

<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2024-17-1-32-39>



Первый опыт параллельных измерений объективных параметров аккомодации у детей с миопией с помощью различных приборов: в поисках общего знаменателя

В.В. Нероев^{1, 2}, Е.П. Тарутта¹, С.Э. Кондратова³ ✉

¹ ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, ул. Садовая-Черногрозская, д. 14/19, Москва, 105062, Россия

² ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова» Минздрава России, ул. Делегатская, д. 20, стр. 1, Москва, 127473, Россия

³ НИИ педиатрии и охраны здоровья детей РНЦХ им. Б.В. Петровского, ул. Фотиевой, д. 10, стр. 1, Москва, 119333, Россия

Цель работы — изучить взаимосвязь параметров рефлекторной и тонической аккомодации, измеренных с помощью различных объективных методов. **Материал и методы.** Комплексное параллельное исследование объективных параметров аккомодации 57 детей (114 глаз) с миопией слабой и средней степени (в среднем $-2,6 \pm 1,4$ дптр) в возрасте 8–12 лет (в среднем $9,9 \pm 1,6$ года) проведено на трех аппаратах: Grand Seiko WAM-5500K, Acomoref 2 K-model Righton; TONOREF III, Nidek. **Результаты.** Выявлены как совпадения, так и различия получаемых разными способами показателей, а также их корреляции: положительные — между величинами аккомодационного ответа (АО) в открытом поле и виртуальном пространстве ($r = 0,23$, $r = 0,2$); между виртуальными ответами на Righton K2 и на Nidek ($r = 0,38$); прямые корреляции АО с тонусами аккомодации. Корреляция средней силы ($r = 0,44$) обнаружена между тонусом покоя аккомодации (ТПА) на Grand Seiko WR-5100K и коэффициентом микрофлуктуаций (КМФ) на Righton K-2, что позволяет считать их синонимичными показателями. Обнаружена отрицательная взаимосвязь КМФ с запасом относительной аккомодации (ЗОА) и сферическим эквивалентом (SE) рефракции. Положительная корреляция КМФ с темпом прогрессирования миопии и отрицательная — с ЗОА позволяет предположить, что высокий КМФ — это плохой прогностический знак. Однако КМФ положительно коррелирует с величиной АО на всех трех приборах. В таком случае получается, что повышение КМФ сопровождается повышением амплитуды аккомодации и, следовательно, не всегда является болезненным фактором. Возможно, речь идет о границах нормы для этого показателя, которые еще следует изучить. **Заключение.** С помощью объективных методов исследования качественно различных характеристик одного процесса можно исследовать фактические и прогностические параметры аккомодации, что позволит построить индивидуализированный подход к лечению пациента с миопией с помощью оптических и медикаментозных воздействий.

Ключевые слова: объективная аккомодометрия; микрофлуктуации; тонус аккомодации; миопия

Конфликт интересов: отсутствует.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Для цитирования: Нероев В.В., Тарутта Е.П., Кондратова С.Э. Первый опыт параллельных измерений объективных параметров аккомодации у детей с миопией с помощью различных приборов: в поисках общего знаменателя. Российский офтальмологический журнал. 2024; 17 (1): 32–9. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2024-17-1-32-39>

The first experience of parallel measurements of objective accommodation parameters in children with myopia using various instruments: in search of a common denominator

Vladimir V. Neroev^{1, 2}, Elena P. Tarutta¹, Svetlana V. Kondratova³ ✉

¹ Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, 14/19, Sadovaya-Chernogryazskaya St., Moscow, 105062, Russia

² A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, 20, Bldg. 1, Delegatskaya St., Moscow, 127473, Russia

³ Research Institute of Pediatrics and Children's Health, Russian Scientific Center for Surgery named after. B.V. Petrovsky, 10, Bldg. 1, Fotieva St., Moscow, 119333, Russia
svetlana26.03@mail.ru

Purpose: to study the relationship between the parameters of reflex and tonic accommodation measured using various objective methods. **Material and methods.** A comprehensive parallel study of objective accommodation parameters of 57 children (114 eyes) with low and moderate myopia (average -2.6 ± 1.4 D) aged from 8 to 12 years (average 9.9 ± 1.6 years) was carried out on three devices: Grand Seiko WAM-5500K, Acomoref 2 K-model Righton; TONOREF III, Nidek. **Results.** Both coincidences and differences of the indicators obtained by different methods as well as their correlations were revealed: positive - between the values of AR in the open field and in the virtual space ($r = 0.23$, $r = 0.2$); between the virtual responses to Righton K-2 and Nidek ($r = 0.38$); direct correlations of the accommodation response with accommodation tones. A correlation of average strength ($r = 0.44$) was found between the HAT on the Grand Seiko WR-5100K and the CMF on the Righton K2, which allows us to consider them as synonymous indicators. A negative relationship of CMF with PRA and SE refraction was found. A positive correlation of CMF with the rate of progression of myopia and a negative one with PRA suggests that a high CMF is a bad prognostic sign. However, CMF positively correlates with the magnitude of the accommodative response on all three devices. In this case, it turns out that an increase in CMF accompanies an increase in the amplitude of accommodation and, therefore, is not always a troublesome factor. Perhaps we are dealing with the limits of the norm for this indicator, which still need to be studied. **Conclusion.** With the help of objective methods of studying qualitatively different characteristics of one process, it is possible to investigate the actual and prognostic parameters of accommodation, which will allow us to offer an individualized approach to the treatment of patients with myopia using optical and drug instruments.

Keywords: objective accommodometry; microfluctuations; accommodation tone; myopia

Conflict of interests: there is no conflict of interests.

