационного аппарата глаза*». Создатель этой новой теории аккомодации, как и ранее упомянутый R.A. Schachar, фактически отвергает теорию аккомодации Гельмгольца, исключает прямое участие цилиарной мышцы в *натяжении и ослаблении* цинновых связок и предлагает объяснить процесс аккомодации с по-

мощью исполнительного механизма изменения уровня ВГД в глазу, под влиянием которого якобы и происходит уплощение или округление капсулы хрусталика.

Корректно и полно критиковать взгляды автора (цитируем): «*Основу новой теории аккомодации составила концепция энергосберегающего механизма работы аккомодационного аппарата глаза. Данный механизм предусматривает исходное уплощение хрусталика под влиянием ВГД и исключение прямого участия цилиарной мышцы в натяжении и расслаблении цинновых связок*», – в принципе невозможно, поскольку в этой теории использованы явно ошибочные с точки зрения механики положения.

Уважаемый автор явно заблуждается, повторяя широко распространенный «символ веры», будто порции волокон ресничного пояса *расслабляются* при взгляде «полностью вблизи». Как известно, согласно II закону Ньютона, «действие равно противодействию». В случае расслабления волокон ресничного пояса хрусталик не будет закреплен в глазу, то есть не сможет противостоять динамическим нагрузкам: ему просто будет не за что «уцепиться» – ведь у него нет в этом случае натянутого «ремня безопасности». Поэтому во всех фазах аккомодации хрусталик «поджат» ресничным пояском к стекловидной камере, чтобы выдерживать инерционные нагрузки. Объяснять здесь действие общего закона природы нам, право, неудобно, поэтому отсылаем автора к нашим опубликованным работам. В них адекватно законам механики описывается взаимосвязанная работа всех исполнительных механизмов аккомодации в глазу человека и составлена их подробная классификация [14,16,17,18,20].

Уважаемый автор работы [8] главную цель своего исследования определил так: «*Рассмотреть новый энергосберегающий механизм работы аккомодационного аппарата глаза*». Такой неординарный научный подход требует сначала дать определение того, что является исполнительными звеньями биомеханизма аккомодации. Но автор этого не делает, а пытается описать «механизм работы» какого-то «аппарата глаза». Нам непонятен силогизм «*механизм работы*». Вот *работа механизма* – это понятно и механику, и физиологу, и врачу. Трудно также понять, что автор подразумевает под понятием «аппарат глаза», поскольку он первоначально не описан. Заметим, что любая теория должна иметь в своей основе определение основных понятий. И если этого нет, такой исследовательский подход априори некорректен.

Однако продолжим рассмотрение положений этой неординарной «теории». Да жидкость несжимаема, но не «согласно законам физики», а потому что таковы ее свойства, то есть физические константы. И давление в передней и задней камерах глаза, кроме случая иридохрусталикового блока, всегда одинаковое, поскольку это сообщающиеся сосуды. Поэтому сумка хрусталика снаружи со всех сторон постоянно обжата одинаковым внутриглаз-

ным давлением. И, как уже говорилось выше, из-за несжимаемости всех структур хрусталика (они тоже состоят в основном из воды) ВГД «по определению» не может воздействовать на его форму: давление в хрусталиковых массах при взгляде полностью вдаль всегда равно внутриглазному. Хороший пример: мы не можем изменить объем кусочка льда даже при его погружении на самое дно высокого стакана с водой, когда обжимающее эту льдинку давление за счет столба воды будет повышенным.

Однако при взгляде полностью вблизи внутривнутрихрусталиковое давление повышается за счет дополнительного обжатия несжимаемого содержимого хрусталика эластическими структурами капсулы хрусталика. В этот момент внутривнутрихрусталиковое давление максимально и равно сумме двух давлений: внутриглазному плюс давлению сжатия, вызванному ригидностью капсулы хрусталика [16,17,38]. Также необходимо специально отметить, что этот биомеханизм функционирует одинаково на фоне любого уровня ВГД в норме. То есть изменения давления внутри хрусталиковой сумки – а также, кстати, и внутри стекловидной камеры – при обычном фоне стационарного уровня ВГД связано только с изменением уровня ригидности или формы каждой из этих оболочек. Напомним, что ригидность (жесткость) – это свойство оболочки восстанавливать свою форму [23].

