

УДК 612.8

## СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЗРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

© 2008 г. С. А. Коскин\*, канд. мед. наук; Э. В. Бойко\*, доктор мед. наук;  
Ю. Е. Шелепин\*\*, доктор мед. наук

\* Военно-медицинская академия, Санкт-Петербург

\*\* Институт физиологии им. И.П. Павлова РАН, Санкт-Петербург

E-mail: koskin@mailbox.alkor.ru, boiko@mailbox.alkor.ru, yshelepin@yandex.ru

Для решения задач физиологической оптики предложена новая система субъективных методов измерения разрешающей способности (остроты зрения) на основании современных стандартов. Разработаны новые принципы построения таблиц опто типов в соответствии с современными методами иконоики. Новый набор опто типов позволяет расширить возможности определения остроты зрения: точнее измерять остроту зрения выше 1,0, точно определять остроту зрения у пациентов, находящихся на постельном режиме, а также измерять остроту зрения менее 0,1 для близи. Разработаны новые компьютерные программы с целью контрольного определения остроты зрения на основе частотно-контрастных характеристик. Обнаружена высокая корреляционная связь между показателями остроты зрения, определенными по опто типам и верхней граничной частотой частотно-контрастной характеристики.

Коды OCIS: 330.0330.

*Поступила в редакцию 27.06.2007.*

### Введение

Точные измерения остроты зрения требуются не только для подбора оптической коррекции в повседневной практике, но также в ходе врачебной экспертизы для оценки степени годности при профессиональном отборе, а также для оценки динамики зрительных функций. Острота зрения является важнейшим параметром органа зрения и необходимым критерием оценки зрительной работоспособности.

В нашей стране в распоряжении офтальмологов в настоящее время имеется большой набор тестовых таблиц, которые позволяют решать самые разнообразные задачи. Это таблицы Головина–Сивцева, Орловой, Поляка, Рожковой, Розенблюма, Овечкина, Рослякова и соавторов – “РОРБА”, Холиной, Sachsenweger [1–9]. Несмотря на обилие различных таблиц, предназначенных для визометрии, изменяется лишь общая форма построения таблицы, а принцип проведения исследования и его цели остаются прежними. В качестве тестовых знаков применяют опто типы Снеллена, Пфлюгера, кольца Ландольта, а также буквенные опто типы, основанные на национальных шрифтах [10]. В педиатрической практике получили распространение силуэтные опто типы (таблицы Орловой), а также контурные (таблицы Хюваринен) [2, 11, 12].

При исследовании остроты зрения для дали в России используют таблицы Головина–Сивцева, рассчитанные для расстояния 5,0 м и помещаемые в аппарат Рота [1, 7], а для исследования остроты зрения для близи используют текстовые таблицы [13]. Среди различных способов оценки центрального зрения визометрия с помощью тестовых таблиц получила наибольшее распространение вследствие простоты и невысокой стоимости их изготовления, достаточно высокой точности измерения, простоты расчетов угловых размеров, удобства и быстроты проведения исследования. Тем не менее, при использовании стандартных таблиц решение ряда задач затруднительно, так как врач не может осуществить точное измерение остроты зрения выше единицы, измерение остроты зрения с укороченной дистанции, измерение остроты зрения ниже одной десятой для близи. Невозможным является адекватное сравнение показателей остроты зрения для разных дистанций с целью контрольного определения остроты зрения.

Для наиболее точной оценки зрительных функций в последние годы все шире применяют пространственно-частотный подход, основанный на предъявлении испытуемому в качестве тестовых знаков решетчатых стимулов, соответствующих различным пространственным частотам [14, 15]. Однако применение этого подхода для контрольно-

го определения остроты зрения до настоящего времени недостаточно изучено.

Поэтому целью работы является создание соответствующей международным стандартам современной системы контрольного определения остроты зрения.

В работе предлагается система разработанных субъективных методов оценки остроты зрения, основанная на использовании новых тестовых таблиц, а также компьютерных методов определения остроты зрения по верхней граничной частоте.

