

РОЛЬ АБЕРРАЦИЙ ВЫСШИХ ПОРЯДКОВ В ПАТОГЕНЕЗЕ АМБЛИОПИИ

Муханов Ш. А.,

СП ООО "SIHAT KO'Z", г.Ташкент, Узбекистан.

✓ Резюме

В офтальмологии на протяжении всей истории наблюдений важную роль играет патофизиологическое состояние, характеризующееся снижением центрального зрения, часто с нарушением бинокулярного зрения, которое трактуется как амблиопия. До настоящего момента, несмотря на множество предложенных схем, патогенез данного заболевания до конца не изучен. Данный обзор посвящается изучению данных литературы, касающихся aberrаций высших порядков (ABP), ее роли в развитии амблиопии и ее клинических особенностей, выявления новых аспектов этиологии и патогенеза. В статье приведены данные литературы по изучению ABP, приводящей к развитию амблиопии. Дальнейшее изучение этиопатогенеза рефракционной и дисбинокулярной амблиопии, а также сопутствующих ей сенсорных, морфологических и функциональных изменений является важной медикосоциальной задачей.

Ключевые слова: развитие амблиопии, бинокулярное зрение, дисбинокулярная амблиопия.

ROLE OF HIGHER-ORDER ABERRATIONS IN THE PATHOGENESIS OF AMBLYOPIA

Mukhanov Shavkat Abduvaliyevich,

JV LLC "SIHAT KO'Z", Tashkent, Uzbekistan.

✓ Resume

In ophthalmology, throughout the history of observations, an important role is played by a pathophysiological condition characterized by a decrease in central vision, often with impaired binocular vision, which is interpreted as amblyopia. Until now, despite the many proposed schemes, the pathogenesis of this disease has not been fully understood. This review is devoted to the study of literature data concerning higher-order aberrations (HOA), its role in the development of amblyopia and its clinical features, and the identification of new aspects of etiology and pathogenesis. The article presents literature data on the study of HOA, leading to the development of amblyopia. Further study of the etiopathogenesis of refractive and dysbinocular amblyopia, as well as the accompanying sensory, morphological and functional changes, is an important medical and social task.

Key words: the development of amblyopia, binocular vision, dysbinocular amblyopia.

ЮҚОРИ ТАРТИБЛИ АБЕРРАЦИЯЛАРНИНГ АМБЛИОПИЯ ПАТОГЕНЕЗИДАГИ РОЛИ

Муханов Ш. А.,

"SIHAT KO'Z" МЧЖ ҚҚ, Тошкент ш., Ўзбекистон.

✓ Резюме

Офтальмология соҳасида кўп йиллар давомида марказий кўришнинг пасайиши ва бинокуляр кўришнинг бузилиши билан характерланадиган патофизиологик ҳолат катта аҳамият касб этиб келади ва бу ҳолатга кўпинча амблиопия сабаб бўлади. Бугунги кунга қадар, кўлаб таклиф этилган схемаларга қарамасдан, ушбу касалликнинг патогенези ҳанузгача тўлиқ ўрганилмаган. Ушбу абадий шарҳи юқори тартибли aberrациялар (ЮТА)нинг амблиопия ривожланишидаги роли, унинг клиник хусусиятлари, этиологияси ва патогенезининг янги жиҳатларини аниқлашга оид адабиёт маълумотларини ўрганишга бағишланган. Мақолада амблиопиянинг ривожланишига олиб келадиган ЮТАларни таъсирини ўрганган илмий адабиётлардан маълумотлар келтирилган. Рефракцион ва дисбинокуляр амблиопиянинг этиопатогенезини, шунингдек, сезувчи, морфологик ва функционал ўзгаришларни ўрганиш муҳим тиббий-ижтимоий вазифа ҳисобланади.

Калит сўзлар: амблиопия ривожланиши, бинокуляр кўриш, дисбинокуляр амблиопия.

