

Аберрации волнового фронта у детей и лиц молодого возраста с миопией: сравнительный анализ данных OPD Scan III и iTrace

Е.М. Наумова¹Е.М. Титаренко¹И.Л. Плисов²Д.И. Иванов¹

¹ Екатеринбургский центр «МНТК «Микрохирургия глаза»
ул. Бардина, 4а, Екатеринбург, 620149, Российская Федерация

² Новосибирский филиал ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. академика С.Н. Федорова»
Министерства здравоохранения Российской Федерации
ул. Колхидская, 10, Новосибирск, 630096, Российская Федерация

РЕЗЮМЕ

Офтальмология. 2025;22(4):945–951

Современные требования пользователей оптической коррекции не всегда позволяют достичь желаемого качества зрения. На качество зрения влияет изменение состояния волнового фронта, связанное с нарушениями аккомодации, изменением прозрачности оптических сред, состоянием глазной поверхности. Реальная оптическая система глаза подвержена искажениям, которые определяются аберрациями — отклонениями формы волнового фронта от идеальной. Аберрометрия в течение последних десятилетий широко применяется в оптометрии и многих областях офтальмологии (для диагностики кератоконуса, в рефракционной хирургии, а также при синдроме сухого глаза). В настоящее время отсутствует единый стандарт для измерений аберраций глаза, поэтому необходимо регулярно оценивать согласованность имеющихся аберрометров, чтобы обеспечить надежность данных о волновом фронте. **Цель:** предоставить ряд технических и практических параметров, которые могут быть полезны при выборе аберрометра для ежедневной клинической практики, а также оценить и сравнить общие и внутренние аберрации, измеренные двумя аберрометрами: анализатором оптических сред глаза OPD Scan III (OPD Scan, Nidek) и аберрометром с технологией трассировки лучей (iTrace, Tracey Technology). **Пациенты и методы.** В это исследование были включены 30 пациентов, 60 глаз. Общие и внутренние аберрации сравнивались при диаметрах зрачка 3 и 6 мм. Эти параметры вместе с параметрами рефракции были проанализированы и дополнены парными *t*-критериями. **Результаты.** Проведенное сравнение двух приборов, OPD Scan III и iTrace, показало, что результаты измерений общих аберраций при диаметре зрачка 3 и 6 мм являются сопоставимыми. Таким образом, оба прибора могут быть использованы для исследования изменений волнового фронта у детей и молодых пациентов с миопией с одинаковой степенью достоверности. Различия в данных по внутренним аберрациям высшего порядка, полученные в результате исследования детей и лиц молодого возраста с миопией, должны быть учтены в том числе при анализе роговничных аберраций (так как они вычисляются путем вычитания показателя внутренних аберраций из показателя общих аберраций глаза) у данных категорий пациентов.

Ключевые слова: аберрометрия, OPD Scan III, iTrace, аберрации волнового фронта

Для цитирования: Наумова Е.М., Титаренко Е.М., Плисов И.Л., Иванов Д.И. Аберрации волнового фронта у детей и лиц молодого возраста с миопией: сравнительный анализ данных OPD Scan III и iTrace. *Офтальмология*. 2025;22(4):945–951.
<https://doi.org/10.18008/1816-5095-2025-4-945-951>

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Конфликт интересов отсутствует.



Wavefront Aberrations in Children and Young People with Myopia: Comparative Analysis of OPD Scan III and iTrace data

E.M. Naumova¹, E.M. Titarenko¹, I.L. Plisov², D.I. Ivanov¹

¹ Eye Microsurgery Center
Bardina str., 4a, Ekaterinburg, 620149, Russian Federation

²The Novosibirsk Branch of the S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution
Kolkhidskaya str., 10, Novosibirsk, 630096, Russian Federation

ABSTRACT

Ophthalmology in Russia. 2025;22(4):945–951

Individual ametropia-correcting products (glasses, contact lenses) selected using standard methods for studying refraction of the eye can provide high visual acuity, however, modern requirements of optical correction users do not always allow achieving the desired quality of vision. The quality of vision is influenced by many factors related to the conditions of the accommodative apparatus, the ocular surface, and the wavefront. The eye wavefront is a characteristic of the eye's optical system that describes the phase distribution of a light wave after it passes through the cornea, lens, and other optical media of the eye. In an ideal optical system (without aberrations), the wavefront has a flat shape, which ensures that light is focused at a single point on the retina. However, the real optical system of the eye is subject to distortions, which are determined by aberrations — deviations of the wavefront shape from the ideal one. Aberrometry has been widely used in optometry and many areas of ophthalmology in recent decades (for the diagnosis of keratoconus, refractive surgery, and dry eye syndrome). Currently, there is no single standard for measuring eye aberrations, so it is necessary to regularly evaluate the consistency of aberrometer data to ensure the reliability of wavefront data. **Purpose:** to provide a number of technical and practical parameters that may be useful when choosing an aberrometer for daily clinical practice, as well as to evaluate and compare the general and internal aberrations measured by two aberrometers: the OPD Scan III optical media analyzer (OPD Scan, Nidek) and the ray tracing technology aberrometer (iTrace, Tracey Technology). **Patients and methods.** This study included 30 patients with 60 eyes. Total and internal aberrations were compared with pupil diameters of 3 mm and 6 mm. These parameters, along with the refraction parameters, were analyzed and supplemented with paired t-criteria. **Results.** A comparison of the two OPD Scan III and iTrace devices showed that their measurement results of total aberrations at pupil diameters of 3 mm and 6 mm are comparable. Thus, both devices can be used to study wavefront changes in children and young patients with myopia with the same degree of reliability. Differences in data on higher-order internal aberrations obtained from studies of children and young patients with myopia should be taken into account, among other things, when analyzing corneal aberrations (since they are calculated by subtracting the internal aberration index from the total eye aberration index) in these categories of patients.