Financial disclosure: no author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

For citation: Neroev V.V., Tarutta E.P., Kondratova S.V. The first experience of parallel measurements of objective accommodation parameters in children with myopia using various instruments: in search of a common denominator. Russian ophthalmological journal. 2024; 17 (1): 32-9 (In Russ.). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2024-17-1-32-39>

Прогресс в понимании факторов риска за последние 20 лет привел к осязаемому улучшению качества диагностики, прогнозирования и лечения прогрессирующей миопии у детей [1, 2], созданию различных высокотехнологичных медицинских приборов для объективной оценки различных структур глаза и их функционального состояния [3–7]. Соответственно, растет интерес к изучению сочетаемости результатов различных методов диагностики состояния аккомодации, разработке новых методов, их комплексированию и выстраиванию на этой основе индивидуального подхода к лечению миопии.

Аккомодация является многофакторным процессом оптической установки глаза к различным расстояниям, а также удержания фокуса изображения при выполнении длительной зрительной задачи. Роль адаптации и дезадаптации аккомодационной системы к повышенным зрительным нагрузкам с ростом цифровизации учебного процесса приобретает первостепенное значение [8–13]. Нарушениям аккомодации отводится ведущая роль в развитии и прогрессировании миопии.

Методы исследования аккомодации можно разделить на субъективные и объективные [11]. Первые основаны на ответах пациента и вследствие этого неизбежно грешат различными ошибками, однако вполне пригодны для массовых и первоначальных исследований [12]. Чаще всего эти методы оценивают способность четко различать объект, перемещающийся в пространстве или расфокусированный приставлением оптических линз. Результаты субъективной аккомодометрии зависят от множества факторов: освещения, размера и контраста тестовых стимулов, способа и скорости измерения, использования оптических средств, размера зрачка испытуемого, его физического состояния, возраста, уровня образования, интеллекта, натренированности и других [13, 14].

Объективные методы исследования аккомодации основаны на регистрации изменений динамической рефракции в ответ на меняющуюся аккомодационную задачу, т. е. расфокусировку изображения. Эта расфокусировка может осуществляться с помощью перемещения объекта фиксации в пространстве (реальном или виртуальном, дистантный

способ) или с помощью приствавления отрицательных линз различной силы при взгляде вдаль (ленсиндуцированный способ). Возможно также сочетание обоих способов дефокусировки.

Показано, что объективный аккомодационный ответ (ОАО) ниже при ленсиндуцированном способе, чем при дистантном [15–18]. Это объясняют тем, что миопические глаза менее чувствительны к затуманиванию как сигналу к аккомодации, чем к приближению объекта, стимулирующему проксимальную аккомодацию одинаково у миопов и эметропов. Низкую чувствительность миопического глаза к сигналу о расфокусировке относят на счет возможной оптической (абберации) или нейрональной недостаточности. О сниженной чувствительности лиц с миопией к расфокусировке изображения писали еще в прошлом веке [19]. Высокую функциональную устойчивость миопического глаза к ухудшению качества ретинального изображения F. Campbell и R. Gubish [20] объясняли существованием неких нейронных механизмов «восстановления» размытого изображения. Эту точку зрения поддерживают и некоторые современные исследователи. Так, J. He и соавт. [16] считают, что сенсорная система у миопов может быть менее чувствительна к расфокусировке изображения, что и создает отставание аккомодации. В. Jiang [21] предположил увеличенный порог различения дефокуса у миопов за счет подавления ошибки, т. е. расфокусировки сигнала, в сенсорной системе.

Существующие сегодня методы объективной аккомодометрии различаются по двум принципиальным позициям: в одних случаях (Acomore 2 K-model Righton; Tonoref III, Nidek) объект предъявляется некорригированному глазу в виртуальном пространстве, в других (Grand Seiko Binocular Open Field Autorefractometer WAM-5500K и WR 5100K) — с полной коррекцией аметропии в реальном пространстве и времени. Эти различия, безусловно, должны сказываться на результатах измерения, однако работ, посвященных такому сравнению, мы не встретили.

Многочисленные исследования доказали, что тонус цилиарной мышцы постоянно колеблется [22]. Эти колебания были названы аккомодационными микрофлуктуациями (АМФ). Для исследования АМФ в настоящее время используется аккомодограф Righton Speedy-K или его модификация Righton K-2 с программным обеспечением. Прибор осуществляет частотный анализ АМФ методом трансформации Фурье [23, 24].

Представляет интерес также исследование тонической аккомодации. Разница между рефракцией, полученной в естественных условиях и в условиях циклоплегии, получила название «привычный тонус аккомодации» (ПТА), или «тоническая аккомодация» [25–28]. Ю.З. Розенблюм предложил способ определения ПТА по данным авторефрактометрии до и после циклоплегии [25, 27]. В последнее время, с появлением авторефрактометров открытого поля, появилась новая возможность объективного исследования привычного тонуса аккомодации в открытом поле (ПТА ОП) — по разнице манифестной и циклоплегической рефракции, измеренной при фиксации удаленного объекта, а также тонуса покоя аккомодации (ТПА) — по разнице между безориентирной и циклоплегической рефракцией [29]. Такие методики были разработаны в НИМЦ ГБ им. Гельмгольца [5, 30].

Б.Л. Радзиховский [31], цитируя зарубежных авторов XIX в. [32, 33], отмечал, что глаз аккомодирует не только на объекты вблизи, но и вдаль. Механизм аккомодации на далекое расстояние заключается в уплощении хрусталика не в результате пассивного расслабления цилиарной мышцы, а обусловлен натяжением цинновой связки вследствие сокра-

щения ее радиальных волокон под влиянием импульсов, поступающих по симпатическим нервным волокнам. Покой же аккомодации представляет собой динамическое равновесие между мышечными волокнами цилиарного тела, расслабляющими и натягивающими циннову связку; во время такого расслабления дальнейшая точка ясного зрения находится не в бесконечности, а на расстоянии примерно 1–2 м от глаза.