Отметим лишь, в частности, что уплощенная форма хрусталика при взгляде вдаль не может быть связана с действием ВГД, поскольку все структуры хрусталика несжимаемы и изменить его форму с помощью изменения наружного давления невозможно. Приведем пример.

Всем хорошо известен факт принятия хрусталиком шарообразной формы при атмосферном давлении после его удаления из глаза: перерезанные волокна РП перестают растягивать капсулу хрусталика, и он под действием упругих сил наружной сумки изменяет свою уплощенную форму на сферическую. И эта сферическая форма хрусталика не изменится под действием любого, даже огромного внешнего давления: сжать структуры хрусталика невозможно!

Уплощенная форма хрусталика регулируется другим исполнительным механизмом и обусловлена как натяжением передней и задней порций волокон ресничного пояса (РП) во всех фазах аккомодации, так и «ответной реакцией» со стороны стекловидной камеры, к которой прижат хрусталик во всех этих фазах [13,14,17,50].

Некоторые офтальмологи, по-видимому, также принципиально не понимают того, что при аккомодации в молодом глазу **ВГД не изменяется**. Во-первых, это связано с функциональным свойством склеры нивелировать скачки офтальмотонуса [23]. Кроме того, фиброзная оболочка глаза (ФОГ) постоянно «обжимает» все внутриглазные несжимаемые структуры, обеспечивая отток ВВ из глаза (вытесняет ВВ наружу). Флуктуации ФОГ – это

основной исполнительный механизм оттока ВВ. При этом объем глаза уменьшается, но ВГД в молодом глазу не изменяется, поскольку ригидность ФОГ остается постоянной [23].

Автор работы [8] считает, что (цитируем, жирный шрифт наш): «**Согласно законам физики жидкость несжимаема** [наш комментарий: это не закон физики, а свойство жидкости]. **Вот почему, какой бы сильной не была цилиарная мышца, она не может через натяжение и расслабление связок вызвать изменение формы хрусталика** [наш комментарий: несжимаемость жидкости не может механически повлиять на взаимосвязанное функционирование РМ и ресничного пояса (РП) – РМ и РП просто «плавают» внутри глаза. РП даже при взгляде полностью вблизи» не расслабляется никогда, иначе хрусталик не будет закреплен в глазу. Неспособность РМ в норме вызвать округление пресбиопического хрусталика связана не с РМ, а с **перерастянностью** хрусталиковой сумки, когда внутренний объем хрусталика увеличивается примерно в два раза. По этой причине хрусталик не аккомодирует даже при замене пресбиопических хрусталиковых масс на точно такие же по объему имплантируемые [53]]. **Именно этот факт не принимается во внимание в теории аккомодации Гельмгольца** [наш комментарий: предположение не является фактом. Гельмгольц, конечно, прекрасно понимал, почему ВГД не может быть исполнительным механизмом аккомодации]. **Обязательным условием для изменения формы хрусталика должно быть быстрое снижение давления ВГЖ на его переднюю или заднюю поверхность. Такой механизм существует в передней камере глаза**». Наш комментарий: постулат автора о наличии такого механизма противоречит закону гидравлики о распространении давления в жидкости во всех направлениях одновременно. Поэтому хрусталик обжат внутриглазным давлением со всех сторон одинаково и «зжат» (то есть всегда закреплен в глазу!) во всех фазах аккомодации между натянутыми волокнами РП и стекловидной камерой [16,17].