Keywords: aberrometry, OPD Scan III, iTrace, wavefront aberrations

For citation: Naumova E.M., Titarenko E.M., Plisov I.L., Ivanov D.I. Wavefront Aberrations in Children and Young People with Myopia: Comparative Analysis of OPD Scan III and iTrace data. *Ophthalmology in Russia*. 2025;22(4):945–951. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2025-4-945-951>

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

There is no conflict of interests.

ВВЕДЕНИЕ

В эпоху цифровизации зрительные нагрузки у детей и молодых людей достигли беспрецедентного уровня. Активное использование гаджетов, длительная учеба, профессиональная деятельность, связанная с экранами, повышенные требования к безопасности (вождение, спорт) делают четкость и высокую остроту зрения критически важными.

Индивидуальные корригирующие аметропию средства (очки, контактные линзы), подобранные с использованием стандартных способов исследования рефракции глаза, обеспечивают высокую остроту зрения, однако современные требования пользователей оптической коррекции не всегда позволяют достичь желаемого качества зрения, на которое влияет изменение состояния волнового фронта, связанное с нарушениями аккомодации, изменением прозрачности оптических сред, состоянием глазной поверхности [1–5].

Волновой фронт глаза — это характеристика оптической системы глаза, описывающая распределение фаз световой волны после ее прохождения через роговицу, хрусталик и другие оптические среды глаза [6, 7]. В идеальной оптической системе (без aberrаций) волновой фронт имеет плоскую форму, что обеспечивает фокусировку света в одной точке на сетчатке. Однако реальная оптическая система глаза подвержена искажениям, которые определяются aberrациями — отклонениями формы волнового фронта от идеальной. Аберрации низшего порядка (миопия, гиперметропия, астигматизм) корректируются стандартными очками, контактными линзами, рефракционными операциями. Аберрации высшего порядка (сферическая aberrация, кома, трефойл) требуют индивидуального подхода (адаптивная оптика, персонализированные линзы, лазерная коррекция с aberrометрическим сопровождением). Выявление и устранение скрытых aberrаций позволяют улучшить контрастную чувствительность

Е.М. Наумова, Е.М. Титаренко, И.Л. Плисов, Д.И. Иванов

Контактная информация: Наумова Екатерина Михайловна naumova100@inbox.ru

Аберрации волнового фронта у детей и лиц молодого возраста с миопией: сравнительный анализ...

и ночное зрение. Подбор оптической коррекции с учетом данных аберрометрии детям с прогрессирующей миопией на этапе активного рефрактогенеза может быть частью концепции стратегического контроля миопии.

Современные аберрометры и анализаторы оптических сред глаза объединяют в себе рефрактометр и роговичный топограф с аберрометром, тем самым обеспечивая уникальный результат, позволяющий полноценно оценить объективную рефракцию, данные топографических карт роговицы и состояние волнового фронта глаза. Аберрометрия в течение последних десятилетий широко применяется в оптометрии и многих областях офтальмологии (для диагностики кератоконуса, в рефракционной хирургии, а также при синдроме сухого глаза) [8–10]. Закономерно возникает вопрос о сопоставимости получаемых данных при использовании различных приборов, анализирующих изменения волнового фронта глаза с применением различных методов определения аберраций. Создание практического сравнения доступных устройств представляет собой непростую задачу из-за разнообразия используемых принципов, таких как трассировка лучей, Hartmann-Shack, Tscherning и автоматическая ретиноскопия [11, 12].

В настоящее время отсутствует единый стандарт для измерения аберраций глаза, поэтому необходимо регулярно оценивать согласованность данных аберрометров, чтобы обеспечить надежность данных о волновом фронте.

В этой статье представлен анализ двух аберрометров (iTrace, Tracey Technology и анализатор оптических сред глаза OPD Scan III, Nidek), их возможный выбор и применение в повседневной клинической практике у пациентов молодого возраста и детей.