В.В. Волков и Л.Н. Колесникова [34] в классической работе с помощью кобальтового стекла субъективным методом определили зону покоя аккомодации, находящуюся на расстоянии 1 м (1,0 дптр). В. Curtin [35] также указывал, что зона покоя аккомодации в диоптрийном выражении находится, по разным данным, на расстоянии 0,75–1,50 дптр. Э.С. Аветисов [36] определял покой аккомодации так: «При отсутствии стимула к аккомодации (в темноте или в безориентирном пространстве) сохраняется некоторый тонус цилиарной мышцы, за счет которого глаз устанавливается к точке, занимающей промежуточное положение между дальнейшей и ближайшей точками ясного зрения». При этом автор указывал на непреодолимые сложности исследования этой зоны покоя, поскольку, с одной стороны, необходимо устранить все зрительные стимулы для создания условий покоя аккомодации, а с другой стороны, без этих стимулов невозможно само исследование. Э.С. Аветисов отдавал предпочтение методике В.В. Волкова, Л.Н. Колесниковой как единственно соответствующей (на тот момент) условиям минимальной стимуляции аккомодации. Только с появлением авторефрактометров открытого поля была разработана методика определения темнового фокуса и ТПА [30].

Таким образом, актуальность исследования аккомодации, с одной стороны, в разнообразии методов ее изучения и неясность их согласования между собой, с другой стороны, указывают на необходимость проведения параллельных измерений параметров объективной аккомодометрии на одном и том же контингенте пациентов с помощью различных приборов.

ЦЕЛЬ работы — изучить взаимосвязь параметров рефлекторной и тонической аккомодации, измеренных с помощью различных объективных методов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Обследовано 57 детей (114 глаз) с миопией слабой и средней степени (в среднем $-2,6 \pm 1,4$ дптр) в возрасте от 8 до 12 лет (в среднем $9,9 \pm 1,6$ года). Обследованные глаза были разделены на 2 группы: 1-я — 70 глаз с миопией слабой степени (в среднем $-1,7 \pm 0,7$ дптр), 2-я — 44 глаза с миопией средней степени (в среднем $-4,2 \pm 0,7$ дптр).

Объективное измерение рефракции и ОАО проводили на аппарате Grand Seiko Binocular Open Field Autorefractometer WAM-5500K (Япония) на расстоянии 33 см в условиях бинокулярной (статический бинокулярный аккомодационный ответ, Стат БАО) и монокулярной (статический монокулярный аккомодационный ответ, Стат МАО) фиксации взора в пробной оправе с полной коррекцией. Проводили также динамическое исследование аккомодации в течение 60 с; за это время прибор выполнял 60 измерений рефракции и затем высчитывал среднее значение (динамический ответ, Дин БАО и Дин МАО). Определяли также тонусы аккомодации: ТПА и ПТА ОП [37]. Определяли также ПТА по Ю.З. Розенблюму как разницу показаний авторефрактометра с виртуальной мишенью (Nidek, Япония) до и после циклоплегии.

Объективное измерение амплитуды аккомодации (АА) проводили на авторефрактометре TONOREF III (Nidek, Япония) как разницу между минимальным (Amin)

и максимальным (Аmax) напряжением аккомодации при слежении за приближающимся виртуальным объектом.

На автоматическом рефрактометре Acomoref 2 K-model Righton в монокулярных условиях в непрерывном режиме регистрировали динамическую рефракцию, меняющуюся при наблюдении за приближающимся из бесконечности на расстояние 20 см от глаза виртуальным объектом; после вычета из нее степени миопии получали величину аккомодационного ответа (АО) в диоптриях и вычисляли коэффициент аккомодационного ответа (КАО) по методике В.В. Жарова [23]. Определяли также интенсивность высокочастотного компонента (ВЧК) АМФ в децибелах и величину коэффициента микрофлуктуаций (КМФ) по В.В. Жаро-

ву [23]. Субъективные запасы относительной аккомодации (ЗОО) определяли по известной методике [26].

Каждый пациент был обследован всеми перечисленными методами.

Статистическая обработка результатов исследования проводилась с использованием Microsoft Excel 2021. Уровень достоверности различий определяли по стандартному критерию Стьюдента. Для анализа связей между показателями использовали коэффициент корреляции Пирсона (r).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты проведенных исследований представлены в таблице 1. Как видно из таблицы 1, возраст пациентов

(в ср. $9,9 \pm 1,5$ года) не различался в группах миопии средней и слабой степени. Это свидетельствует о разной скорости прогрессирования, обусловившей в сопоставимом возрасте развитие миопии средней степени ($4,15 \pm 0,70$ дптр) в одной группе и слабой степени ($1,68 \pm 0,72$ дптр) — в другой. Сравнение величин годового градиента прогрессирования (ГГП) подтверждает сказанное: $1,21 \pm 0,50$ дптр/год в первом случае и $0,8 \pm 0,4$ дптр/год — во втором ($p < 0,05$). ЗОО в группах не различался и был выше или равен 2,5 дптр, МАО и БАО, измеренные разными способами, в среднем не различались между собой и равнялись 1,7–1,8 дптр. Однако получен достоверно более низкий статический МАО при слабой миопии по сравнению со средней: $1,70 \pm 0,55$ и $2,00 \pm 0,43$ дптр соответственно ($p < 0,05$).

АО, измеренный в виртуальном пространстве на аппарате Righton K2, оказался достоверно ниже, чем на аппарате ОП: $1,22 \pm 1,11$ дптр против $1,80 \pm 0,48$ дптр ($p < 0,05$). Это, безусловно, объясняется условиями измерения: в ОП аккомодационный стимул предъявляется эметропизированному глазу в реальном пространстве и времени, что и определяет более адекватный АО. При этом, в отличие от МАО и БАО ОП, виртуальный АО Righton K2 различался в зависимости от степени миопии: $1,02 \pm 0,73$ дптр при слабой и $1,27 \pm 0,83$ дптр — при средней ($p < 0,05$).

