

## Изменение офтальмобиометрических параметров при миопии и гиперметропии под действием циклоплегии



Е.П. Тарутта



С.Г. Арутюнян\*



С.В. Милаш



А.Т. Ханджян



Н.В. Ходжабекян



О.В. Проскурина

ФГБУ «Московский НИИ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России  
ул. Садовая-Черногрозская, 14/19, Москва, 105062, Российская Федерация

### РЕЗЮМЕ

### Офтальмология. 2018;15(1):58–63

**Цель:** сравнение некоторых офтальмобиометрических параметров в естественных и циклоплегических условиях при миопии и гиперметропии. **Пациенты и методы.** Были оценены биометрические параметры глаза (глубина передней камеры, толщина хрусталика и длина ПЗО) до и после циклоплегии (1% Cyclopentolate hydrochloride дважды) на 244 глазах с миопической и гиперметропической рефракцией у 122 пациентов в возрасте 5–32 лет (в среднем  $17,8 \pm 1,2$ ). Биометрические параметры исследовали с помощью анализатора оптической системы глаза Galilei G6 (Ziemer Ophthalmic Systems AG 6.0.6). Толщину хориоидеи измеряли с использованием спектрального оптического когерентного томографа SD-OCT с длиной волны 800 нм (Nidek RS-3000 Retina Scan Advance) в 20 глазах 10 пациентов в возрасте  $11 \pm 1,3$  года из обследованной группы. **Результаты.** Глубина передней камеры и длина ПЗО как с узким зрачком, так и при циклоплегии в миопических глазах была достоверно выше, чем в гиперметропических ( $p < 0,05$  для ГПК,  $p < 0,01$  для ПЗО), а толщина хрусталика практически не отличалась. Расстояние от задней поверхности роговицы до центра хрусталика при миопии достоверно было больше, чем при гиперметропии, соответственно  $5,62 \pm 0,02$  и  $5,29 \pm 0,01$  мм ( $p < 0,01$ ). Однако коэффициент Lowe ( $\frac{\text{ГПК} + 1/2\text{ПХ}}{\text{ПЗО}}$ ) при миопии был достоверно ниже ( $0,219 \pm 0,001$  и  $0,238 \pm 0,001$  соответственно) за счет большей длины ПЗО. После циклоплегии как в миопических, так и в гиперметропических глазах ГПК увеличивался: при миопии — в среднем на 0,12 мм, при гиперметропии — на 0,14 мм, и соответственно уменьшалась толщина хрусталика. Коэффициент Lowe в обоих случаях увеличивался на 0,04 мм. Интересные изменения обнаружили относительно длины ПЗО: в условиях циклоплегии имеет место ее уменьшение на 30 мкм в глазах с миопией ( $p > 0,05$ ) и на 40 мкм — с гиперметропией ( $p < 0,01$ ). **Заключение.** В условиях циклоплегии по сравнению с действующей аккомодацией увеличивается глубина передней камеры, уменьшается толщина хрусталика, центр хрусталика несколько отодвигается назад и уменьшается длина ПЗО. Выявленные изменения длины ПЗО могут быть связаны с изменением положения слоя пигментного эпителия из-за изменений толщины хориоидеи при разных состояниях аккомодации. В данной работе не удалось выявить достоверных изменений толщины хориоидеи под действием циклоплегиков.

**Ключевые слова:** ПЗО, толщина хориоидеи, хрусталик, коэффициент Lowe, циклоплегия, гиперметропия, миопия

**Для цитирования:** Тарутта Е.П., Арутюнян С.Г., Милаш С.В., Ханджян А.Т., Ходжабекян Н.В. Изменение офтальмобиометрических параметров при миопии и гиперметропии под действием циклоплегии. *Офтальмология*. 2018;15(1):58–63. DOI: 10.18008/1816-5095-2018-1-58-63

**Прозрачность финансовой деятельности:** Никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах

**Конфликт интересов отсутствует**



# Change in the Ophthalmobiometric Parameters in Myopia and Hyperopia under the Influence of Cycloplegia

E.P. Tarutta, S.G. Harutyunyan\*, S.V. Milash, A.T. Khandzhyan, N.V. Khodzhabekeyan