Цель: предоставить ряд технических и практических параметров, которые могут быть полезны при выборе аберрометра для ежедневной клинической практики, а также оценить и сравнить общие и внутренние аберрации, измеренные двумя аберрометрами: анализатором оптических сред глаза OPD Scan III (OPD Scan, Nidek) и аберрометром с технологией трассировки лучей (iTrace, Tracey Technology).

ПАЦИЕНТЫ И МЕТОДЫ

В это исследование были включены 60 глаз 30 пациентов. Возраст пациентов составил от 10 до 30 лет (средний возраст $18,3 \pm 6,8$ года). Миопия 1 степени — 8 пациентов (26,7 %), миопия 2 степени — 19 пациентов (63,3 %), миопия 3 степени — 3 пациента (10 %), среди них 15 пациентов мужского (50 %), 15 — женского пола (50 %). Критериями невключения явились предшествующие глазные операции, использование контактной коррекции последние 4 недели. Острота зрения с максимальной коррекцией у всех пациентов составила 1,0. Анализ волнового фронта проводился с использованием

аберрометров OPD Scan III (Nidek, Япония) и iTrace (Trace Inc., США) в темной комнате при максимальном медикаментозном мидриазе. OPD Scan и iTrace позволяют пользователю определять размер зрачка, при котором должны измеряться аберрации.

Общие и внутренние аберрации измерены каждым прибором при диаметре зрачка 3,0 и 6,0 мм. Эти размеры зрачка были выбраны для представления мезоптических и фотоптических условий соответственно. При каждом диаметре зрачка измерялись общие среднеквадратичные аберрации высокого порядка, трефоид (Z^{-3}_3, Z^3_3), кома (Z^{-1}_3, Z^1_3), астигматизм (Z^{-2}_4, Z^2_4), сферические аберрации (Z^0_4). Поскольку волновой фронт часто выражают через многочлены Цернике, выбор этих многочленов легко использовать для сравнения. Сканирование приборами OPD Scan III и iTrace позволяет определить размер зрачка, при котором измерены аберрации. Мы использовали фиксированные размеры зрачка 3,0 и 6,0 мм. Проведено прямое статистическое сравнение параметров с использованием парного *t*-критерия.

При анализе этих двух приборов в контексте педиатрической офтальмологии важно учитывать ряд специфических факторов. Во-первых, необходимо оценить, насколько легко и быстро можно получить точные измерения у детей, учитывая их меньшую терпимость к длительным процедурам и необходимость медикаментозной циклоплегии. Важно также оценить точность и воспроизводимость результатов, полученных у детей, принимая во внимание такие особенности, как меньший размер зрачка и нестабильная фиксация взгляда.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты измерения рефракции при разных диаметрах зрачка (3 и 6 мм) на аберрометрах OPD-Scan III (Nidek) и iTrace (Tracey Technologies) в группе исследования имели сопоставимые значения (рис. 1).

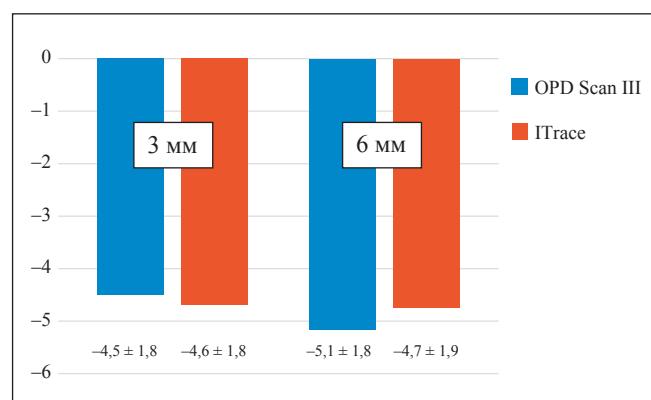


Рис. 1. Среднее значение рефракции в группе исследования при диаметре зрачка 3 и 6 мм

Fig. 1. The average refraction value in the study group with a pupil diameter of 3 and 6 mm

E.M. Naumova, E.M. Titarenko, I.L. Plisov, D.I. Ivanov

Contact information: Naumova Catherine M. naumova100@inbox.ru

947

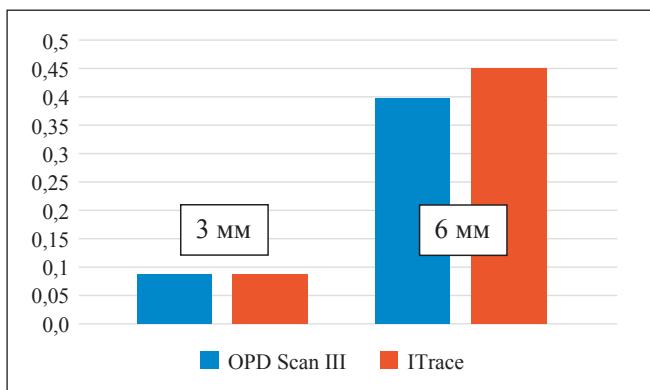


Рис. 2. Среднеквадратичные значения общих аберраций высшего порядка волнового фронта.