Не выявлено различий в величине всех трех тонусов аккомодации в группах с миопией слабой и средней степени. При этом между собой тонусы различались. Самым высоким оказался ТПА: $0,99 \pm 0,65$ дптр ($0,90 \pm 0,63$ в 1-й группе и $1,1 \pm 0,7$ дптр — во 2-й); самым низким — ПТА ОП: $0,24 \pm 0,23$ и $0,24 \pm 0,18$ дптр соответственно. ПТА, определенный в виртуальном пространстве на аппарате Nidek, был недостоверно выше: $0,33 \pm 0,19$ и $0,32 \pm 0,22$ дптр в исследуемых группах. В целом полученные результаты

Таблица 1. Аккомодетрические показатели, полученные разными методами, в глазах с миопией слабой и средней степени (M ± σ)
Table 1. Accommodometric parameters obtained by different methods in eyes with low to moderate myopia (M ± σ)

Показатель Parameters	Всего Total n = 114	Миопия слабой степени Low myopia n = 70	Миопия средней степени Moderate myopia n = 44
Возраст Age	9,90 ± 1,56	10,00 ± 1,66	9,7 ± 1,4
Циклоплегический СЭ рефракции (SER), дптр Cycloplegic spherical equivalent of refraction (SER), D	2,60 ± 1,41	1,68 ± 0,72	4,15 ± 0,70
ГГП, дптр/год Year progression rate (YPR), D/year	0,98 ± 0,51	0,8 ± 0,4	1,21 ± 0,50
ЗОО, дптр Positive relative accommodation (PRA), D	2,60 ± 0,75	2,70 ± 0,77	2,45 ± 0,69
Статический БАО, дптр Static binocular accommodative response (SBAR), D	1,80 ± 0,48**	1,79 ± 0,48	1,87 ± 0,37
Статический МАО, дптр Static monocular accommodative response (SMAR), D	1,80 ± 0,53**	1,70 ± 0,55*	2,00 ± 0,43*
Динамический БАО, дптр Dynamic binocular accommodative response (DBAR), D	1,70 ± 0,48**	1,74 ± 0,45	1,72 ± 0,44
Динамический МАО, дптр Dynamic (DMAR), D	1,70 ± 0,48**	1,71 ± 0,50	1,73 ± 0,44
ТПА, дптр Tonus of accommodation rest (TAR), D	0,99 ± 0,65	0,90 ± 0,63	1,1 ± 0,7
ПТА ОП, дптр Habitual accommodation tonus open field (HAT OF), D	0,25 ± 0,21	0,24 ± 0,23	0,24 ± 0,18
ПТА, дптр Habitual accommodation tonus (HAT), D	0,33 ± 0,20	0,33 ± 0,19	0,32 ± 0,22
АА Nidek, дптр Amplitude of accommodation (AA) Nidek, D	4,21 ± 2,77	3,77 ± 2,52*	4,90 ± 3,08*
АО Righton K2, дптр AR Righton K2, D	1,22 ± 1,11**	1,02 ± 0,73*	1,27 ± 0,83*
КМФ Righton K2, дБ Coefficient of microfluctuations (CMF) Righton K2, db	61,44 ± 3,89	60,56 ± 4,03	62,61 ± 3,35
КАО Righton K2 Coefficient of AR (CAR) Righton K2	0,31 ± 0,52	0,33 ± 0,19*	0,28 ± 0,19*

Примечание. n — число глаз, * — различие между группами с миопией слабой и средней степени достоверно, $p < 0,05$, ** — различие между статическими АО Righton K2 и динамическими БАО и МАО достоверно, $p < 0,05$.
Note. n — number of eyes, * — the difference between groups with low and moderate myopia is significant, $p < 0,05$, ** — the difference between static AO Righton K2 and dynamic BAО and MAO is significant, $p < 0,05$.

логичны и объяснимы. При исследовании в открытом поле вступает в действие механизм отрицательной аккомодации, т. е. активной аккомодации вдаль, что снижает величину измеряемой динамической рефракции. При исследовании в условиях полной темноты в отсутствие стимула для аккомодации, как уже было сказано, сохраняется некоторый тонус цилиарной мышцы, за счет которого глаз устанавливается к точке, занимающей промежуточное положение между ближайшей и дальнейшей точками ясного зрения [38]. Именно этот ТПА и оказался самым высоким у детей с миопией, что укладывается в симптомокомплекс данного заболевания. КМФ имел недостоверную тенденцию к более низким значениям при слабой миопии, чем при средней ($60,56 \pm 4,03$ и $62,61 \pm 3,35$ дб соответственно).

Аналогично АО на Righton K2, АА, измеренная в тех же виртуальных условиях на приборе Nidek, оказалась достоверно выше в группе средней миопии ($4,90 \pm 3,08$ дптр), чем слабой ($3,77 \pm 2,52$ дптр, $p < 0,05$), и в целом ниже нормы для аналогичного показателя, определяемого субъективными методами и называемого объемом абсолютной аккомодации (ОАА) в нашей стране, или АА за рубежом. Как известно, норма ОАА для данного возраста составляет 10,0 дптр [38]. В общей группе обследованных нами пациентов десятилетнего в среднем возраста объективная АА равнялась $4,21 \pm 2,77$ дптр. Такое расхождение следует объяснить не только присущим миопии снижением аккомодации, но и разницей условий обследования. Измерение АА объективным методом основано на регистрации динамической рефракции, а не на ответах пациента. Последнее, безусловно, способствует завышению получаемых показателей.

Корреляционный анализ полученных данных (табл. 2) выявил умеренную положительную связь ЗОА с возрастом ($r = 0,26$) и отрицательную корреляцию с ГПП ($r = -0,31$) — это согласуется с исследованиями других авторов [2]. При этом КМФ отрицательно коррелирует с возрастом ($r = -0,32$), что может указывать на повышение устойчивости аккомодации (так же, как и ЗОА) с возрастом. ЗОА отрицательно коррелирует с КМФ ($r = -0,34$), что, очевидно, отражает снижение аккомодационной способности при повышенном микрофлуктуационном статусе. При этом корреляции ЗОА с величиной АО (виртуального или реального) не обнаружено. Выявлена положительная корреляция между величиной ГПП, с одной стороны, и виртуальным АО и КМФ — с другой ($r = 0,22$; $r = 0,28$ соответственно). Последнее представляется логичным и подтверждает роль КМФ как неблагоприятного фактора в развитии миопии. Положительная связь величины АО и скорости прогрессирования миопии нелогична и связана, очевидно, с виртуальными условиями исследования. Подобная тенденция ($r = 0,17$) обнаружилась и для АА на Nidek, также получаемой в виртуальном пространстве. При исследовании в реальных условиях (открытое поле) ни статический, ни динамический БАО и МАО с ГПП не коррелировали. Это отмечалось и в ряде зарубежных работ [37, 39].