### **Набор тестовых таблиц для определения остроты зрения**

Существуют отечественные и международные стандарты для измерения остроты зрения [16–19]. Кольца Ландольта, которые мы применили в разработанных тестовых таблицах, являются одним из лучших опто типов для создания набора тестовых таблиц. Из всего многообразия символов именно они рекомендованы современными международными стандартами. При их использовании не требуется знания алфавита, они пригодны для маленьких детей, не требуют обязательного вербального ответа. Расположение опто типов в таблицах должно быть осуществлено с учетом таких понятий иконки, как внешний и внутренний краудинг-эффекты. Выбор колец Ландольта обусловлен также тем, что они относятся к изогностичным опто типам, т. е. представляют одинаковую сложность для распознавания испытуемыми при различных ориентациях.

При использовании новых таблиц необходимо предусмотреть возможность предъявления опто типов с различных дистанций. Снелленом было предложено установить расстояние 6,0 м, Ландольтом – 5,0 м, а в современных международных стандартах не указано, с какого расстояния необходимо проводить исследование остроты зрения. Несмотря на широкую распространенность двух вариантов таблиц (“для близи” и “для дали”) имеются работы, свидетельствующие о том, что остроту зрения можно измерять и с укороченной дистанции [20]. Таким образом, для полноценной оценки остроты зрения и возможности сравнения полученных результатов в наборе тестовых таблиц должны быть представлены таблицы для дали, среднего расстояния, а также для близи.

Принятая за норму острота зрения 1,0, на самом деле является нижней границей нормы [8]. При исследовании остроты зрения у молодых здоровых испытуемых большая часть статистической выборки представлена гораздо более высокими величинами остроты зрения. При заболевании у таких пациентов иногда бывает достаточно сложно объек-

тивно оценить динамику зрительных функций. Современное развитие рефракционной хирургии, в том числе с использованием эксимерных лазеров, также требует более точного измерения остроты зрения выше 1,0. В нижних двух строках таблицы Головина–Сивцева десятичный шаг изменения величины опто типов не соблюдается и исследование остроты зрения выше 1,0 на практике проводят крайне редко. Очевидно, что при проведении статистической обработки невозможно получить кривую нормального распределения остроты зрения в соответствующей выборке.

Таким образом, первой задачей являлось создание таблицы, позволяющей с высокой точностью проводить измерение остроты зрения в диапазоне значений, превышающих 1,0, подобно тестам, предложенным ранее Г.И. Рожковой и А. Холиной [5, 8]. В этой связи нами были разработаны таблицы, построенные как на принципе арифметической прогрессии, так и геометрической прогрессии, в соответствии с современными международными стандартами. Таблицы построены методом цифрового синтеза и анализа изображений (иконики). Исследование рекомендуется проводить на расстоянии 5,0 м в стандартных условиях. Тестовые таблицы имеют размер листа формата А-4 и легко устанавливаются в стандартный аппарат Рота. В каждой строке размещено одинаковое количество символов, что позволяет уравнивать вероятность случайных правильных ответов испытуемого. Слева от каждой строки указана острота зрения при исследовании с расстояния 5,0 м и с укороченной дистанции (2,5 м). Справа от каждой строки указано расстояние, с которого детали опто типов видны под углом в 1' по аналогии с таблицами Головина–Сивцева. Изменяя расстояние при проведении исследования данную таблицу можно использовать как контрольный способ измерения остроты зрения в диапазоне от 0,5 до 3,0. Проведенные нами клинические испытания данной таблицы показали высокую точность и повторяемость результатов исследования.

Следующей нерешенной задачей является проведение исследования остроты зрения с укороченной дистанции (например, у пациентов с постельным режимом). Применение для этих целей таблиц для близи неприемлемо, так как требует учета не только рефракции пациента, но и его возраста и, соответственно, состояния аккомодации. Для исследования остроты зрения с укороченной дистанции была разработана таблица, рассчитанная на предъявление с расстояния 1,5 м. В данной таблице в качестве тестовых знаков также использованы кольца Ландольта. Исследование с расстояния 1,5 м подразумевает минимальное влияние аккомодации на результаты исследования [21]. Кроме того, дан-

ное расстояние приблизительно соответствует ширине вытянутых в стороны рук человека среднего роста, что позволяет использовать таблицу как скрининговый метод при отсутствии линейки, позволяющей точно измерить расстояние. Для максимального продления срока службы таблицы ламинируют, что не ухудшает результаты проводимых измерений.