Fig. 2. RMS values of the total higher-order aberrations of the wave-front.

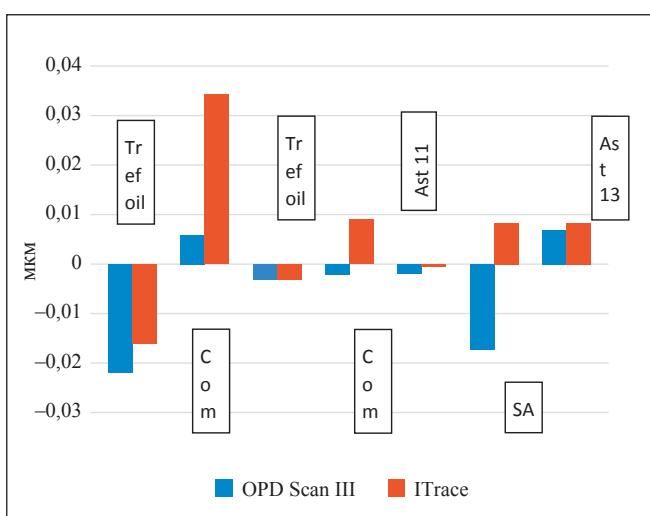


Рис. 3. Внутренние аберрации при диаметре зрачка 3 мм

Fig. 3. Internal aberrations with a pupil diameter of 3 mm

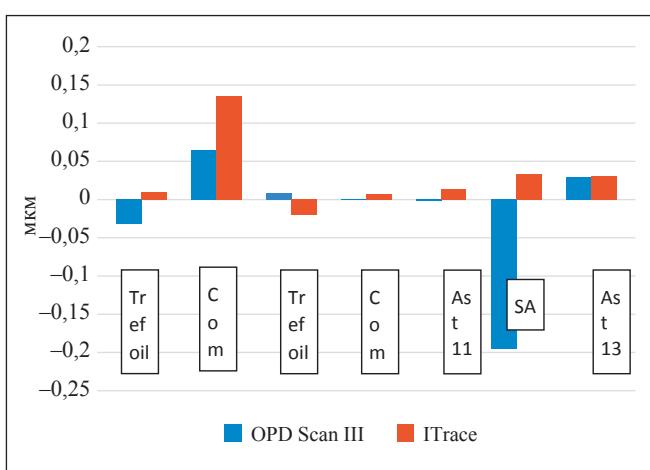


Рис. 4. Внутренние аберрации при диаметре зрачка 6 мм

Fig. 4. Internal aberrations with a pupil diameter of 6 mm

При диаметре зрачка 3,0 и 6,0 мм среднеквадратичные значения общих аберраций высшего порядка всего глаза дали аналогичные коэффициенты вариации для двух аберрометров. (рис. 2). Аберрометрический анализ, проведенный с применением приборов OPD Scan и iTrace, показал, что среднеквадратичное значение аберраций высшего порядка (RMS HOAs) при диаметре зрачка 3 мм составило 0,08 мкм. При расширении зрачка до 6 мм значения RMS HOAs, полученные на OPD Scan и iTrace, составили 0,40 и 0,45 мкм соответственно.

При сравнении внутренних оптических аберраций при размере зрачка 3,0 мм кома (Z^{-1}_3) ($p = 0,01$), трефоил (Z^3_3) ($p < 0,001$) и сферические аберрации (Z^0_4) ($p < 0,001$) показали достоверные различия между iTrace и OPD Scan, как показано на рисунке 3. При размере зрачка 6,0 мм оба прибора показали, что аберрации имеют значимые различия для сферических аберраций (Z^0_4) ($p = 0,01$) и комы (Z^{-1}_3) ($p < 0,001$) (рис. 4).

ОБСУЖДЕНИЕ

Для успешного применения технологии волнового фронта в клинической практике необходимо точно измерять и интерпретировать аберрации высшего порядка. В настоящем исследовании сравнивали аберрации высшего порядка, измеренные двумя доступными клиническими аберрометрами. Результаты показали значительную разницу в данных аберраций высшего порядка между аберрометрами. Отсутствует золотой стандарт для измерения аберраций высшего порядка, и невозможно делать выводы относительно точности данных уровня аберраций от двух устройств. Фактически, одинаковые значения коэффициента вариации двух аберрометров позволяли предположить, что устройства имеют сопоставимые вариации измерения.

На первый взгляд может показаться, что iTrace от Tracey Technologies и OPD Scan III от NIDEK имеют схожие характеристики. Оба устройства предлагают одинаковый набор инструментов: авторефрактометр, пупиллометр, кератометр, аберрометр волнового фронта и топограф роговицы. Оба устройства определяют внутренние аберрации с помощью вычета роговичных аберраций из общих аберраций волнового фронта. Возникает вопрос: как определить, какой аберрометр лучше подходит для практики, iTrace или OPD Scan III?