Сферический эквивалент (SE) рефракции ожидаемо положительно коррелировал с ГПП ($r = 0,31$). Слабая положительная корреляция SE рефракции со статическим МАО ($r = 0,2$), возможно, объясняется наличием постоянной коррекции у детей с миопией средней степени, что и приводит к некоторому повышению у них аккомодационного ответа (см. табл. 1). Динамические и статические БАО и МАО уверенно положительно коррелируют друг с другом (r от 0,34 до 0,6), проявляя, по сути, качественно идентичные характеристики АО.

Статический МАО слабо положительно коррелировал с ТПА ($r = 0,28$) и КМФ ($r = 0,21$). Важно отметить, что

такая же слабopоложительная корреляция выявлена между ТПА и АО, полученным на другом приборе — Righton K2 ($r = 0,28$). КМФ слабо положительно коррелирует с АА Nidek ($r = 0,26$) и с АО на Righton K2 ($r = 0,34$). Следует подчеркнуть, что перечисленные неожиданные, нелогичные корреляции выявлены для всех показателей, полученных на разных приборах, что позволяет говорить о синхронности, слаженности, единодушии этих методик. ТПА и КМФ характеризуют состояние цилиарной мышцы, отражая, очевидно, ее вегетативный тонус. Это предположение подкрепляется полученной нами средней положительной корреляцией этих показателей между собой: $r = 0,44$. В ряде работ ранее было показано, что более высокий тонус аккомодации сопряжен с большей скоростью прогрессирования миопии, а снижение тонуса способствует торможению прогрессирования. В свою очередь, низкий АО также коррелирует с большей скоростью прогрессирования [38, 40]. В этой связи полученная в данном исследовании положительная корреляция тонуса с АО выглядит парадоксальной. Тем важнее тот факт, что эти корреляции установлены для показателей, полученных на разных приборах, что повышает их валидность. Очевидно, эта, на первый взгляд, парадоксальная ситуация не является ошибкой, а требует дальнейшего изучения и осмысления.

Показатель КАО обнаружил единственную слабopоложительную корреляцию с величиной АО, полученной на том же приборе ($r = 0,2$).

Таким образом, впервые выявлены корреляции параметров аккомодации, полученных разными методиками объективной аккомодометрии: положительные — между величинами АО в открытом поле и виртуальном пространстве ($r = 0,23$, $r = 0,2$); между виртуальными ответами на Righton K-2 и на Nidek (характерно, что здесь связь теснее, $r = 0,38$); корреляция средней силы ($r = 0,44$) обнаружена между ТПА на Grand Seiko WAM-5500K и КМФ на Righton K2, что позволяет считать их синонимичными показателями.

Положительная корреляция КМФ с темпом прогрессирования миопии и отрицательная — с ЗОА позволяют предположить, что высокий КМФ — это плохой прогностический знак. Однако КМФ положительно коррелирует с величиной АО на всех трех приборах. В таком случае получается, что повышение КМФ сопутствует повышению амплитуды аккомодации и, следовательно, не всегда является болезненным фактором. Возможно, речь идет о границах нормы для этого показателя, не только повышение, но и понижение которых является неблагоприятным признаком. Соглашаются с этим и выявленные прямые корреляции АО с тонусами аккомодации.

ВЫВОДЫ

1. Впервые проведено комплексное параллельное исследование объективных параметров аккомодации на трех аппаратах: Grand Seiko WAM-5500K, Acomoref 2 K-model Righton; Tonoref III, Nidek.

2. Выявлены различия величин объективного АО у одних и тех же пациентов, что объясняется разными условиями измерения — виртуальными или реальными.

3. Получена положительная корреляция показателей аккомодации, измеренных разными способами: статического и динамического МАО с АА (Nidek) и КМФ (Righton K2); ТПА с КМФ; амплитуды аккомодации с КМФ. Обнаружена отрицательная взаимосвязь КМФ с ЗОА и SE рефракции.

4. Впервые проведенный корреляционный анализ выявил как совпадения, так и различия получаемых разными способами показателей. Возможно, эти различия демонстрируют не только разность способов измерения, но и много-

Таблица 2. Корреляции полученных показателей аккомодации
Table 2. Correlations of the obtained accommodation parameters