Учитывая вышесказанное, трудно согласиться с оценкой автора работы [8] (цитируем): «**Энергосберегающая гидродинамическая теория аккомодации расширяет наши представления о механизме изменения клинической рефракции глаза при зрительной работе и открывает новые подходы к активизации аккомодационной способности глаза**». На наш взгляд, это еще одна из тех многочисленных теорий аккомодации, которые не разъясняют проблему, а наоборот, усложняют ее.

Подводя итог всему вышесказанному, отметим, что классическая теория аккомодации Гельмгольца с честью выдерживает испытание временем. Безусловно, в нее надо вносить необходимые уточнения и дополнения в виде, например, обобщенной классификации всех исполнительных механизмов аккомодации [16,28,31], но заложен-

ные в нее адекватные законам механики **принципы работы** как системы аккомодации в целом, так и ее исполнительных механизмов уже навсегда будут оставаться неизменными.

Список литературы

1. Аккомодация зрения // Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона: В 86 томах (82 т. и 4 доп.). – СПб., 1890–1907.
2. Бузыкин М.А. Ультразвуковая анатомо-физиологическая картина аккомодационного аппарата глаза у лиц молодого возраста in vivo: Дисс. ... канд. мед. наук. – Ярославль, 2004.
3. Вит В.В. Строеение зрительной системы человека. – Одесса, 2003.
4. Волков В.В., Горбань А.И., Джалиашвили О.А. Клиническая визометрия. – Л., 1976.
5. Волков В.В., Страхов В.В. Об аккомодации вдаль и очках, сберегающих возможность ее активного использования близоруким глазом в области дальнего видения // Вестн. офтальмол. – 2007. – № 2. – С. 32–37.
6. Золотарев А.В., Павлова О.В., Карлова Е.В., Стебнева И.Г. Увеосклеральный отток и аккомодация: морфологическая о функциональная взаимосвязь // Клинич. офтальмол. – 2009. – № 1. – С. 15–16.
7. Карлова Е.В. Активация увеосклерального оттока при первичной открытоугольной глаукоме – клинические данные // Сб. докладов XIX между. офтальмол. конгресса «Белые ночи». – СПб., 2013.
8. Корниловский И.М. Новая энергосберегающая гидродинамическая теория аккомодации // Рефракц. хирургия и офтальмол. – 2010. – № 3. – С. 16–22.
9. Котляр К.Е. Разработка и анализ математических моделей независимого и связанного функционирования дренажной и аккомодационной регуляторных систем человеческого глаза: Дисс. ... канд. техн. наук. – СПб., 1998.
10. Котляр К.Е., Волков В.В., Светлова О.В., Смольников Б.А. Биомеханическая модель взаимодействия аккомодационной и дренажной регуляторных систем глазного яблока человека // Биомеханика-96: Всероссийск. научн. конф. – Нижн. Новгород, 1996. – Т. 2. – С. 101–102.
11. Кошиц И.Н. Физиологическая сущность понятий «покой, слабость, предустановка, запас аккомодации» и «активная аккомодация вдаль» // Мат-лы научно-практ. конф. с между. участием «Филатовские чтения», посв. 75-летию основания Института В.П. Филатова. – Одесса. – 2011. – С. 274–276.
12. Кошиц И.Н., Макаров Ф.Н., Светлова О.В., Засеева М.В., Котляр К.Е. Биомеханические особенности регуляции ресничной мышцей аккомодации и оттока водянистой влаги при направленных рефракционных или фармакологических вмешательствах // «Биомеханика глаза 2005»: Сб. науч. тр. МНИИ ГБ им. Гельмгольца. – М., 2005. – С. 20–44.
13. Кошиц И.Н., Макаров Ф.Н., Светлова О.В., Котляр К.Е. Биомеханические и морфологические особенности крепления и функционирования волокон ресничного пояса хрусталика – ключевого звена в исполнительном механизме систем аккомодации и оттока водянистой влаги // «Биомеханика глаза 2005»: Сб. науч. тр. МНИИ ГБ им. Гельмгольца. – М., 2005. – С. 3–20.
14. Кошиц И.Н., Светлова О.В. Глоссарий-функционарий: механизмы аккомодации // «Рефракция 2008»: Сб. тез. и докл. юбил. офтальмол. конф., посв. 45-летию Самарской клинич. больн. им. Т.И. Ерошевского и 15-летию центра коррекции зрения «Октопус». – Самара, 2008. – С. 54–62. (См. также www.organum-visus.com).
15. Кошиц И.Н., Светлова О.В. Дискуссионные вопросы приобретенной миопии. – Офтальмолог. журн. – 2012. – № 6. – С. 111–122. / Перепечатка: Глаз. – 2013. – № 1. – С. 16–27.
16. Кошиц И.Н., Светлова О.В. Развитие теории аккомодации Гельмгольца по результатам исследований исполнительных механизмов аккомодации // Вестник РАМН. – 2003. – № 2. – С. 3–12.
17. Кошиц И.Н., Светлова О.В. Современные представления о теории аккомодации Гельмгольца. Учебное пособие. – СПб. – 2002.
18. Кошиц И.Н., Светлова О.В., Горбань А.И. Физиологические особенности работы исполнительных механизмов аккомодации и развитие теории аккомодации Гельмгольца. – СПб., 2013 (в печати).
19. Кошиц И.Н., Светлова О.В., Котляр К.Е., Макаров Ф.Н., Смольников Б.А. Биомеханический анализ традиционных и современных