Метод трассировки лучей — это последовательный двухэтапный процесс, использующий прямую проекцию, который может быть реализован как объективно, так и субъективно и заключается в том, что узкий лазерный луч направляется в глаз параллельно линии зрения с помощью XY-сканера. Аберрации в той точке, куда попадает луч, вызывают смещение изображения на сетчатке относительно определенной точки отсчета. Это изображение сетчатки через систему зеркал и линз фиксируется линейным массивом фотодетекторов для дальнейшей обработки. XY-сканер, состоящий из двух независимых сканеров для горизонтального (X) и вертикального (Y)

Е.М. Наумова, Е.М. Титаренко, И.Л. Плисов, Д.И. Иванов

Контактная информация: Наумова Екатерина Михайловна naumova100@inbox.ru

Аберрации волнового фронта у детей и лиц молодого возраста с миопией: сравнительный анализ...

направлений, многократно перемещает луч, сканируя всю область зрачка и обеспечивая равномерное распределение измерений [13]. Простота метода делает его надежным даже при наличии выраженных аберраций. Однако для получения данных с использованием аберрометра iTrace требуется квалифицированный специалист, поскольку для измерения общих аберраций и аберраций роговицы необходимо выполнение отдельных сканирований, которые увеличивают общее время обследования пациента. Это может быть особенно проблематично при работе с детьми, которые, как правило, менее терпеливы и могут быть менее склонны к сотрудничеству во время длительных процедур, а также способно увеличить риск ошибок, связанных с движением пациента или изменениями аккомодации между сканированиями. Это может повлиять на точность и воспроизводимость результатов.

Ключевым фактором является чувствительность прибора к аккомодации. iTrace, основанный на принципе трассировки лучей (рис. 5), может быть менее подвержен влиянию аккомодации, чем OPD Scan III. Это является значительным преимуществом при обследовании детей, у которых могут иметь место различные нарушения аккомодации, причем как в сторону усиления тонуса, так и в сторону лабильных состояний и слабости. В свою очередь, стандартная процедура офтальмологического обследования детей с миопией на фоне циклоплегии является удобным сопутствующим преимуществом при применении аберрометра OPD Scan III.

Автоматический ретиноскоп — это автоматизированная версия ручного ретиноскопа, работающая объективно, последовательно и в два этапа. Прибор использует принцип фокусного смещения, основанный на следующем наблюдении: изображение светового луча на сетчатке, идущего сверху, находится ниже оптической оси в глазу с миопией и выше оптической оси в глазу с гиперметропией (рис. 6) [13, 14].

Поскольку сетчатку можно рассматривать как сферически вогнутое зеркало (отражающее около 4 % падающего света), в глазу с близорукостью луч отражается обратно примерно в том же направлении, откуда пришел. Однако в глазу с дальнозоркостью отражение направлено в противоположную сторону зрачка.