Возраст Age	ЗОО PRA	ГПП YPR	SER	Динам БАО DBAR	Динам МАО DMAR	Стат БАО SBAR	Стат МАО SMAR	ТПА TAR	ПТА HAT	ПТА ОП HAT OF	АА Nidek	АО AR K2	КМФ CMF	КАО CAR
1	0,26*	-0,36**	-0,07	0,12	-0,001	0,08	-0,13	-0,14	0,17	0,03	-0,14	0,06	-0,32*	0,1
0,26*	1	-0,31*	-0,07	0,06	0,1	0,1	0,12	-0,12	0,11	0,01	-0,13	-0,18*	-0,34**	-0,07
-0,36**	-0,31*	1	0,31*	-0,09	-0,02	-0,16	-0,01	0,09	0,04	-0,05	0,17	0,22*	0,28*	-0,14
-0,07	-0,07	0,31*	1	0,08	0,01	0,18	0,2*	0,003	-0,08	-0,06	0,14	0,03	0,07	-0,09
0,12	0,06	-0,09	0,08	1	0,39**	0,6**	0,34**	0,04	-0,08	-0,1	0,07	0,18*	-0,09	-0,04
-0,001	0,1	-0,02	0,01	0,39*	1	0,38**	0,34**	0,07	-0,04	0,06	0,2*	0,04	0,04	-0,12
0,08	0,1	-0,16	0,18	0,6*	0,38**	1	0,36*	0,15	-0,17	-0,07	0,06	0,03	0,03	-0,03
-0,13	0,12	-0,01	0,2*	0,34*	0,34**	0,36**	1	0,28*	-0,15	0,02	0,23*	0,18	0,21*	-0,1
-0,14	-0,12	0,09	0,003	0,04	0,07	0,15	0,28*	1	0,03	0,1	0,13	0,28*	0,44**	0,06
0,17	0,11	0,04	-0,08	-0,08	-0,04	-0,17	-0,15	0,03	1	0,40**	0,16	0,17	0,11	-0,02
0,03	0,01	-0,05	-0,06	-0,1	0,06	-0,07	0,02	0,1	0,40**	1	0,03	0,06	0,08	-0,01
-0,14	-0,13	0,17	0,14	0,07	0,2*	0,06	0,23*	0,13	0,16	0,03	1	0,38**	0,26*	-0,03
0,06	-0,18*	0,22*	0,03	0,18*	0,04	0,03	0,18	0,28*	0,17	0,06	0,38**	1	0,34**	0,2*
-0,32*	-0,34**	0,28*	0,07	-0,09	0,04	0,03	0,21*	0,44**	0,11	0,08	0,26*	0,34**	1	0,03
0,1	-0,07	-0,14	-0,09	-0,04	-0,12	-0,03	-0,1	0,06	-0,02	-0,01	-0,03	0,2*	0,03	1

Примечание. Корреляции полученных показателей: * — $p < 0,05$, ** — $p < 0,001$.
Note. Reliability of the correlations obtained: * — $p < 0,05$, ** — $p < 0,001$.

гранность характеристик аккомодационного ответа, и, таким образом, не исключают, а дополняют друг друга.

5. Комплексное обследование пациента разными методами объективной аккомодометрии позволит выявить новые дифференциально-диагностические и прогностические критерии и выстраивать индивидуальные лечебные стратегии.