При проведении традиционной визометрии с помощью тестовых таблиц совершенно неохваченным оказался диапазон остроты зрения от 0,1 и ниже для близи. Известный всем текст “Плоты плыли дальше...”, напечатанный самым крупным шрифтом, соответствует остроте зрения для близи 0,1. Измерение остроты зрения для близи ниже 0,1 (например, 0,05) и сравнение с контрольной целью с остротой зрения для дали, полученной при использовании “Оптитипов Б.Л. Поляка для измерения остроты зрения ниже 0,1”, невозможно. Разработанная нами тестовая таблица, рассчитанная для расстояния 0,33 м, позволяет провести визометрию для близи при остроте зрения ниже 0,1 с точностью измерения до 0,01 и может быть использована в экспертных целях (рис. 1). Измерение остроты зрения для близи в диапазоне от 0,1 до 1,0 с помощью тех

же оптитипов, что и для дали, обеспечивает другая таблица, составленная также из оптитипов в виде колец Ландольта.

Таким образом, создать единую таблицу для визометрии, которая бы позволила провести исследование в широком диапазоне показателей остроты зрения с различных расстояний, невозможно. Для практического применения необходимо иметь набор таблиц, дополняющий стандартную методику проведения визометрии и соответствующий современным международным стандартам.

### Определение остроты зрения по верхней граничной частоте

Для определения верхней граничной частоты как контрольного метода измерения остроты зрения нами была разработана компьютерная программа на основе решетчатых стимулов, имеющих синусоидальный профиль оптической плотности. С позиций иконики подобные тестовые стимулы являются оптимальными для исследования зрительной системы с применением пространственно-частотного подхода. Решетчатые стимулы, имеющие максимальный контраст, предъявляли на мониторе компьютера в двух ориентациях (вертикальной и горизонтальной) в случайном порядке. При исследовании контраст решетчатых стимулов был неизменным (1,0), а пространственная частота решетки плавно изменялась от высоких частот (40 цикл/град) к низким (до 0,4 цикл/град). Испытуемых располагали на расстоянии 3 м от монитора и предлагали нажать на кнопку в момент различения ориентации полос на экране монитора (при достижении стимулами определенной пространственной частоты). Результаты исследования регистрировали в циклах на градус отдельно для полос вертикальной и горизонтальной ориентаций. Значение верхней граничной частоты в цикл/град, измеренное с помощью данного метода, сопоставляли с остротой зрения, измеренной по оптитипам Ландольта с помощью таблиц Головина–Сивцева либо с помощью таблиц для остроты зрения выше 1,0.

Для проверки связи показателей остроты зрения с результатами измерения верхней граничной частоты исследование проводили в условиях клиники на 40 испытуемых (79 глаз), имеющих различную остроту зрения (от 0,02 до 2,0) и возраст (в диапазоне от 16 до 80 лет, в среднем – 31 год). В группу испытуемых были включены здоровые лица, а также пациенты с заболеваниями органа зрения, приводящими к снижению остроты зрения для дали (катаракта, макулодистрофия и т. д.). У всех испытуемых признаки симуляции или аггравации были исключены. Исследование остроты зрения и опре-