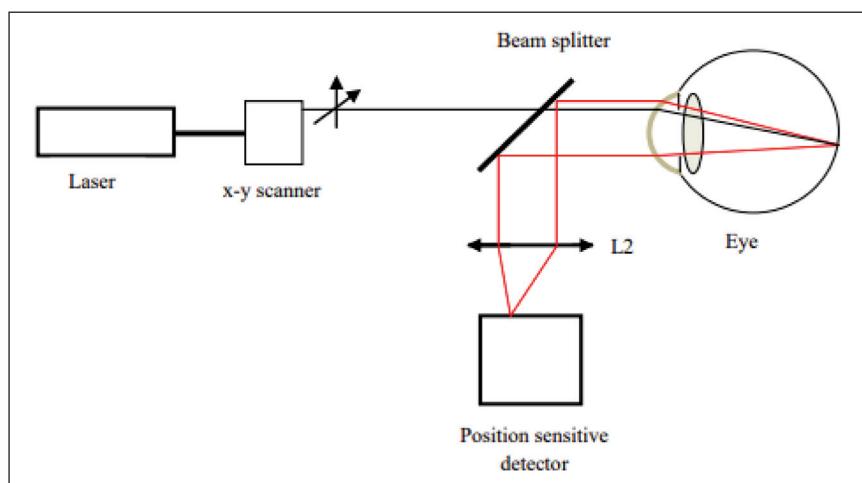


Рис. 5. Принцип трассировки лучей

Fig. 5. Ray tracing principle

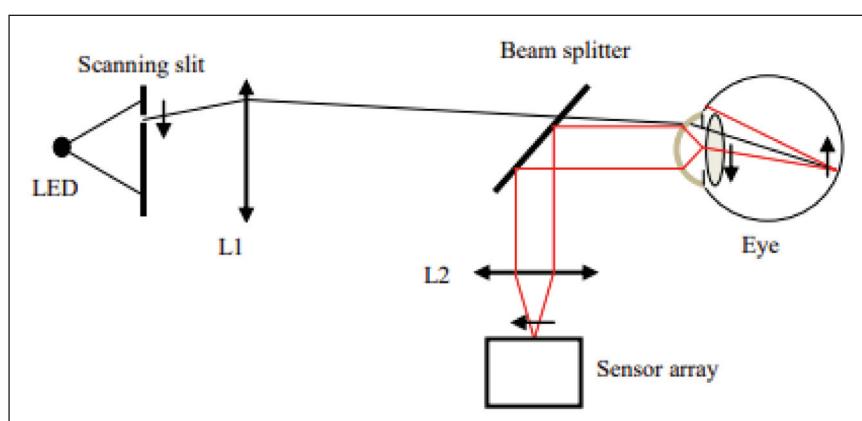


Рис. 6. Принцип работы автоматического ретиноскопа

Fig. 6. Operating principle of an automatic retinoscope

При перемещении падающего луча вдоль определенного меридиана зрачка отраженный луч будет двигаться либо в том же, либо в противоположном направлении. Разница в направлении и соотношение между скоростью падающего луча и скоростью его отражения используются для оценки рефракции глаза вдоль этого меридиана. В контексте сравнения OPD Scan III может предоставить данные об общей аберрометрии и аберрометрии роговицы за одно сканирование, что является значительным преимуществом, особенно в педиатрической практике, где скорость и простота использования имеют первостепенное значение.

Прогресс в области анализа волнового фронта, измерения светорассеяния и адаптивной оптики способствует углубленному изучению индивидуальных характеристик и аберраций оптической системы глаза. Методики оценки аберраций передней поверхности роговицы и глаза в целом, а также измерения светорассеяния и контрастной чувствительности могут служить

ценным инструментом для информирования пациентов об особенностях их зрительной дисфункции, а также потенциально полезны для принятия решений о терапевтическом или хирургическом вмешательстве.

Клиническая доступность измерения aberrаций высшего порядка волнового фронта открывает перспективы достижения сверхнормального зрения посредством их коррекции. В связи с этим актуальным является получение фундаментальных данных о диапазоне aberrаций в нормальной популяции и воспроизводимости измерений [15, 16]. Важно также знать, существуют ли нормативные данные по aberrациям для детей, полученные с помощью этих aberrометров, и как интерпретировать результаты у детей по сравнению с нормативными данными для взрослых. В исследовании состояния и динамики волнового фронта глаза у детей с различной рефракцией на фоне регулярных занятий спортом Е.П. Тарутта и соавт. (2019) получили нормативы общих aberrаций, которые были опубликованы в другом исследовании авторов [23]. Так, общий уровень aberrаций (RMS HOAs) составил $0,179 \pm 0,100$, вертикальный тилт — $0,008 \pm 0,030$, горизонтальный тилт — $0,031 \pm 0,290$, вертикальная кома — $0,0014 \pm 0,0200$, горизонтальная кома — $0,00015$, вертикальный трефойл — $0,027 \pm 0,050$, горизонтальный трефойл — $0,024 \pm 0,260$, сферическая aberrация — $0,02 \pm 0,14$. Однако группа исследования включала детей с аметропией и нарушениями аккомодации, что может несколько мешать расчету среднего условного норматива, так как сферическая aberrация, например, при миопии имеет отрицательные значения, а при гиперметропии — положительные, высокий уровень одних роговичных aberrаций может компенсироваться другими внутренними aberrациями, поэтому нормативные показатели для широкой группы исследуемых достаточно проблематично рассчитать.

В ходе сравнения двух aberrометров, основанных на различных принципах работы, выявлены расхождения в результатах измерения aberrаций волнового фронта при заданном размере зрачка. Следует учитывать, что используемые приборами алгоритмы расчета aberrаций, основанные на указанном исследователем размере зрачка, могут не отражать реальный уровень aberrаций в режиме реального времени [17, 18]. Представленные результаты отражают различия в методах сбора и обработки данных, применяемых каждым из устройств.

Cade и соавт. (2013) и Won и соавт. (2008) сравнили четыре и два aberrометра соответственно и описали глобально схожие результаты среди сравниваемых устройств.

Проведенное сравнение двух aberrометров, основанных на различных принципах работы, выявило сопоставимость результатов измерения общих aberrаций, что позволяет рассматривать оба прибора как потенциально пригодные для клинической практики. Однако следует учитывать расхождения в данных по внутренним

аберрациям, обусловленные различиями в алгоритмах сбора и обработки данных, особенно при анализе сложных клинических случаев, требующих высокой точности оценки внутренних aberrаций. Поскольку не существует золотого стандарта для измерения aberrаций, мы не можем сделать никаких выводов относительно точности данных, полученных с двух устройств. Фактически схожие значения коэффициента вариации двух aberrометров предполагают, что устройства имели сопоставимые вариации измерений. Дальнейшие исследования, направленные на стандартизацию методов измерения и обработки данных, представляются необходимыми для повышения сопоставимости результатов, полученных с использованием различных aberrометров [19–22].