Литература/References

1. Тарутта Е.П., Проскурина О.В., Тарасова Н.А., Маркосян Г.А. Анализ факторов риска развития близорукости в дошкольном и раннем школьном возрасте. *Анализ риска здоровью*. 2019; 3: 26–33. [Tarutta E.P., Proskurina O.V., Tarasova N.A., Markosyan G.A. Analysis of risk factors that cause myopia in pre-school children and primary school students. *Health Risk Analysis*. 2019; 3: 26–33 (In Russ.)]. doi: 10.21668/health.risk/2019.3.03
2. Тарутта Е.П., Проскурина О.В., Тарасова Н.А., Ибатулин Р.А., Ковычев А.С. Предикторы миопии как отправная точка для начала активных мер по предупреждению ее развития. *Российский офтальмологический журнал*. 2018; 11 (3): 107–12. [Tarutta E.P., Proskurina O.V., Tarasova N.A., Ibatulin R.A., Kovychev A.S. Myopia predictors as a starting point for active prevention of myopia development. *Russian ophthalmological journal*. 2018; 11 (3): 107–12 (In Russ.)]. https://doi.org/10.21516/2072-0076-2018-11-3-107-112
3. Розенблюм Ю.З., Проскурина О.В. Применение автоматических рефрактометров в практике врача-офтальмолога и оптометриста. *Вестник оптометрии*. 2001; 5: 9–17. [Rosenblum Yu.Z., Proskurina O.V. The use of automatic refractometers in the practice of an ophthalmologist and optometrist. *Vestnik optometrii*. 2001; 5: 9–17 (In Russ.)].
4. Тарутта Е.П., Филинова О.Б., Тарасова Н.А. Новые методы объективной аккомодометрии. *Российская педиатрическая офтальмология*. 2012; 1: 45–8. [Tarutta E.P., Filinova O.B., Tarasova N.A. New methods of objective accommodation. *Russian pediatric ophthalmology*. 2012; 1: 45–8 (In Russ.)].
5. Тарутта Е.П. Объективная аккомодометрия. В кн.: Катаргина Л.А., ред. Аккомодация. Руководство для врачей. Москва: Апрель, 2012: 50–62. [Tarutta E.P. Objective accommodation. In: Katargina L.A., ed. Accommodation. Guide for doctors. Moscow: April, 2012: 50–62 (In Russ.)].
6. Kanczer P, Pluta K, Momeni-Moghaddam H, Khoramnia R. Comparison of the amplitude of accommodation measured using a new-generation closed-field autorefractor with conventional subjective methods. *Diagnostics*. 2022; 12: 568. https://doi.org/10.3390/diagnostics12030568
7. Weng CC, Hwang DK, Liu CJ. Repeatability of the amplitude of accommodation measured by a new generation autorefractor. *PLoS One*. 2020 Jan 27; 15 (1): e0224733. doi: 10.1371/journal.pone.0224733
8. Foreman J, Salim AT, Praveen A, et al. Association between digital smart device use and myopia: a systematic review and meta-analysis. *Lancet Digit Health*. 2021 Dec; 3 (12): e806–e818.
9. Дорошова Е.А. Эволюционный подход к вопросам формирования близорукости: перестройка зрительного анализатора как адаптация к социокультурным условиям. *Экспериментальная психология*. 2014; 7 (3): 83–97. [Dorosheva E.A. An evolutionary approach to the formation of myopia: restructuring of the visual analyzer as an adaptation to sociocultural conditions. *Experimental psychology*. 2014; 7 (3): 83–97 (In Russ.)].
10. Бржеский В.В., Коникова О.А., Садовникова Н.Н., Ефимова Е.Л. Изменения органа зрения у детей и взрослых на фоне COVID-19 и противоэпидемических мероприятий. *Российская детская офтальмология*. 2021; 3: 44–53. [Brzheskiy V.V., Konikova O.A., Sadovnikova N.N., Efimova E.L. Changes in the organ of vision in children and adults with confirmed COVID-19 and anti-epidemic measures. *Russian children's ophthalmology*. 2021; 3: 44–53 (In Russ.)]. https://doi.org/10.25276/2307-6658-2021-3-44-53
11. Тарутта Е.П., Тарасова Н.А. Прогностическое и диагностическое значение объективного аккомодационного ответа. *Российская педиатрическая офтальмология*. 2015; 1: 27–9. [Tarutta E.P., Tarasova N.A. Prognostic and diagnostic value of objective accommodative response. *Russian pediatric ophthalmology*. 2015; 1: 27–9 (In Russ.)].
12. Проскурина О.В., Голубев С.Ю., Маркова Е.Ю. Субъективные методы исследования аккомодации. В кн.: Катаргина Л.А., ред. Аккомодация. Руководство для врачей. Москва: Апрель, 2012: 40–9. [Proskurina O.V., Golubev S.Yu., Markova E.Yu. Subjective methods for studying accommodation. In: Katargina L.A., ed. Accommodation. Guide for doctors. Moscow: April, 2012: 40–9 (In Russ.)].
13. Тарутта Е.П., Филинова О.Б., Кваратсхелия Н.Г., Толорая Р.Р. Исследование привычного и вегетативного тонуса аккомодации у детей с миопией и гиперметропией. *Вестник офтальмологии*. 2010; 6: 18–21. [Tarutta E.P., Filinova O.B., Kvaratskhelia N.G., Toloraya P.P. Study of the habitual and autonomic tone of accommodation in children with myopia and hypermetropia. *Vestnik oftal'mologii*. 2010; 6: 18–21 (In Russ.)].
14. Шаповалов С.Л., Корнюшина Т.А. Аккомодационная способность глаза. В кн.: Аветисов С.Э., Кашенко Т.П., Шамшинова А.М., ред. Зрительные функции и их коррекция у детей. Москва: Медицина: 93–119. [Shapovalov S.L., Korniyushina T.A. Accommodative ability of the eye. In: Avetisov S.E., Kashchenko T.P., Shamshinova A.M., eds. Visual functions and their correction in children. Moscow: Meditsina; 2005: 93–119 (In Russ.)].
15. Chen AH, O'Leary DJ, Howell ER. Near visual function in young children. Part I: Near point of convergence. Part II: Amplitude of accommodation. Part III: Near heterophoria. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2000 May; 20 (3): 185–98. PMID: 10897340.
16. He Ji C, Gwiazda J, Thorn F, Held R, Vera-Piaz FA. The association of wavefront aberration and accommodative lag in myopes. *Vision Research*. Feb; 45 (3): 285–90. doi: 10.1016/j.visres.2004.08.027
17. Gwiazda J, Hyman L, Hussein M, et al. A randomized clinical trial of progressive addition lenses versus single vision lenses on the progression of myopia in children. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2003; 44 (4): 1492–500. https://doi.org/10.1167/jovs.02-0816
18. Тарутта Е.П., Тарасова Н.А., Арутюнян С.Г., Максимова М.В. Сравнительный анализ величины дистантного и линзиндуцированного объективного аккомодационного ответа при различной рефракции. *Вестник офтальмологии*. 2017; 133 (4): 37–41. [Tarutta E.P., Tarasova N.A., Arutyunyan S.G., Maksimova M.V. A comparative analysis of the magnitude of the distance and lens-induced objective accommodative response in patients with different refraction. *Vestnik oftal'mologii*. 2017; 133 (4): 37–41 (In Russ.)]. doi: 10.17116/oftalma2017133437-41
19. Legge GE, Mullen KT, Woo GC, Campbell FW. Tolerance to visual defocus. *J Opt Soc Am A*. 1987 May; 4(5): 851–63. doi: 10.1364/josaa.4.000851
20. Campbell FW, Gubish RW. Optical quality of the human eye. *J Physiol*. 1966 Oct; 186 (3): 558–78. doi: 10.1113/jphysiol.1966.sp008056
21. Jiang BC. Integration of a sensory component into the accommodation model reveals differences between emmetropia and late-onset myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1997 Jul; 38 (8): 1511–6. PMID: 9224278
22. Gray LS, Winn B, Gilmartin B. Effect of target luminance on microfluctuation of accommodation. *Ophthalmol. Physiol Opt*. 1993 Jul; 13 (3): 258–65. doi: 10.1111/j.1475-1313.1993.tb00468.x
23. Жаров В.В., Никишин Р.А., Егорова А.В. и др. Клиническая оценка состояния аккомодации с помощью метода компьютерной аккомодографии. В кн.: Ерошевские чтения. Самара; 2007: 437–40. [Zharov V.V., Nikishin R.A., Egorova A.V., et al. Clinical assessment of the state of accommodation using the computer accommodation method. In: Eroshevskie chteniya. Samara; 2007: 437–40 (In Russ.)].
24. Жукова О.В., Егорова А.В. Компьютерная аккомодография. В кн.: Аккомодация. Руководство для врачей. Москва: Апрель, 2012: 63–6. [Zhukova O.V., Egorova A.V. Computer accommodation. In: Katargina L.A., ed. Accommodation. Guide for doctors. Moscow: April, 2012: 63–6 (In Russ.)].
25. Онуфрийчук О.Н., Розенблюм Ю.З. О привычном тоне аккомодации. *Офтальмология*. 2006; 3 (3): 84–7. [Onufriyчук O.N., Rosenblum Yu.Z. About the usual tone of accommodation. *Oftal'mologia*. 2006; 3 (3): 84–7 (In Russ.)].
26. Проскурина О.В. Тонус аккомодации у детей. *Рефракционная хирургия и офтальмология*. 2004; 4 (2): 16–9. [Proskurina O.V. Accommodation tone in children. *Refractive surgery and ophthalmology*. 2004; 4 (2): 16–9 (In Russ.)].
27. Розенблюм Ю.З. Оптометрия. Санкт-Петербург: Гиппократ, 2-е изд., 1996. [Rosenblum Yu.Z. Optometry. Saint-Peterburg: Hippocrat, 2nd Ed., 1996 (In Russ.)].
28. Шаповалов С.Л., Милаевская Т.И., Игнатъев С.А. Аккомодация глаза и ее нарушения. Москва: МИК; 2011. [Shapovalov S.L., Milyavskaya T.I., Ignatiev S.A. Accommodation of the eye and its disorders. Moscow: MIK; 2011 (In Russ.)].
29. Катаргина Л.А., Тарутта Е.П., Проскурина О.В. и др. Аккомодация: к вопросу о терминологии. *Российский офтальмологический журнал*. 2011; 4 (3): 93–4. [Katargina L.A., Tarutta E.P., Proskurina O.V., et al. Accommodation: the challenge of terminology. *Russian ophthalmological journal*. 2011; 4 (3): 93–4 (In Russ.)].
30. Тарутта Е.П., Филинова О.Б. Способ определения привычного тонуса аккомодации. Патент на изобретение № 2394469 от 20.07.2010.
31. Радзиховский Б.Л. Близорукость. Ленинград: Медгиз; 1963. [Radzhikovskiy B.L. Myopia. Leningrad: Medgiz; 1963 (In Russ.)].
32. Kugel L. Ueber acute Entwicklung der Myopie. *Arch. f. Ophth*. 1870; 16: 323.
33. Seggel S. About normal visual acuity and the relationship between visual acuity and refraction. *Arch. f. Ophth*. 1884; 30 (2): 69–140.
34. Волков В.В., Колесникова Л.Н. Аккомодация и рефракция по материалам исследований с помощью кобальтового стекла. *Офтальмологический журнал*. 1973; 3: 172–5. [Volkov V.V. Kolesnikova L.N. Accommodation and refraction based on research materials using cobalt glass. *Ophthalmological Journal*. 1973; 3: 172–5 (In Russ.)].
35. Curtin BJ. The Myopias: Basic Science and Clinical Management. Harpercollins College Div. 1985.