Долзарблиги

Амблиопия определяется как одностороннее или двустороннее снижение остроты зрения при отсутствии глазной патологии. Нарушение качества изображения на сетчатке в молодости из-за нескорректированной рефракционной патологии, депривации формы (например, катаракта, птоз) или бинокулярного торможения из-за косоглазия тормозит нормальное развитие зрительного пути. Это приводит к ряду нарушений зрения в дополнение к снижению остроты зрения в амблиопическом глазу, включая снижение аккомодации, контрастную чувствительность и восприятия глубины [7, 13, 42].

Амблиопия может быть вызвана любым состоянием, которое влияет на нормальное зрительное развитие или использование глаз. Во время развития зрения в детстве существует тесная связь между возникновением амблиопии и ненормальным визуальным опытом. Наиболее распространенные визуальные ощущения - помутнение зрения из-за рефракционной патологии. В настоящее время скрининг на рефракционную патологию в амблиопических глазах все еще остается на уровне мидриатической рефракции, которая не очень эффективна и не может полностью отражать рефракционный статус амблиопических глаз [8]. Аберрометр волнового фронта - это относительно новый диагностический инструмент, который используется во всем мире для точного измерения оптических характеристик человеческих глаз и для исследования рефракцион-

ных ошибок в амблиопических глазах. Изучение характеристик aberrаций волнового фронта у пациентов с амблиопией очень важно для выяснения механистической роли aberrации в развитии амблиопии. Понимание молекулярного патогенеза и механистической эволюции амблиопии может способствовать развитию терапевтических вмешательств [29, 37].

Рефракционная амблиопия и АВП. В традиционной оптометрии рефракционная патология и aberrации являются двумя независимыми понятиями, но современная теория волнового фронта объединяет все оптические аномалии и определяет их как aberrацию волнового фронта. Aberrации волнового фронта варьируются от рефракционной дефокусировки (близорукость и дальнозоркость) до высших порядков (от 3 до 6-го порядка) aberrации, которые невозможно исправить с помощью очков или контактных линз [36]. Aberrация волнового фронта может быть использована для описания глобальных характеристик человеческих глаз. Точно сфокусированные изображения требуются в течение всего периода визуального развития; существует зависимость доза-ответ между снижением качества изображений на сетчатке и тяжестью амблиопии, которая также связана с возрастом. Aberrация волнового фронта является важным показателем качества изображений сетчатки. Примерно 90% качества изображений сетчатки зависит от aberrаций низшего порядка, такие как дефокусировка (близорукость и дальнозоркость) и астигматизм. Оставшиеся 10% качества изображений - совокупность эффектов aberrаций высшего порядка, таких как кома, сферическая aberrация и трилистник [10].

В своем отчете Kwan и соавт., пишут, что у нормальных субъектов кома и сферическая aberrация являются наиболее распространенными элементами среди АВП [24]. Исследования aberrаций со стороны Wei и др. показали, что aberrации 3-го порядка были основными aberrациями и что вертикальная кома (Z3-1) составляла наибольший процент aberrаций 3-го порядка у исследованной в Китае популяции [41]. Applegate и соавт. утверждают, что aberrация была выше вблизи центральной линии полиномов Цернике, и, таким образом, пришел к выводу, что расфокусировка легче ухудшала зрение при aberrациях низкого порядка и что кома оказала большее влияние на зрение среди АВП [4]. Это означает, что кома (особенно вертикальная кома) может в некоторой степени влиять на развитие зрения у детей с амблиопией.