Moscow Helmholtz Research Institute of Eye Diseases  
Sadovaya-Chernogryazskaya str., 14/19, Moscow, 105062, Russia

## ABSTRACT

**Ophthalmology in Russia. 2018;15(1):58–63**

**Purpose:** comparison of some ophthalmobiometric parameters in natural and cycloplegic conditions in myopia and hypermetropia. **Material and methods:** eyes biometric parameters were examined (the depth of the anterior chamber, the lens thickness and AL) before and after cycloplegia (1% Cyclopentolate hydrochloride — 2 times) in 244 eyes with myopic and hyperopic refraction in 122 patients aged 5–32 years. Biometric parameters were examined on the Galilei G6 optical system analyzer (Ziemer Ophthalmic Systems AG 6.0.6). The thickness of the choroid was measured with a spectral optical coherent tomograph (SD-OCT wavelength 800 nm) of Nidek RS-3000 Retina Scan Advance in 20 eyes of 10 patients aged  $11 \pm 1.3$  years from the examined group before and 40 minutes after double injection of 1% Cyclopentolate hydrochloride. **Results:** the depth of anterior chamber and the axial, both in the narrow pupil and under the cycloplegia, are significantly higher in the myopic eyes than in the hyperopic eyes ( $p < 0.05$  for ACD and  $p < 0.01$  for AL), and the lens thickness is practically does not differ. In absolute terms, the position of irido-lens diaphragm, i.e. distance from the posterior surface of the cornea to the center of the lens in myopia group was significantly higher than with hyperopia respectively, of  $5.62 \pm 0.02$  mm of  $5.29 \pm 0.01$  mm ( $p < 0.01$ ). However, the coefficient Lowe ( $(ACD + 1/2LT)/AL$ ) in myopia was significantly lower (of  $0.219 \pm 0.001$  and  $0.238 \pm 0.001$ , respectively) is due to the greater of the AL. After cycloplegia, in both myopic and hyperopic eyes, DAC increases: in myopia, on average, 0.12 mm, with hyperopia — by 0.14 mm, and accordingly the thickness of the lens decreases. The coefficient Lowe in both cases is increased by 0.04 mm. Interesting changes were observed in the length of AL: under conditions of cycloplegia, it decreased by 0.03 mm (30 microns) in eyes with myopia ( $p > 0.05$ ) and by 40 microns (0.04 mm) with hyperopia ( $p < 0.01$ ). **Conclusion:** In cycloplegic conditions, as compared to the existing accommodation, increasing the depth of the anterior chamber decreased the thickness of the lens center of the lens somewhat extended posteriorly and decreases the axial length. The revealed changes in the AL can be associated with a change in the position of the pigment epithelium layer due to changes in the thickness of the choroid under different accommodation conditions. The significant changes in the thickness of the choroid the influence of cycloplegia was not proved in this study.

**Keywords:** AL, thickness of the choroid, lens, coefficient Lowe, cycloplegia, hyperopia, myopia

**For citation:** Tarutta E.P., Harutyunyan S.G., Milash S.V., Khandzhyan A.T., Khodzhabekeyan N.V. Change in the Ophthalmobiometric Parameters in Myopia and Hyperopia under the Influence of Cycloplegia. *Ophthalmology in Russia*. 2018;15(1):58–63. DOI: 10.18008/1816-5095-2018-1-58-63

**Financial Disclosure:** No author has a financial or property interest in any material or method mentioned

**There is no conflict of interests**

## АКТУАЛЬНОСТЬ

В последние годы предметом активного изучения в офтальмологии является роль аккомодации, аберраций оптики глаза и их взаимодействия в постнатальном рефрактогенезе. Отставание аккомодации, то есть разницы между величиной аккомодационного стимула (в диоптриях) и аккомодационного ответа в сочетании со зрительной работой вблизи, является фактором риска возникновения и прогрессирования близорукости [1–4]. Следствием сниженной аккомодации могут быть длительные эпизоды ретинального дефокуса, которые приводят к усиленному росту глаза [5, 6].