36. Аветисов Э.С. Близорукость. Москва: Медицина, 1999. [Avetisov E.S. Myopia. Moscow: Meditsina; 1999 (In Russ.)].
37. Berntsen D, Sinnott L, Mutti D, Zadnik K. A randomized trial using progressive addition lenses to evaluate theories of myopia progression in children with a high lag of accommodation. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2012 Feb 13; 53 (2): 640–9. doi: 10.1167/iops.11-7769
38. Тарутта Е.П., Тарасова Н.А. Тонус аккомодации при миопии, измеренный различными способами, и его возможное прогностическое значение. *Вестник офтальмологии*. 2012; 2: 34–7. [Tarutta E.P., Tarasova N.A. Accommodative tone in myopia, measured by various methods, and its possible prognostic value. *Vestnik oftal'mologii*. 2012; 2: 34–7 (In Russ.)].
39. Berntsen D, Mutti D, Zadnik K. The effect of bifocal ADD on accommodative lag in myopic children with high accommodative lag. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2010 Dec; 51 (12): 6104–110. doi: 10.1167/iops.09-4417
40. Тарутта Е.П., Тарасова Н.А. Комплексное исследование аккомодации при ее недостаточности. *Российская педиатрическая офтальмология*. 2013; 2: 38–40. [Tarutta E.P., Tarasova N.A. A comprehensive study of accommodation in case of its insufficiency. *Russian pediatric ophthalmology*. 2013; 2: 38–40 (In Russ.)].

Вклад авторов в работу: В.В. Нероев — разработка концепции исследования, утверждение рукописи для публикации; Е.П. Тарутта — разработка концепции и дизайна исследования, анализ данных, написание и редактирование статьи; С.Э. Кондратова — сбор, анализ и обработка данных, написание статьи.

Authors' contribution: V.V. Neroyev — development of the research concept, approval of the manuscript for publication; E.P. Tarutta — development of the concept and design of the study, data analysis, writing and editing of the article; S.E. Kondratova — collection, analysis and processing of the data, writing of the article.

Поступила: 25.10.2023. Переработана: 23.11.2023. Принята к печати: 23.11.2023

Originally received: 25.10.2023. Final revision: 23.11.2023. Accepted: 12.11.2023

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

¹ ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, ул. Садовая-Черногрозская, д. 14/19, Москва, 105062, Россия

² ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова» Минздрава России, ул. Де-легатская, д. 20, стр. 1, Москва, 127473, Россия

Владимир Владимирович Нероев — академик РАН, д-р мед. наук, профессор, директор¹, заведующий кафедрой глазных болезней факультета дополнительного профессионального образования², ORCID 0000-0002-8480-0894

Елена Петровна Тарутта — д-р мед. наук, профессор, начальник отдела патологии рефракции бинокулярного зрения и офтальмо-эргономики², ORCID 0000-0002-8864-4518

НИИ педиатрии и охраны здоровья детей РНЦХ им. Б.В. Петровского, ул. Фотиевой, д. 10, стр. 1, Москва, 119333, Россия

Светлана Эдуардовна Кондратова — научный сотрудник, ORCID 0000-0002-6522-5310; SPIN: 9095-2169

Для контактов: Светлана Эдуардовна Кондратова, svetlana26.03@mail.ru

¹ Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, 14/19, Sadovaya-Chernogryazskaya St., Moscow, 105062, Russia

² A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, 20, Bldg. 1, Delegatskaya St., Moscow, 127473, Russia

Vladimir V. Neroyev — Academician of RAS, Dr. of Med. Sci., professor, director¹, head of eye diseases chair of the faculty of additional professional education², ORCID 0000-0002-8480-0894

Elena P. Tarutta — Dr. of Med. Sci., professor, head of the Department of refractive pathology, binocular vision and ophthalmoeconomics¹, ORCID 0000-0002-8864-4518

Research Institute of Pediatrics and Children's Health, Russian Scientific Center for Surgery named after B.V. Petrovsky, 10, Bldg. 1, Fotieva St., Moscow, 119333, Russia

Svetlana E. Kondratova — researcher, ORCID 0000-0002-6522-5310; SPIN: 9095-2169

For contacts: Svetlana E. Kondratova, svetlana26.03@mail.ru