Для понимания механистической роли АВП в патогенезе амблиопии, Zhao Peng-fei и соавт., в своих исследованиях сравнивали параметры АВП среди исследуемых групп: эметропическая группа, амблиопическая группа, скорректированная амблиопическая группа и рефрактерная амблиопическая группа [44]. Авторы обнаружили, что вертикальная кома в амблиопической группе была выше, чем в рефрактерной амблиопической группе, и различие было статистически значимым, однако при вертикальной коме между скорректированной амблиопической группой и эметропической группой не было обнаружено существенного различия. Из этого можно сделать вывод о наличии связи между вертикальной комой и амблиопией. Кроме того, не только вертикальная кома в рефрактерной амблиопической группе была выше, чем в эметропической группе, aberrация 5-го порядка была также значительно выше, чем у эметро-

пов. Согласно предложенной Applegate и соавт., теория, aberrация 5-го порядка оказала небольшое влияние на зрение, но другие исследования показали, что эффект коррекции зрения был лучше при коррекции aberrации Цернике 6-го уровня. Это указывает на то, что патогенез рефрактерной амблиопии не только связан с вертикальной комой, но также может включать aberrации 5-го порядка [4].

Патогенез амблиопии является многофакторным. В некоторых исследованиях были проанализированы такие факторы, как возраст, вызванные амблиопией сферическая, цилиндрическая aberrации и АВП с использованием многомерной модели линейной регрессии. Не было обнаружено существенной связи между амблиопией с возрастом и степенью рефракционной патологии, но с АВП были выявлены существенные различия [44]. В рефрактерной амблиопической группе лучшее скорректированное зрение имело отрицательную корреляцию как с Z6-4, так и с Z3-1, так как наилучшее скорректированное зрение уменьшалось по мере увеличения как Z6-4, так и Z3-1. В амблиопической группе коэффициенты Цернике Z64 и Z3-1 увеличивались по мере того, как уменьшалось наилучшее зрение. И эметропы, и скорректированная амблиопическая группа имели отрицательную корреляцию с коэффициентом Цернике Z64.

Таким образом, можно постулировать, что вертикальная кома (Z3-1) может быть связана с патогенезом амблиопии, а Z64 не является ключевым элементом. С другой стороны, некоторых страдающих амблиопией пациентов можно вылечить традиционными способами лечения, а других - нет, и у них может развиться рефрактерная амблиопия. Это может быть связано с дифференциальным распределением вертикальной комы и Z64. То есть глаза под влиянием Z64 излечимы, в то время как глаза под влиянием вертикальной комы трудно поддаются лечению и склонны к рефрактерной амблиопии. Результаты вариационного анализа ANOVA были единообразны во всех четырех группах, что также подтверждает роль вертикальной комы в патогенезе и развитии амблиопии. Отсюда следует, что, хотя основными факторами качества изображений сетчатки были aberrации более низкого порядка, такие как расфокусировка (близорукость и дальнозоркость) и астигматизм, при изучении патогенеза амблиопии не следует пренебрегать АВП [7].

Первой целью лечения амблиопии является коррекция очевидной рефракционной патологии и оптимизация четкости изображений на сетчатке. Хотя традиционные очки и контактные линзы могут исправлять aberrации низкого порядка, такие как дефокусировка и астигматизм, они не могут исправлять АВП. Четкость изображения на сетчатке является обязательным условием для любого метода лечения амблиопии, и любая aberrация может привести к размыванию изображения на сетчатке. Следовательно, это усложняет лечение амблиопии и может привести к рефрактерной амблиопии. Рефрактерная амблиопия определяется как любая амблиопия, которую нельзя исправить ($V > 0,9$) после строгого лечения и тренировки зрения; это обычно происходит у детей в возрасте до 9 лет. Согласно результатам исследования, по сравнению с амблиопической группой наблюдается тенденция к снижению общей aberrации в рефрактерной амблиопической группе [13, 18]. Все полу-

ченные результаты показали, что, несмотря на значительное улучшения зрения после коррекции аберраций низшего порядка подходящими очками, изображения на сетчатке все еще были размытыми, и нескорректированными оставались вертикальная кома и аберрации 5-го порядка. Поскольку четкие изображения на сетчатке являются необходимым условием для эффективного лечения амблиопии, строгое прикрытие и тренировка зрения оказываются недостаточными, когда эти АВП не корректируются и приводят к развитию рефрактерной амблиопии у некоторых пациентов [3, 6].