Другим источником дефокуса, который может быть связан с развитием миопии, является качество оптики глаза, измеряемое аберрациями волнового фронта. Более высокий уровень аберраций, снижающих качество ретинального изображения, может играть роль в развитии миопии [7, 8].

Выявлена взаимосвязь аберраций и аккомодации: по ряду данных более высокий уровень суммарных

аберраций, изменение структуры волнового фронта могут снижать аккомодационный ответ и, наоборот, в процессе аккомодации существенно изменяются параметры аберраций [9–13].

Эти изменения, очевидно, связаны с изменением внутриглазных структур во время аккомодации. Согласно теории Гельмгольца, во время аккомодации существенно изменяются кривизна и толщина хрусталика и глубина передней камеры. Авторы недавней работы, соединив модернизированные ими UL-OCT и Shack-Hartmann аберрометр, провели одномоментное исследование изменений структур переднего сегмента глаза и волнового фронта во время аккомодации у пациентов 20–33 лет [14]. Было показано, что во время аккомодации глубина передней камеры, диаметр зрачка, радиус кривизны поверхностей хрусталика значительно уменьшаются, а толщина хрусталика и уровень аберраций высшего порядка (HO RMS) для 3-мм зрачка увеличиваются. При этом негативная корреляция была выявлена между изменениями радиусов кривизны хрусталика и аберраций высшего порядка (HO RMS).

Изменения волнового фронта выявляются и при циклоплегии по сравнению с не циклоплегическими условиями [15]. Помимо уже перечисленных биометрических изменений структур переднего сегмента глаза, высказывались предположения об участии нехрусталиковых механизмов в акте аккомодации. Это касается смещения сетчатки вследствие удлинения ПЗО под воздействием наружных мышц глаза или изменения толщины хориоидеи [16–20]. Работы последних лет с применением прецизионных методов ультразвуковой и оптической биометрии показали, что в акте аккомодации принимает участие хориоидея, реагирующая на дефокусировку изображения изменением толщины.

Так, аккомодация (2,5 дптр), особенно в позе с опущенной головой, сопровождается удлинением ПЗО (на 23 микрона по сравнению с 8 мкм при взгляде прямо и такой же аккомодацией) с небольшим достоверным уменьшением толщины хориоидеи (13 мкм) [21].

Хориоидея — источник регуляторов роста склеры, в ее состав входит ряд веществ, которые участвуют в ретиносклеральном химическом каскаде. Существует как минимум два механизма активного участия хориоидеи в эметропизации: хориоидальная аккомодация — изменение толщины хориоидеи с целью совмещения сетчатки с фокальной плоскостью и высвобождение факторов роста, способных регулировать синтез протеогликанов. Wallman J. и Wildsoet C. в эксперименте на животных получили данные о том, что можно изменять положение сетчатки, регулируя толщину хориоидеи, тем самым изменять фокус глаза. По данным этих авторов при аккомодации и наведении гиперметропического дефокуса толщина хориоидеи уменьшается, что сопровождается усилением склерального роста. При дефокусе миопического типа наблюдалось утолщение хориоидеи с соответствующим замедлением склерального роста [22].

Таким образом, теории, объясняющие процесс аккомодации и участие хориоидеи в аккомодации разнообразны и часто противоречивы.

Цель: сравнение некоторых офтальмобиометрических параметров в естественных и циклоплегических условиях при миопии и гиперметропии.