При оценке iTrace и OPD Scan III для применения в детской офтальмологии ключевыми моментами являются удобство и скорость измерений, насколько легко и быстро удается получить достоверные данные у детей, учитывая их ограниченное терпение и возможную необходимость использования капель для расширения зрачка (циклоглазии), точность и стабильность результатов, учитывая особенности детского глаза и сложность удержания взгляда.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнительный анализ данных, полученных с помощью приборов OPD Scan III и iTrace, выявил сопоставимость результатов измерения общих aberrаций при диаметре зрачка 3 и 6 мм. Отсутствие статистически значимых различий между показателями указывает на то, что оба прибора могут быть использованы для исследования волнового фронта у детей и молодых пациентов с миопией с эквивалентной степенью достоверности. Следует учитывать расхождения в данных по внутренним aberrациям высшего порядка, полученные при исследовании детей и молодых пациентов с миопией, при анализе роговичных aberrаций, поскольку последние рассчитываются путем вычитания показателя внутренних aberrаций из общего показателя aberrаций глаза. В контексте оценки aberrаций зрительной системы у детей и молодых пациентов OPD Scan III демонстрирует преимущества в отношении удобства использования и информативности получаемых данных. Данное утверждение требует дальнейшей валидации посредством сравнительных исследований с использованием других aberrометров и с акцентом на объективные критерии, такие как длительность проведения обследования, частота успешных измерений, воспроизводимость результатов и клиническая значимость полученной информации.

УЧАСТИЕ АВТОРОВ:

Плисов И.Л. — редактирование, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации;

Иванов Д.И. — редактирование, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации;

Наумова Е.М. — анализ и обработка материала, редактирование;

Титаренко Е.М. — концепция и дизайн работы, сбор, анализ и обработка материала, статистическая обработка материала, написание текста.