Хотя традиционные очки и контактные линзы не могут исправить АВП, лазерная коррекция *in situ* с применением волнового фронта (персонализированный LASIK) может исправить это [22]. Zhang и соавт. сравнили результаты использования методов персонализированный LASIK и LASIK и обнаружили, что послеоперационное зрение было явно лучше в прооперированных персонализированным LASIK глазах, и было особенно подходящим для пациентов с АВП или астигматизмом [9, 43]. Обычно предполагается, что LASIK должен выполняться только у взрослых пациентов. Тем не менее, проведенная оценка нескольких исследований по LASIK у детей с анизометропией показала его безопасность и эффективность и что показатели предсказуемости и стабильности были лучше [18, 25].

Гиперметропическая анизометропия является наиболее распространенной причиной рефракционной амблиопии, а межочулярная разность всего в один диоптрий может привести к амблиопии в гиперметропическом глазу, где преобладает больше гиперметропическая рефракция [1]. Амблиопия, возникающая в результате миопической анизометропии встречается реже, так как близорукий глаз все еще может иметь четкое зрение на близких рабочих расстояниях.

АВП могут влиять на развитие рефракции, ухудшая качество изображения на сетчатке или изменяя фокальную плоскость изображения. Многочисленными исследованиями изучена связь между аберрациями и величиной или типом рефракционной патологии, в результате которых получены противоречивые выводы [11, 12, 21, 24, 26]. В нескольких исследованиях изучалась оптика амблиопических глаз, при этом результаты проведенного ранее исследования показали, что потеря зрения при амблиопии в основном имеет нейронную причину и не зависит от АВП [5]. Тем не менее, в недавнем отчете о клиническом случае [32] было высказано предположение, что межочулярные разности в АВП могут объяснить снижение остроты зрения, наблюдаемое в случаях идиопатической амблиопии (снижение остроты зрения в отсутствие какой-либо идентифицируемой причины или амблиогенного фактора), рефракционного понятия, которое называется "аберропия" [2]. Другие исследования по изучению АВП у амблиопов, как правило, показали одинаковые уровни роговичных [30] и общих аберраций [23] между парными глазами, что согласуется с данными исследований, где приводятся данные о высокой степени межглазной симметрии в аберрации в неамблиопических популяциях [14, 27, 31, 37, 38]. Однако, из предыдущих исследований амблиопии, только в самом последнем исследовании [33] исправлен энантиоморфизм (симметрия средней линии) при сравнении профиля АВП между парными

глазами. Кроме того, недавние исследования аберраций у животных [15] и детей [44] позволяют предположить, что такие АВП, как трилистник (трефойл) и кома, могут быть связаны с миопией, связанной с миопией депривацией формы, и снижением остроты зрения при амблиопии.

Меньшие межочулярные разности как в коме роговицы, так и в общей сферической аберрации, как правило, соответствовали низкой степени анизометропии SEq (приблизительно 0-1D). Чем больше величина анизометропии, независимо от признака (то есть был ли амблиопический глаз более близоруким или более гиперметропичным по сравнению с парным глазом), тем больше была межочулярная разность в коме роговицы и общей сферической аберрации. Это говорит о том, что межочулярные разности, наблюдаемые при коме роговицы и общей сферической аберрации, могут быть связаны с размером глаза (патология рефракции), а не с величиной или типом амблиопии. Предыдущие исследования показали, что в гиперметропических глазах наблюдаются более высокие уровни латеральной комы роговицы из-за большего горизонтального смещения центра зрачка по сравнению с миопами и эметропами [5].