## ПАЦИЕНТЫ И МЕТОДЫ

Были проанализированы биометрические параметры глаза (глубина передней камеры, толщина хрусталика и длина ПЗО) до и после циклоплегии (1% Cyclopentolate hydrochloride, дважды) у 122 пациентов (244 глаза) в возрасте 5–32 лет (в среднем  $17,8 \pm 1,2$  года) с миопической ( $-5,2 \pm 1,5$  дптр; 152 глаза) и гиперметропической ( $+3,5 \pm 1,2$  дптр; 92 глаза) рефракцией. Все пациенты проходили обследование с помощью анализатора оптической системы глаза Galilei G6 (Ziemer Ophthalmic Systems AG 6.0.6), позволяющей получать данные топографии роговицы, проводить трехмерный анализ переднего отрезка и оптическую биометрию (частично — когерентную интерферометрию). Для суждения о положении хрусталиковой диафрагмы высчитывали показатель ГПК +  $\frac{1}{2}$ ТХ (глубина передней камеры + половина толщины хрусталика), а также коэффициент Lowe: , отражающий положение центра хрусталика относительно переднего полюса глаза [23, 24]. После обработки полученных данных провели статистический анализ. Уровень достоверности определяли по стандартному критерию Стьюдента. Толщину хориоидеи измеряли с помощью спектрального оптического когерентного томографа SD-OCT с длиной волны 800 нм (Nidek RS-3000 Retina Scan Advance) в 20 глазах 10 пациентов в возрасте  $11 \pm 1,3$  года из обследованной группы до и через 40 минут после двукратной инстилляцией 1% Cyclopentolate hydrochloride. Для увеличения качества детализации хориоидеи все исследования проводили с использованием функции Macula Line 120 сканов в режиме Choroidal и Ultra Fine. Толщину хориоидеи определяли мануально в субфовеолярной зоне как вертикальное расстояние от гиперрефлективной линии мембраны Бруха (определяется автоматически) до гиперрефлективной линии внутренней поверхности склеры.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты исследования офтальмобиометрических параметров до и после циклоплегии представлены в табл. 1.

**Таблица 1.** Биометрические параметры до и после циклоплегии

**Table 1.** Biometric parameters of the eyes before and after cycloplegia

Группы Groups	Число глаз n	Дптр D	Глубина передней камеры узкий, мм Depth of anterior chamber before cycl., mm	Глубина передней камеры широкий, мм Depth of anterior chamber after cycl., mm	Толщина хрусталика узкий, мм Lens thickness before cycl., mm	Толщина хруст. широкий мм Lens thickness after cycl., mm	ПЗО узкий, мм AL before cycl., mm	ПЗО широкий, мм AL after cycl., mm
Миопия Myopia	152	$-5,2 \pm 1,5$	$3,83 \pm 0,01^{*}$	$3,95 \pm 0,01^{*}$	$3,58 \pm 0,02'$	$3,51 \pm 0,02'$	$25,65 \pm 0,1^{*}$	$25,62 \pm 0,1^{*}$
Гиперметропия Hyperopia	92	$+3,5 \pm 1,2$	$3,49 \pm 0,02^{*}$	$3,63 \pm 0,02^{*}$	$3,6 \pm 0,03'$	$3,5 \pm 0,03'$	$22,25 \pm 0,1^{*}$	$22,21 \pm 0,1^{*}$

Примечание. ' —  $p < 0,05$  между узкими и широкими зрачками, \* —  $p < 0,05$  между группами миопии и гиперметропии.

Note. ' —  $p < 0,05$  between before and after cycl., \* —  $p < 0,05$  between groups of myopia and hyperopia.

Как показано в табл. 1, глубина передней камеры и длина ПЗО как с узким зрачком, так и при циклоплегии в миопических глазах достоверно выше, чем в гиперметропических ( $p < 0,05$  для ГПК и  $p < 0,01$  для ПЗО), а толщина хрусталика практически не отличается. Такая же закономерность имеет место при оценке положения иридо-хрусталиковой диафрагмы (ГПК +  $\frac{1}{2}$ ТХ): при миопии этот показатель составил ( $3,83 \pm 3,58/2$ ) 5,62 мм, при гиперметропии — 5,29 мм ( $3,49 \pm 3,6/2$ ) ( $p < 0,01$ ). Достоверно больше при миопии глубина стекловидного тела (ГСТ — расстояние от задней поверхности хрусталика до заднего полюса глаза): в первом случае ГСТ равнялась 18,21 мм, во втором — 15,12 мм. При этом коэффициент Lowe, свидетельствующий о положении центра хрусталика относительно переднего полюса глаза, при миопии был достоверно ниже, чем при гиперметропии ( $0,219 \pm 0,001$  и  $0,238 \pm 0,001$ , соответственно,  $p < 0,01$ ). В.А. Мачехин [23] при обследовании большой группы взрослых пациентов с помощью ультразвуковой эхобиометрии обнаружил «не всегда достоверную» разницу в толщине хрусталика у миопов и гиперметропов и соответствующую достоверную разницу ГПК. При этом автор установил уменьшение глубины передней камеры и увеличение толщины хрусталика с возрастом при отсутствии изменений коэффициента Lowe, то есть положения иридо-хрусталиковой диафрагмы, что автор объяснял равномерным увеличением массы хрусталика, не приводящим к смещению иридо-хрусталиковой диафрагмы.