- представлений о патогенезе первичной открытоугольной глаукомы // Глаукома. – 2005. – №1. – С. 41–62.
20. Кошиц И.Н., Светлова О.В., Макаров Ф.Н. Современные представления об исполнительных механизмах аккомодации и теории Гельмгольца. Часть I. Физиологические и биомеханические особенности функционирования системы аккомодации. – Глаз. – 2012. – №2. – С. 11–20.
 21. Кошиц И.Н., Светлова О.В., Макаров Ф.Н. О современных требованиях к высшему и постдипломному офтальмологическому образованию // Росс. детская офтальмология. – 2012. – №4. – С. 23–27.
 22. Кошиц И.Н., Светлова О.В., Макаров Ф.Н. О современных требованиях к офтальмологическому образованию в Российской Федерации // Ерошевские чтения – 2012: Тр. всеросс. конф., посв. 110-летию со дня рожд. Т.И. Ерошевского. – Самара, 2012. – С. 18–23.
 23. Кошиц И.Н., Светлова О.В., Рябцева А.А., Макаров Ф.Н., Засеева М.В., Мустаца В.Ф. Роль ригидности фиброзной оболочки глаза и флуктуации склеры в ранней диагностике открытоугольной глаукомы. – Офтальмол. журн. – 2010. – №6. – С. 76–88 (см. также www.organum-visus.com).
 24. Кошиц И.Н., Светлова О.В., Яндиев Я.И. Уточнение теории аккомодации Гельмгольца по результатам современных исследований поддерживающего аппарата хрусталика // Вопр. офтальмол.: сб. научн. тр. – Красноярск, 2001. – С. 160.
 25. Ландау, Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. – Издание 5-е. – М., 2003.
 26. Пивоваров Н.Н., Суркова Е.Н. Аккомодация и пресбиопия в свете новых гипотез (дискуссионные вопросы) // Рефракц. хирург. и офтальмол. – 2010. – № 4. – С. 4–10.
 27. Светлова О.В. Биомеханизм регуляции увеосклерального оттока в глазу человека // Офтальмология на рубеже веков: сб. научн. тр. ВМА. – СПб., 2001. – С. 207–208.
 28. Светлова О.В. Функциональные особенности взаимодействия склеры, аккомодационной и дренажной систем глаза при глаукомной и миопической патологии: Дисс. ... д.м.н. – М., 2010.
 29. Светлова О.В., Бауэр С.М., Кошиц И.Н. Биомеханические аспекты лечения пресбиопии по методикам R.A.Schahar и H.Fukasaku // Близорукость, нарушение рефракции, аккомодации и глазодвигательного аппарата: тр. между. симп. – М., 2001. – С. 232–233.
 30. Светлова О.В., Кошиц И.Н. Десятилетний опыт разработки биомеханической модели глаза // VI Всеросс. конф. по биомеханике: Тез. докл. – Нижний Новгород, 2002. – С. 24–25.
 31. Светлова О.В., Кошиц И.Н. Классификация и взаимодействие механизмов аккомодации глаза человека // Биомеханика глаза – 2002: сб. научн. тр. III сем. – 2002. – С. 117–119.
 32. Светлова О.В., Кошиц И.Н. Современные биомеханические представления о теории аккомодации Гельмгольца // Биомеханика глаза – 2001: сб. научн. тр. – М., 2001. – С. 142–178.