Дисбинокулярная амблиопия АВП. В некоторых исследованиях сообщалось о высокой степени межочулярной симметрии аберраций роговицы в изометропных популяциях [27, 39, 40], а также в неамблиопических анизометропах [37]. Некоторые авторы наблюдали большее количество астигматизма в амблиопическом глазу [30]. Исследование волновых фронтов роговицы у пациентов с косоглазием выявило значительно более высокий уровень трилистника (трефойла) в амблиопическом глазу по сравнению с парным глазом. У рефракционных амблиопов не выражались такие же межочулярные разности третьего порядка, но демонстрировали значительные межочулярные разности четвертого порядка C (4,2) вторичного астигматизма по 900, вторичного астигматизма C (4, -2) по 450 и C (4,0) сферической аберрации. Эти данные показывают, что межглазная асимметрия при аберрациях роговицы монокулярных амблиопов может различаться в зависимости от причины амблиопии, что может указывать на некоторую форму обратной связи между визуальным опытом амблиопического глаза и оптикой роговицы.

Часть исследований показали, что внутренняя оптика (в первую очередь хрусталик) частично компенсирует аберрации роговицы [5]. В то время как в гиперметропических глазах обычно демонстрируются более высокий уровень роговичной и линзовидной латеральной комы из-за большего горизонтального смещения центра зрачка, величина трилистника аналогична (или немного меньше) у гиперметропов по сравнению с миопами с точки зрения роговичных, линзовидных и общих глазных аберраций [5].

Ранее сообщалось, что экстраокулярное напряжение мышц может влиять на рефракционный астигматизм [8]. Чтобы исследовать потенциальную роль экстраокулярного напряжения мышц, вызывающего изменения в топографии роговицы и больших количествах комы или трилистника в амблиопическом глазу косоглазых субъектов, Stephen J. et al., исследовали взаимосвязь между величиной косоглазия горизонтального отклонения (измеренного с помощью теста с призмой) и количеством первичной горизонтальной

комы роговицы или трилистника. Корреляции были слабыми и не были статистически значимыми (оба $p > 0,05$). Однако 6 из 11 страдающих косоглазием пациентов перенесли операцию на коррекцию косоглазия, так что это повлияет на величину горизонтального отклонения и, следовательно, корреляцию между факторами. Кроме того, мы не наблюдали значительных различий в величине аберраций третьего или четвертого порядков в амблиопических глазах, перенесших операцию по коррекции косоглазия пациентов с косоглазием, и тех, кому не была проведена такая операция ($p > 0,05$, непарный t-критерий Стьюдента). Таким образом, поскольку межочулярные разности в аберрациях роговицы, которые мы наблюдали у косоглазых субъектов, по-видимому, не связаны с эксцентрической фиксацией, экстраокулярным напряжением/операцией внеглазных мышц или горизонтальным смещением зрачка, они потенциально могут быть связаны с измененным развитием роговицы во время или после измененного зрительного опыта. Предыдущее исследование аберраций у детей сообщало о более высоком уровне общего среднеквадратичного значения трилистника в амблиопическом глазу как у косоглазых, так и у рефракционных амблиопов; тем не менее, межочулярная разность не достигла статистической значимости [23]. В исследовании Bagheri J. et al., косоглазой когорте, как для роговицы, так и для суммарных аберраций, полученный средний коэффициент Цернике С (3,3) (трилистник) был положительным в амблиопическом глазу и отрицательным в парном глазу, предполагая, что признак аберрации может быть фактором, связанным с асимметричным ростом глаз или амблиопии. Дополнительное сравнение АВП в не амблиопической когорте гиперметропов и эметропов может помочь определить факт возникновения межглазной асимметрии в таких аберрациях, как трилистник, из-за изменения зрительного восприятия или то, что она является артефактом глазных размеров гиперметропического глаза (например, большое горизонтальное смещение центра зрачка) [8].

Исследования посвященные изменениям глазной биометрии амблиопических глаз во время аккомодации в доступной нам литературе были не многочисленными. CassandTromans сравнили биометрические данные, полученные без использования хрусталика, между другими глазами амблиопических детей с помощью ультразвука во время циклоплегии [13]. Толщина хрусталика амблиопических и неамблиопических глаз была одинаковой, но составляла значительно большую долю осевой длины в амблиопическом глазу. Рассчитанная сила хрусталика была также значительно выше в амблиопическом глазу как при рефракционной (анизометропной), так и при косоглазой (изометрической) амблиопии. Авторы предположили, что ненормальный визуальный опыт может влиять на нормальное истончение хрусталика во время развития глаза.