В нашем исследовании выявлена достоверно большая глубина передней камеры в глазах с миопией (на 0,34 мм в естественных условиях) и лишь незначительная, на 0,02 мм, — тенденция к уплощению хрусталика. При этом положение центра хрусталика в глазах с миопией достоверно дальше от задней поверхности роговицы, чем в глазах с гиперметропией, хотя при делении этого показателя на длину ПЗО (коэффициент Lowe) результаты получаются противоположными из-за значительно большей длины ПЗО в глазах с миопией. По нашему мнению, полученные результаты свидетельствуют о продвижении иридо-хрусталиковой диафрагмы и центра хрусталика в сторону заднего полюса на начальных стадиях развития приобретенной миопии. Подобные изменения способствуют приближению фокусной точки к удаляющемуся, вследствие роста ПЗО, заднему полюсу глаза, что может рассматриваться как некий компенсаторный механизм, ослабляющий рефракцию. В основе другого подобного механизма лежит уплощение хрусталика, отмеченное в ряде работ у детей в начале развития приобретенной миопии [25], но оказавшееся статистически недостоверным в нашем исследовании.

После циклоплегии и в миопических, и в гиперметропических глазах увеличивается ГПК: при миопии — в среднем на 0,12 мм, при гиперметропии — на 0,14 мм ( $p < 0,05$ ). Толщина хрусталика закономерно уменьшается: при миопии — на 0,07 мм, при гиперметропии —

на 0,1 мм ( $p < 0,05$ ). Коэффициент Lowe в условиях циклоплегии по сравнению с исходным состоянием увеличивается и при миопии, и при гиперметропии на 0,04 мм ( $p < 0,05$ ), что свидетельствует о некотором отклонении кзади иридо-хрусталиковой диафрагмы. При этом ГСТ практически не изменяется, а именно при миопии достоверно уменьшается на 0,02 мм, при гиперметропии остается без изменений.

Интересная динамика обнаруживается в отношении длины ПЗО: в условиях циклоплегии она уменьшается на 0,03 мм в глазах с миопией и на 0,04 мм — с гиперметропией. В последнем случае данные оказались высокостатистически достоверными ( $p < 0,01$ ).

**Таблица 2.** Толщина хориоидеи до и после циклоплегии

**Table 2.** Choroid thickness before and after cycloplegia

№ п/п	Толщина хориоидеи, мкм Choroid thickness, $\mu\text{m}$	
	до циклоплегии before cycl.	после циклоплегии after cycl.
1	268	274
2	275	271
3	289	277
4	277	257
5	295	312
6	290	285
7	204	187
8	224	225
9	243	224
10	183	184
11	289	268
12	323	301
13	220	150
14	200	175
15	281	266
16	359	339
17	192	208
18	217	220
19	291	286
20	287	274
$M \pm m$	$260,4 \pm 10,6$	$249,1 \pm 11,2$

Таким образом, в условиях циклоплегии по сравнению с действующей аккомодацией как при миопии, так и при гиперметропии увеличивается глубина передней камеры, уменьшается толщина хрусталика, иридо-хрусталиковая диафрагма несколько отодвигается кзади, а длина ПЗО уменьшается. Учитывая характер оптической биометрии, при которой измеряется длина глаза от вершины роговицы до пигментного эпителия, выявленные изменения длины ПЗО могут свидетельствовать о некотором продвижении слоя ПЭ кпереди в условиях циклоплегии и кзади — при аккомодации, что может быть связано