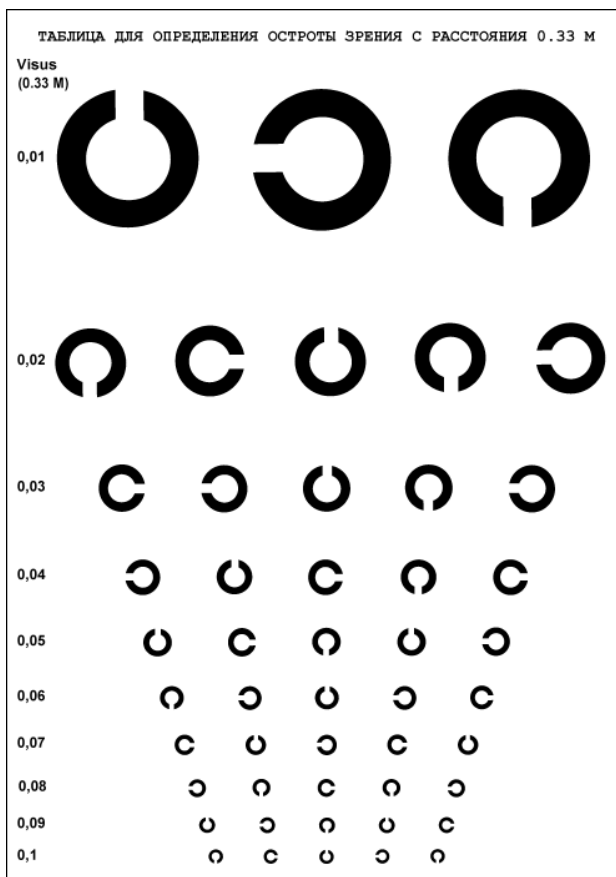


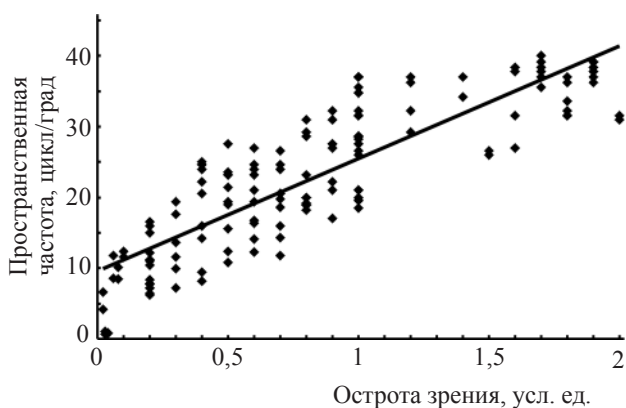
Рис. 1. Тестовая таблица для определения остроты зрения для близи в диапазоне от 0,01 до 0,1 (формат А4).

деление верхней граничной частоты проводили с оптимальной очковой коррекцией после предварительно проведенной рефрактометрии, пациенты с астигматизмом степенью более 0,5 дптр в исследовании не принимали участия.

По результатам исследования среднее значение остроты зрения в группе испытуемых составило  $0,88 \pm 0,07$ , а средняя верхняя граничная частота  $23,43 \pm 1,18$  цикл/град. При делении среднего значения верхней граничной частоты на среднее значение остроты зрения получаем соотношение между этими величинами, равное 27.

Результаты исследования представлены на рис. 2. Статистический анализ показал наличие сильной статистически значимой корреляционной связи между показателями остроты зрения по таблицам с кольцами Ландольта и верхней граничной частотой, полученной в ходе исследования с использованием разработанной программы ( $K = 0,88$ ). Проведенный регрессионный анализ выявил высокую достоверность полученной связи и позволил получить уравнения регрессии, позволяющие по верхней граничной частоте рассчитывать ориентировочную остроту зрения и, наоборот, по имеющимся показателям традиционной визометрии предсказать верхнюю граничную частоту.