 33. Светлова О.В., Кошиц И.Н., Котляр К.Е. Биомеханическое уточнение теории аккомодации Гельмгольца по результатам исследований поддерживающего аппарата хрусталика // Биомеханика 2000: Тез. докл. 5-й всеросс. конф. по биомеханике. – Нижний Новгород, 2000.
 34. Светлова О.В., Макаров Ф.Н., Котляр К.Е., Засеева М.В., Кошиц И.Н. Морфологические и функциональные особенности конструкции ресничного пояса хрусталика как ключевого звена в механизме аккомодации глаза человека // Морфология. – 2003. – №3. – С. 6–17.
 35. Сергиенко И.М. Теория аккомодации: нужно ли поправлять концепцию Гельмгольца? // Офтальмол. журн. – 2000. – №2. – С. 81–82.
 36. Симановский А.И. Гидравлические характеристики глаза и усовершенствование клинической тонографии (часть II) // Глаукома. – 2008. – № 3. – С. 54–60.
 37. Симановский А.И. Сравнительный анализ изменения биомеханических свойств склеры в процессе естественного старения и при развитии глаукоматозной патологии // Глаукома. – 2005. – № 4. – С. 13–19.
 38. Степанова Л.В. Транспортные функции эпителия хрусталика (Биофизические аспекты): Дисс. ... к. биол. н. – Красноярск, 2005.
 39. Страхов В.В. Биомеханические и физиологические аспекты аккомодации глаза // Клиническая физиология зрения. – М., 2006. – С. 462–487.
 40. Страхов В.В., Бузыкин М.А. Медикаментозная модель биомеханики аккомодации глаза // Биомеханика глаза – 2001: Сб. научн. тр. МНИИ ГБ им. Гельмгольца. – М., 2001. – С. 174–176.
 41. Тумар Л. Аккомодация: от теории к практике. Представление национального руководства по аккомодации. Сателлитный симпозиум // Поле зрения. – 2012. – №5. – С. 19.
 42. Шамшинова А.М., Волков В.В. Функциональные методы исследования в офтальмологии. – М., 1999.
 43. Штребенлихт Д. В. Гидравлика. – Издание 3-е. – М., 2005.
 44. Helmholtz H. Über die Akkomodation des Auges. Albrecht von Graefes Arch. Ophthalmol. – 1855. – Vol. 1. – №2. – С. 1–74.
 45. Hess C. Die Refraction und Akkommodation des menschlichen Auges und Anomalien // Albrecht von Graefes Arch. Ophthalmol. – 1901. – Vol. 52. – С. 143–174.
 46. Holm O., Krakau C.E.T. A Method of Measuring Pupillary Aqueous Flow // Acta ophthalmol. – 1968. – Vol. 46. – №3. – С. 558–563.
 47. Koshitz I.N., Surzhikov A.V., Svetlova O.V., Naumova E.A., Zaseeva M.V. «Optical» outflow regulation – a new perspective of refraction surgery // Ophthalmic Research. – 2003. – Vol. 35. – S.1. – С. 64.
 48. Koshitz I.N., Svetlova O.V. Contemporary conceptions of the Helmholtz's accommodation theory // Ophthalmic Research. – 2003. – Vol. 35. – S.1. – С. 148.
 49. Kotliar K.E., Svetlova O.V., Koshitz I.N. Some peculiarities in functioning of the biomechanical model of interactions between the drainage and accommodation regulatory system of the eye // Abstracts of Third World Congress of Biomechanics. – Sapporo, 1998. – С. 297.