с изменением толщины хориоидеи — ее уменьшением в условиях действующей аккомодации. Это ведет к удлинению ПЗО и способствует совмещению фокуса с плоскостью сетчатки при работе вблизи, и увеличению — при параличе аккомодации, что сопровождается некоторым уменьшением длины оси глаза. Для проверки этого предположения нами было предпринято измерение толщины хориоидеи до и после циклоплегии у 10 из обследованных пациентов (20 глаз). Как видно из табл. 2, после циклоплегии имела место недостоверная тенденция к уменьшению толщины хориоидеи на 11 мкм, что идет вразрез с выявленным укорочением ПЗО на 30 микрон и не позволяет объяснить последнее. Как показано в табл. 2, только в 6 из 20 глаз отмечалось увеличение ТХ в условиях циклоплегии (на 1–16 мкм, в среднем на 8 мкм,  $p > 0,05$ ), в остальных 14 случаях было снижение ТХ на 4–70 мкм (в среднем на 19 мкм,  $p > 0,05$ ).

Таким образом, проведенное исследование не выявило достоверных изменений толщины хориоидеи под действием циклоплегических средств. Обнаруженная тенденция к повышению (а не снижению!) ТХ в не циклоплегических условиях не позволяет в данном исследовании подтвердить участие хориоидеи в акте аккомодации. С другой стороны, авторы аналогичных исследований, проведенных с использованием такого же оборудования (enhanced depth imaging optical coherence tomography, EDIOCT), рассматривали изменение хориоидеи после закапывания мидриатиков как результат непосредственного действия на нее фармацевтических агентов, в частности антимускаринового вещества циклопентолата. При этом в одной из работ установлено

достоверное утолщение хориоидеи под действием циклопентолата в отличие от других мидриатиков (Тропиамида), не оказавших на нее достоверного воздействия [26]. Авторы другой работы, наоборот, обнаружили достоверное уменьшение толщины хориоидеи под действием всех мидриатиков, включая Циклопентолат, и делают особый акцент на отсутствие корреляции этих изменений с характерными для мидриаза изменениями параметров передней камеры — увеличением ее глубины, объема и уплощением хрусталика [28]. Безусловно, вопрос о влиянии антимускариновых агентов на толщину хориоидеи и участие последней в акте аккомодации требует дальнейшего изучения.

По данным оптической биометрии с помощью анализатора Galilei G6, в условиях циклоплегии по сравнению с действующей аккомодацией увеличивается глубина передней камеры, уменьшается толщина хрусталика, иридо-хрусталиковая диафрагма несколько отодвигается назад и уменьшается длина ПЗО.

Выявленные изменения длины ПЗО могут быть связаны с изменением положения слоя пигментного эпителия вследствие изменений толщины хориоидеи при разных состояниях аккомодации.

В данной работе не удалось выявить достоверных изменений толщины хориоидеи под действием циклоплегиков.

#### УЧАСТИЕ АВТОРОВ:

Тарутта Е.П., Арутюнян С.Г. — концепция и дизайн исследования;  
Арутюнян С.Г., Ходжабекян Н.В. — сбор и обработка материала;  
Арутюнян С.Г., Милаш С.В. — статистическая обработка данных;  
Тарутта Е.П., Арутюнян С.Г. — написание текста;  
Тарутта Е.П., Ханджян А.Т. — редактирование.

#### ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Gwiazda J, Thorn F, Bauer J, Held R. Myopic children show insufficient accommodative response to blur. *Investigative Ophthalmology and Vision Science*. 1993;34:690–694.
- McBrien N, Millodot M. The effect of refractive error on the accommodation response gradient. *Ophthalmic and Physiological Optics*. 1996;6:145–149.
- Rosenfield M, Gilmartin B. (1988). Disparity-induced accommodation in late-onset myopia. *Ophthalmic and Physiological Optics*. 1998;8:353–355.
- He Ji C., Gwiazda J., Thorn F., Held R. The association of wave front aberration and accommodative lag in myopes. *Vis. Research*. 2005;45:285–290.
- Norton T. Animal models of myopia: Learning how vision controls the size of the eye. *ILAR Journal*. 1999;40:59–79.
- Wildsoet C. Active emmetropization: evidence for its existence and ramifications for clinical practice. *Ophthalmic and Physiological Optics*. 1997;17: 279–290.
- He Ji C., Sun P., Held R., Thorn F. Wavefront aberrations in eyes of emmetropic and moderately myopic school children and young adults. *Vis. Research*. 2002; 42:1063–1070.
- Paquin M. P., Hamam H., Simonet P. Objective measurement of optical aberrations in myopic eyes. *Optometry and Vision Science*. 2002;79:285–291.
- Gabriel C., Klaproth OK., Titke C., Baumeister M. Repeatability of topographic and aberometric measurements at different accommodative states using a combined topographer and open-view aberrometer. *J. Cataract Refract. Surg*. 2015Apr; 41(4):806–11. DOI: 10.1016/j.jcrs.2014.07.037
- Zhou X.-Y., Wang L., Zhou X.-T. and Yu Z.-Q. Wavefront aberration changes caused by a gradient of increasing accommodation stimuli. *Eye (Lond)*. 2015 Jan; 29(1):115–121. DOI: 10.1038/eye.2014.244
- Chin S.S., Hampson K.M., Mallen E.A. Effect of correction of ocular aberration dynamics on the accommodation response to a sinusoidally moving stimulus. *Opt. Lett*. 2009 Nov 1;34(21):3274–6.
- Li YJ., Choi J.A., Kim H., Yu S.Y., Joo C.K. Changes in ocular wavefront aberrations and retinal image quality with objective accommodation. *J. Cataract Refract. Surg*. 2011 May;37(5): 835–41. DOI: 10.1016/j.jcrs.2010.11.031
- Fritzsche M., Dawczynski J., Jurkutat S., Vollandt R., Strobel J. Monochromatic aberration in accommodation. Dynamic wavefront analysis. *Ophthalmology*. 2011 Jun; 108(6):553–60. DOI: 10.1007/s00347-011-2336-7
- Yimin Yuan, Yilei Shao, Aizhu Tao, Meixiao Shen, Jianhua Wang. Ocular anterior segment biometry and high-order wavefront aberrations during accommodation. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci*. 2013;54:7028–7037. DOI: 10.1167/iov.13-11893
- Carkeet A., Velaedan S., Tan Y.K., Lee D.Y., Tan D.T. Higher order ocular aberrations after cycloplegic and non-cycloplegic pupil dilation. *J. Refract. Surg*. 2003;19(3):316–322.
- Miller J.M., Anwaruddin R., Straub J. Higher order aberrations in normal, dilated, intraocular lens, and laser in situ keratomileusis corneas. *J. Refract. Surg*. 2002;18(5):579–583.
- Gilmartin B. A review of the role of sympathetic innervations of the ciliary muscle in ocular accommodation. *Ophthalmic Physiol Opt*. 1986;6(1): 23–37.
- Hiraoka T., Miyata K., Nakamura Y., Miyai T., Ogata M., Okamoto F., et al. Influences of cycloplegia with topical atropine on ocular higher-order aberrations. *Ophthalmology*. 2013;120(1): 8–13. DOI: 10.1016/j.ophtha.2012.07.057
- Donders C. Die Anomalien der Refraction und Accommodation des Auges. Wien. 1888; On the Anomalies of Accommodation and Refraction of the Eye, London, 1864.
- Ананин В.Ф. Аккомодация и близорукость. М., 1992; 24–87. [Ananin V.F. Accommodation and myopia. М., 1992; 24–87. (in Russ.)]
- Ghosh A., Collins M.J., Read S.A. Axial elongation associated with biomechanical factors during near work. *Optom Vis Sci*. 2014 Mar; 91(3):322–9. DOI: 10.1097/OPX.0000000000000166
- Wallman J., Wildsoet C., Xu A., et al. Moving the retina: choroidal modulation of refractive state. *Vision Res*. 1995;35:37–50.
- Мачехин В.А. Ультразвуковая биометрия глаз с различной рефракцией. *Офтальмологический журнал*. 1972;3:204–207. [Machekhin V.A. Ultrasonic eye biometrics with different refractions. Journal of Ophthalmology=Oftalmologicheskii zhurnal. 1972;3: 204–207.(in Russ.)]
- Lowe F. Roland. Ultrasonic biometry of normal and angle-closure glaucoma eyes. *American J. Ophthalmol*.1969;67(1):87–93.