Несколько исследований показали, что АВП могут влиять на аккомодационный ответ. Индуцирование повышенных уровней положительной сферической аберрации и комы либо с помощью контактных линз [16, 28], либо с помощью адаптивной оптики [19, 20] расширяет глубину фокуса и, обычно приводит к большему отставанию аккомодационного ответа. Гамбра и соавт. отметили, что значительное сни-

жение АВП требуется для сокращения аккомодационного ответа у здоровых неамблиопических субъектов. Однако в амблиопических глазах возможно присутствие повышенных уровней аберраций в сочетании с другими факторами, такими как пониженная нервная чувствительность, может снизить аккомодационный ответ.

Сниженный аккомодационный ответ в амблиопических глазах был детально исследован ранее [17, 28] и, считается результатом аномального визуального опыта во время развития зрительного пути, который влияет на связанный с аккомодацией нервный ввод. Также считается, что сниженная чувствительность к расфокусированному изображению на сетчатке (что обычно способствует стимуляции аккомодации) приводит к снижению аккомодационного ответа. Асимметрия в аккомодационном ответе между другими глазами умеренно коррелировала с величиной анизометропии и значительно ассоциировалась с величиной амблиопии, о которой сообщалось ранее [34].

В небольшой подгруппы амблиопов, исследователи измерили общие аберрации амблиопического и парного глаза во время ближней фиксации. В целом, общие АВП существенно не изменились во время аккомодации, за исключением сферической аберрации, которая подверглась ожидаемому отрицательному сдвигу. Изменение АВП, в частности, сферической аберрации во время аккомодации, связано с изменением формы, размеров и положения хрусталика (т.е. увеличением толщины хрусталика и усилением передней и задней его поверхностей) [35].

Заключение

Таким образом, для лучшего понимания естественного хода изменений аберраций в популяциях амблиопии необходимо проводить дальнейшие продольные исследования, посвященные изучению изменений аберраций с течением времени в косоглазых, анизометропных и амблиопичных когортах, особенно в раннем детстве, которые помогут прояснить вопрос потенциального влияния АВП на развитие амблиопии. Также дальнейшее исследование эффективности операции основанные на нивелировании АВП позволит разработать новую область исследований амблиопии, особенно для рефракционной амблиопии у детей. С помощью этого исследования будет достигнуто широкое перспективное клиническое применение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Abrahamsson M., Sjostrand J. Astigmatic axis and amblyopia in childhood. *Acta Ophthalmol Scand.* 2003; 81: 33-37.
2. Agarwal A., Prakash G., Jacob S., Ashokkumar D. Can uncompensated higher order aberration profile, or aberropia be responsible for subnormal best corrected vision and pseudo-amblyopia. *Medical Hypotheses.* 2009; 72(5), 574-577.
3. Ali?JL., Pi?ero D., Muftuoglu O. Corneal wavefront-guided retreatments for significant night vision symp toms after myopic laser refractive surgery. *Am J Ophthalmol.* 2008; 145:65-74.
4. Applegate R.A., Sarver E.J., Khemsara V. Are all aberration equal? *J Refract Surg.* 2002; 18: S556-S562.
5. Artal P., Benito A., Tabernero J. The human eye is an example of robust optical design. *Journal of Vision.* 2006; 6(1), 1-7.
6. Awwad S.T., Bowman R.W., Cavanagh H.D., McCulley J.P. Wavefront-guided LASIK for myopia using the LADAR CustomCornea and the VISX CustomVue. *J Refract Surg.* 2007; 23: 26-38.
7. Aye L.Q. Study of wavefront aberration in amblyopia Chinese. *Ophthalmology* 2007; 16: 197-200.