 50. Kotliar K.E., Svetlova O.V., Skoblikov A.S., Smolnikov B.A. Biomechanical modeling of the accommodative system based on some contemporary conceptions of lens supporting apparatus functioning // Vision Science and Its Applications. – Santa Fe, 1999. – С. 156–164.
 51. Krylova I.S., Svetlova O.V., Zinovieva N.V., Naumova E.A., Fedorova E.M., Koshitz I.N. Use of relationship between the biomechanisms of accommodation and aqueous outflow for the purpose of eye pathology prophylaxis // Acta of Bioengineering and Biomechanics. – Wroclaw, 2002. – Vol. 4. – Suppl. 1. – С. 720.
 52. Mütze K. Die Akkommodation des menschlichen Auges. – Akademie-Verl., 1956.
 53. Nishi Okihiro, Nishi Kayo. Accommodation amplitude after lens refilling with injectable silicone by sealing the capsule with a plug in primates // Arch. Ophthalmol. – 1998. – Vol. 116. – № 10. – С. 1358–1361.
 54. Pederson J.E., Toris C.B. Uveoscleral Outflow: Diffusion or Flow? // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. – 1987. – Vol. 28. – С. 1022–1024.
 55. Pflugk A. Neue Wege zur Erforschung der Lehre von der Akkommodation // Arch. f. Ophth. – 1935. – Vol. 133. – С. 339–351.
 56. Schachar R. A. Is Helmholtz's theory of accommodation correct? // Ann. Ophthalmol. – 1999. – Vol. 31. – С. 10–17.
 57. Svetlova O., Koshits I., Kotliar K., Smolnikov B., Makarov F. Classification and physiological principles of accommodation mechanisms in the human eye // Abstracts of 29th Conference on Visual Perception. – St. Petersburg, 2006. – С. 5.
 58. Svetlova O., Koshits I., Smolnikov B., Gorban A., Kotliar K. Biomechanical analysis of the hypothesis on «rest of accommodation» // Ophthalmic Research. – 2006. – Vol. 38. – S1. – С. 57.
 59. Svetlova O.V., Koshitz I.N. Evolution, classification and execution of the primary and secondary accommodation mechanisms in human eye // Ophthalmic Research. – 2003. – S1. – №35. – С. 44.
 60. Svetlova O.V., Koshitz I.N., Krylova I.S., Kotliar K.E., Smolnikov B.A. Further elaboration of the Helmholtz conception of the accommodation on the base of biomechanical analysis of the contemporary clinical observations // Acta of Bioengineering and Biomechanics. – Wroclaw, 2002. – Vol. 4. – S1. – С. 719.
 61. Svetlova O.V., Kotliar K.E., Smolnikov B.A. Contemporary biomechanical conceptions about zonula and choroidea functioning // Abstr. of papers presented at the XIII ICER. – Paris, 1998. – С. 43.
 62. Toris C.B., Gregerson D.S., Pederson J.E. Uveoscleral outflow using different-sized fluorescent tracers in normal and inflamed eyes // Exp. Eye Res. – 1987. – Vol. 45. – №4. – С. 525–532.
 63. Tscherning M. Optique physiologique, dioptrique oculaire, fonctions de la retine, les mouvements oculaires et la vision binoculaire, lecons professes a la Sorbonne par le Dr Tscherning. – Paris, 1898.

E-mail для связи с авторами: petercomink@bk.ru