25. Mutti D.O., Zadnik K., Fuzaro R.E., et al. Optical and structural development of the crystalline lens in childhood. *Invest ophthalmol Vis Sci.* 1998;39:120–133.
26. Oner V., Bulut A., et al. The effect of topical anti-muscarinic agents on subfoveal choroidal thickness in healthy adults. *Eye (Lond).* 2016 Jul;30(7):925–8. DOI: 10.1038/eye2016.61
27. Yuvaci I., Pangal E., Yuvaci S., et al. An evaluation of effects of different mydriatics on choroidal thickness by examining anterior chamber parameters: the scheinplflug imaging and enhanced depth imaging-OCT study. *J. Ophthalmol.* 2015:981274. DOI: 10.1155/2015/981274.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ФГБУ «Московский НИИ глазных болезней им. Гельмгольца» Министерства здравоохранения России  
Тарутта Елена Петровна  
доктор медицинских наук профессор, руководитель отдела патологии рефракции, бинокулярного зрения и офтальмоэргоники  
ул. Садовая-Черногрязская 14/19, Москва, 105062, Российская Федерация

ФГБУ «Московский НИИ глазных болезней им. Гельмгольца» Министерства здравоохранения России  
\* Арутюнян Сона Гришаевна  
аспирант отдела патологии рефракции, бинокулярного зрения и офтальмоэргоники  
ул. Садовая-Черногрязская, 14/19, Москва, 105062, Российская Федерация

ФГБУ «Московский НИИ глазных болезней им. Гельмгольца» Министерства здравоохранения России  
Милаш Сергей Викторович  
врач отдела патологии рефракции, бинокулярного зрения и офтальмоэргоники  
ул. Садовая-Черногрязская, 14/19, Москва, 105062, Российская Федерация

ФГБУ «Московский НИИ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России  
Ханджян Ануш Тиграновна  
кандидат медицинских наук, научный сотрудник отдела патологии сетчатки  
ул. Садовая-Черногрязская, 14/19, Москва, 105062, Российская Федерация

ФГБУ «Московский НИИ глазных болезней им. Гельмгольца» Министерства здравоохранения России  
Ходжабекян Нарине Владимировна  
кандидат медицинских наук, руководитель лаборатории офтальмоэргоники и оптометрии  
ул. Садовая-Черногрязская, 14/19, Москва, 105062, Российская Федерация

## ABOUT THE AUTHORS

Moscow Helmholtz Research Institute of Eye Diseases  
Tarutta Elena P.  
MD professor, head of the refraction pathology, binocular vision and ophthalmoeconomics department  
Sadovaya-Chernogryazskaya str., 14/19, Moscow, 105062, Russia

Moscow Helmholtz Research Institute of Eye Diseases  
\* Harutyunyan Sona G.  
Postgraduate  
Sadovaya-Chernogryazskaya str., 14/19, Moscow, 105062, Russia

Moscow Helmholtz Research Institute of Eye Diseases  
Milash Sergey V.  
Ophthalmologist of the refraction pathology, binocular vision and ophthalmoeconomics department  
Sadovaya-Chernogryazskaya str., 14/19, Moscow, 105062, Russia

Moscow Helmholtz Research Institute of Eye Diseases  
Khandzhyan Anush Tigranovna  
Researcher of the Retinal Pathology Department  
Sadovaya-Chernogryazskaya str., 14/19, Moscow, 105062, Russia

Moscow Helmholtz Research Institute of Eye Diseases  
Khodzhabekyan Narine Vladimirovna  
Head of the Ophthalmoeconomics and Optometry Laboratory  
Sadovaya-Chernogryazskaya str., 14/19, Moscow, 105062, Russia