8. Bagheri A., Farahi A., Guyton D. L. Astigmatism induced by simultaneous recession of both horizontal rectus muscles. *Journal of American Association for Pediatric Ophthalmology and Strabismus*. 2003; 7(1), 42-46.
9. Barreto J. Jr., Barboni M.T., Feitosa-Santana C., Sato J.R., Bechara S.J., Ventura D.F., et al. Intraocular straylight and contrast sensitivity after contralateral wavefront-guided LASIK and wavefront-guided PRK for myopia. *J Refract Surg*. 2009; 1-6.
10. Brunette I., Bueno J. M., Parent M., Hamam H., Simonet P. Monochromatic aberrations as a function of age, from childhood to advanced age. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. 2003; 44(12), 5438-5446.
11. Carkeet A., Luo H. D., Tong L., Saw S. M., Tan D. T. Refractive error and monochromatic aberrations in Singaporean children. *Vision Research*. 2002; 42(14), 1809-1824.
12. Carkeet A., Saw S. M., Gazzard G., Tang W., Tan D. T. Repeatability of IOLMaster biometry in children. *Optometry and Vision Science*. 2004; 81(11), 829-834.
13. Cass K., Tromans C. A biometric investigation of ocular components in amblyopia. *Ophthalmic and Physiological Optics*. 2008; 28(5), 429-440.
14. Castejon-Mochon J. F., Lopez-Gil N., Benito A., Artal P. Ocular wave-front aberration statistics in a normal young population. *Vision Research*. 2002; 42(13), 1611-1617.
15. Coletta, N. J., Marcos, S., & Troilo, D. Ocular wavefront aberrations in the common marmoset *Callithrix jacchus*: Effects of age and refractive error. *Vision Research*. 2010; 50(23), 2515-2529.
16. Collins M. J., Buehren T., Bece A., Voetz S. C. Corneal optics after reading, microscopy and computer work. *Acta Ophthalmologica Scandinavica*. 2006; 84(2), 216-224.
17. Collins M., Goode A., Atchison D. Accommodation and spherical aberration. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. 1997; 38, 1013.
18. Daoud Y.J., Hutchinson A., Wallace D.K., Song J., Kim T. Refractive surgery in children: treatment options, outcomes, and controversies. *Am J Ophthalmol*. 2009; 147: 573-582.
19. Gamba E., Sawides L., Dorronsoro C., Marcos, S. Accommodative lag and fluctuations when optical aberrations are manipulated. *Journal of Vision*. 2009; 9(6), 4, 1-15.
20. Gamba E., Wang Y., Yuan J., Kruger P. B., Marcos S. Dynamic accommodation with simulated targets blurred with high order aberrations. *Vision Research*. 2010; 50(19), 1922-1927.
21. He J. C., Sun P., Held R., Thorn F., Sun X., Gwiazda J. E. Wavefront aberrations in eyes of emmetropic and moderately myopic school children and young adults. *Vision Research*. 2002; 42(8), 1063-1070.
22. Keir N.J., Simpson T., Jones L.W., Fonn D. Wavefront-guided LASIK for myopia: effect on visual-acuity, contrast sensitivity, and higher order aberrations. *J Refract Surg*. 2009; 25: 524-533.
23. Kirwan C., O'Keefe M. Higher order aberrations in children with amblyopia. *Journal of Pediatric Ophthalmology and Strabismus*. 2008; 45(2), 92-96.
24. Kwan W.C., Yip S.P., Yap M.K. Monochromatic aberrations of the human eye and myopia. *Clinical and Experimental Optometry*. 2009; 92(3), 304-312.
25. Lin X.M., Yan X.H., Wang Z., Yang B., Chen Q.W., Su J.A., et al. Long-term efficacy of excimer laser in situ keratomileusis in the management of children with high anisometropic amblyopia. *Chin Med J*. 2009; 122: 813-817.
26. Llorente L., Barbero S., Cano D., Dorronsoro C., Marcos S. Myopic versus hyperopic eyes: Axial length, corneal shape and optical aberrations. *Journal of Vision*. 2004; 4(4), 288-298.