Е.М. Наумова, Е.М. Титаренко, И.Л. Плисов, Д.И. Иванов

Контактная информация: Наумова Екатерина Михайловна naumova100@inbox.ru

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Wang L, Koch DD. Ocular higher-order aberrations in individuals screened for refractive surgery. *J Cataract Refract Surg* 2003;29:1896–1903.
2. Gifford P, Swarbrick HA. Repeatability of internal aberrometry with a new simultaneous capture aberrometer/corneal topographer. *Optom Vis Sci*. 2012 Jun;89(6):929–938. doi: 10.1097/OPX.0b013e31825017c4.
3. Zadok D, Levy Y, Segal O, Barkana Y, Morad Y, Avni I. Ocular higher-order aberrations in myopia and skiascopic wavefront repeatability. *J Cataract Refract Surg*. 2005 Jun;31(6):1128–1132. doi: 10.1016/j.jcrs.2004.10.075.
4. Kozhaya K, Mehnana CJ, Asroui L, Bejjani R, Arba-Mosquera S, Mousa HM, Al-Uloom SB, Awad ST. Non-corneal Intraocular Higher Order Aberrations in Eyes With Keratoconus Versus Normal Myopic Eyes. *J Refract Surg*. 2025 Mar;41(3):e189–e198. doi: 10.3928/1081597X-20250103-02.
5. Courville CB, Smolek MK, Klyce SD. Contribution of the ocular surface to visual optics. *Exp Eye Res*. 2004 Mar;78(3):417–425. doi: 10.1016/j.exer.2003.10.012.
6. Charman WN. Wavefront aberration of the eye: a review. *Optometry & Vision Science* 1991;68:574–583. doi: 10.1097/00006324-199108000-00002.
7. Thibos LN, Hong X, Bradley A, Cheng X. Statistical variation of aberration structure and image quality in a normal population of healthy eyes. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis* 2002;19:2329–2348. doi: 10.1364/josaa.19.002329.
8. Cheng X, Himebaugh NL, Kollbaum PS et al. Test-retest reliability of clinical Shack-Hartmann measurements. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2004;45:351–360. doi: 10.1167/iovs.03-0265.
9. Chen Y, Xia X. Comparison of the Orbscan II topographer and the iTrace aberrometer for the measurements of keratometry and corneal diameter in myopic patients. *BMC Ophthalmol*. 2016 Mar 31;16:33. doi: 10.1186/s12886-016-0210-8.
10. Mirshahi A, Buhren J, Gerhardt D, Kohnen T. In vivo and in vitro repeatability of Hartmann-Shack aberrometry. *J Cataract Refract Surg* 2003;29:2295–2301. doi: 10.1016/s0886-3350(03)00655-2.
11. Rozema JJ, Van Dyk DE, Tassignon MJ. Clinical comparison of 6 aberrometers Part 2: Statistical comparison in a test group. *J Cataract Refract Surg* 2006;32:33–44. doi: 10.1016/j.jcrs.2004.11.052.
12. Liang CL, Juo SH, Chang CJ. Comparison of higher-order wavefront aberrations with 3 aberrometers. *J Cataract Refract Surg* 2005;31:2153–156. doi: 10.1016/j.jcrs.2005.04.040.
13. Won JB, Kim SW, Kim EK, Ha BJ, Kim TI. Comparison of internal and total optical aberrations for 2 aberrometers: iTrace and OPD scan. *Korean J Ophthalmol*. 2008 Dec;22(4):210–213. doi: 10.3341/kjo.2008.22.4.210.
14. Liu RJ, Ma BK, Gao YF, Liu YY, Qi H. Evaluations of wavefront aberrations and corneal surface regularity in dry eye patients measured with OPD Scan III. *Int J Ophthalmol* 2022; 15(3):407–412. doi: 10.18240/ijo.2022.03.06.
15. Yue X, Yang Y, Chen S, Dai H. Statistical optimal parameters obtained by using clinical human ocular aberrations for high-precision aberration measurement. *Int Ophthalmol*. 2024 Jun; 28(4):292. doi: 10.1007/s10792-024-03176-9.
16. Gomes J, Sapkota K, Franco S. Central and peripheral ocular high-order aberrations and their relationship with accommodation and refractive error — a review. *Vision*. 2023;7:19. https://doi.org/10.3390/vision7010019.
17. Nguyen MT, Berntsen DA. Aberrometry Repeatability and Agreement with Autorefraction. *Optom Vis Sci*. 2017 Sep;94(9):886–893. doi: 10.1097/OPX.0000000000001107.
18. Gupta V, Bari A, Anjum S, Yadav A, Saxena R, Sinha R. Quantifying natural higher order aberration(s) in emmetropic human eyes and objectively evaluating retinal image quality. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2025 May;45(3):769–778. doi: 10.1111/op.13456.
19. Cade F, Cruzat A, Paschalas EI, Espírito Santo L, Pineda R. Analysis of four aberrometers for evaluating lower and higher order aberrations. *PLoS One*. 2013;8(1):e54990. doi: 10.1371/journal.pone.0054990.
20. Unterhorst HA, Rubin A. Ocular aberrations and wavefront aberrometry: a review. *Afr Vision Eye Health*. 2015;74:21. https://doi.org/10.4102/aveh.v74i1.21.
21. Brown CE, Waring GO 4th, Rocha KM. Redefining vision assessment. *Curr Opin Ophthalmol*. 2020;31:225–233. doi: 10.1097/ICU.0000000000000664.
22. Ao MX, Zhang Y, Wang YQ, Zhao JX, Hu FR, Mandan DTY, Chen YG. [Analysis of peripheral retinal defocus and wavefront aberrations in children with unilateral myopic anisometropia]. *Zhonghua Yan Ke Za Zhi*. 2025 May 11;61(5):367–375. Chinese. doi: 10.3760/cma.j.cn112142-20241010-00442.
23. Тарута ЭП, Катаргина ЛА, Арутюнян СГ, Егиан НС, Тарасова НА, Круглова ТБ. Аберрации волнового фронта при синдроме Марфана в динамике после рефракционной хирургии. *Российская педиатрическая офтальмология*. 2025;20(1):14–19. doi: 10/17816/трoj643132.
24. Tarutina EP, Katargina LA, Harutunyan SG, Egian NS, Tarasova NA, Kruglova TB. Wavefront aberrations in Marfan syndrome over time after refractive surgery. *Russian pediatric ophthalmology*. 2025;20(1):14–19. doi: 10/17816/трoj643132 EDN:GUCLSD.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Наумова Екатерина Михайловна

врач-офтальмолог, заведующая отделением охраны детского зрения,
руководитель учебного центра
<https://orcid.org/0000-0001-8022-0553>

Титаренко Елена Михайловна

врач-офтальмолог, заведующая отделом по работе с ординаторами
<https://orcid.org/0000-0001-5227-9398>

Плисов Игорь Леонидович

доктор медицинских наук, врач-офтальмохирург,
заведующий 3-м офтальмологическим отделением
<https://orcid.org/0000-0001-5120-8360>

Иванов Дмитрий Иванович

доктор медицинских наук, врач-офтальмохирург,
заведующий хирургическим отделением
<https://orcid.org/0000-0001-9777-3779>

ABOUT THE AUTHORS

Naumova Ekaterina M.

ophthalmologist, head of the Department of Pediatric Ophthalmology;
head of the Education Center
<https://orcid.org/0000-0001-8022-0553>

Titarenko Elena M.

ophthalmologist, head of the Resident Relations Department
<https://orcid.org/0000-0001-5227-9398>

Plisov Igor L.

MD, Ophthalmic surgeon, head of the 3rd Ophthalmological Department
<https://orcid.org/0000-0001-5120-8360>

Ivanov Dmitry I.

MD ophthalmosurgeon, head of the Surgical Department
<https://orcid.org/0000-0001-9777-3779>

E.M. Naumova, E.M. Titarenko, I.L. Plisov, D.I. Ivanov

Contact information: Naumova Catherine M. naumova100@inbox.ru

Wavefront Aberrations in Children and Young People with Myopia: Comparative Analysis...