27. Lombardo M., Lombardo G., Serrao S. Interocular high-order corneal wavefront aberration symmetry. *Journal of the Optical Society of America A-Optics Image Science and Vision*. 2006; 23(4), 777-787.
28. Lopez-Gil N., Rucker F. J., Stark L. R., Badar M., Borgovan T., Burke S. et al. Effect of third-order aberrations on dynamic accommodation. *Vision Research*. 2007; 47(6), 755-765.
29. Lu J., Zhou Y.H., Zheng Y. Influence of wavefront aberration on contrast sensitivity in myopic eyes. *Rec Adv Ophthalmol*. 2007; 27: 682-684.
30. Plech A. R., Pinero D. P., Laria C., Aleson A., Alio J. L. Corneal higher-order aberrations in amblyopia. *European Journal of Ophthalmology*. 2010; 20(1), 12-20.
31. Porter J., Guirao A., Cox I. G., Williams D. R. Monochromatic aberrations of the human eye in a large population. *Journal of the Optical Society of America A-Optics Image Science and Vision*. 2001; 18(8), 1793-1803.
32. Prakash G., Sharma N., Chowdhary V., Titiyal J.S. Association between amblyopia and higher-order aberrations. *J Cataract Refract Surg*. 2007; 33: 901-904.
33. Prakash G., Sharma N., Saxena R., Choudhary V., Menon V., Titiyal, J. S. Comparison of higher order aberration profiles between normal and amblyopic eyes in children with idiopathic amblyopia. *Acta Ophthalmologica*. 2011; 89(3), e257-e262.
34. Quan W., Lin N., Wang Z. Z., Lu F. W. Effect of high-order aberrations in human eye on retinal imaging quality and vision. *Chin Opto-electron Engineering (Chin)* 2007; 34: 6-9.
35. Rosales P., Wendt M., Marcos S., Glasser A. Changes in crystalline lens radii of curvature and lens tilt and decentration during dynamic accommodation in rhesus monkeys. *Journal of Vision*. 2008; 8(1), 18, 11-12.
36. Smith E. L., III Ramamirtham R., Qiao-Grider Y., Hung L. F., Huang J., Kee C. S., et al. Effects of foveal ablation on emmetropization and form deprivation myopia. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. 2007; 48(9), 3914-3922.
37. Vincent S. J., Collins M. J., Read S. A., Carney L. G., Yap M. K. Interocular symmetry in myopic anisometropia. *Optometry and Vision Science*. 2011; 88(12), 1454-1462.
38. Wang L., Koch D. D. Ocular higher-order aberrations in individuals screened for refractive surgery. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. 2003; 29(10), 1896-1903.
39. Wang L., Dai E., Koch D. D., Nathoo A. Optical aberrations of the human anterior cornea. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. 2003; 29(8), 1514-1521.
40. Wang L., Santaella R. M., Booth M., Koch D. D. Higher-order aberrations from the internal optics of the eye. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. 2005; 31(8), 1512-1519.
41. Wei R.H., Lim L., Chan W.K., Tan D.T. Aberrations in eyes with myopia in a Chinese population. *J Refract Surg*. 2006; 22: 695-702.
42. Yu F.J., Song H.Y., Liu L.Q., Deng Y.P., Wang L. Analysis of ocular higher-order aberrations in refractive amblyopia. *J Sichuan University (Med Sci Edit) (Chin)*. 2009; 40: 311-333.
43. Zhang J., Zhou Y.H., Wang N.L. Comparison of visual performance between conventional LASIK and wavefront-guided LASIK with iris-registration. *Chin Med J*. 2008; 121: 137-142.
44. Zhao P. F., Zhou Y. H., Wang N. L., Zhang J. (). Study of the wavefront aberrations in children with amblyopia. *Chinese Medical Journal (Engl)*. 2010; 123(11), 1431-1435.

Келиб тушган вақти 09.09.2020