При использовании штрих-мир с прямоугольным профилем оптической плотности остроте зрения  $1,0$  соответствует угловая величина, равная  $1'$ , или пространственная частота  $30$  цикл/град. Например, для штрих-миры с углом между черными полосками  $2'$ , предназначенной для измерения остроты зрения  $0,5$  пространственная частота будет составлять  $15$  цикл/град. Результат проведенного нами исследования позволил определить отношение между значениями верхней граничной частоты решетчатых стимулов,

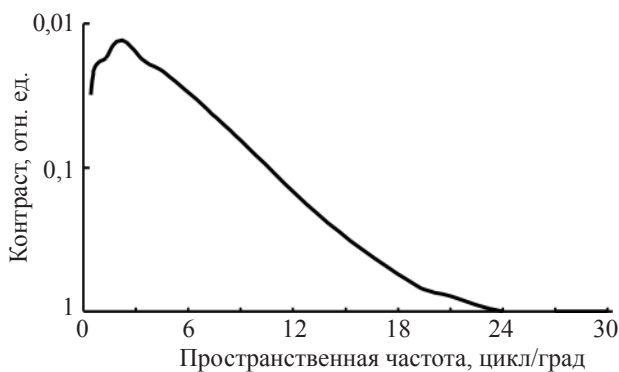


**Рис. 2.** Зависимость показателей верхней граничной частоты от остроты зрения.

имеющих синусоидальный профиль оптической плотности и остроты зрения, которое составило 27, что практически совпадает с соответствующим отношением для решеток, имеющих прямоугольный профиль оптической плотности и равным 30. Таким образом, можно сделать вывод, что при определении верхней граничной частоты можно использовать решетки как с синусоидальным, так и с прямоугольным профилем оптической плотности. Если полученные значения верхней граничной частоты разделить на коэффициент 30, то можно получить расчетную или ожидаемую остроту зрения в условных единицах. Так, например, если у пациента верхняя граничная частота составила 18 цикл/град, то острота зрения должна составлять 0,6. Таким образом, в практике врачебной экспертизы можно подтвердить величину остроты зрения, полученную при использовании тестовых таблиц, или, наоборот, подвергнуть сомнению при несовпадении показателей остроты зрения в циклах на градус с показателями остроты зрения в относительных единицах.

Несмотря на то что изменение пространственной частоты предъявляемых стимулов происходило достаточно плавно, на результаты исследования, по-видимому, оказывал влияние временной фактор, или время простой сенсомоторной реакции, что в некоторых наблюдениях явилось причиной незначительного несовпадения данных. При проведении визометрии по таблицам пациент, как правило, имеет достаточный запас времени, чтобы определить направление разрыва в кольце Ландольта. Для принятия решения о различимости предъявляемых на мониторе полосчатых опто типов при постоянном плавном понижении пространственной частоты испытуемым требовалось разное время, а нажатие на кнопку осуществлялось только в случае уверенности испытуемого в том, что он может точно различить направленность полос. По нашим наблюдениям некоторые испытуемые с дистрофическими изменениями в центральных отделах сетчатки показывали более низкую остроту зрения по кольцам Ландольта по сравнению с расчетными данными, полученными на основе верхней граничной частоты. Можно предположить, что это свидетельствовало о достаточно высоких функциональных резервах граничащих с зонами дистрофии участков сетчатки в отдельных наблюдениях. В то же время у пациентов с нарушениями прозрачности преломляющих сред глаза значение остроты зрения по таблицам Головина–Сивцева совпадало с прогнозируемыми значениями на основе измерения верхней граничной частоты.

Результаты измерения верхней граничной частоты сравнивали с ходом кривой частотно-контрастной характеристики (ЧКХ), которую получали в ходе



**Рис. 3.** Частотно-контрастная характеристика органа зрения пациента, имеющего остроту зрения 0,7 и верхнюю граничную частоту 21 цикл/град.

проведения компьютерной визоконтрастометрии с разработанным нами программным обеспечением. Значение верхней граничной частоты достаточно точно совпадало с местом пересечения кривой ЧКХ оси абсцисс (рис. 3). Таким образом, и синтез тестовых оптоотипов для измерения остроты зрения, и их описание, и синтез тестов для визоконтрастометрии был проведен методами иконоки [22, 23]. Результаты исследования позволили сделать заключение о возможности применения методики определения верхней граничной частоты как контрольной в целях определения остроты зрения.

### Заключение

Проведенные нами исследования показали, что для точного определения остроты зрения необходимо применение комплексной системы субъективных методов измерения остроты зрения, в которую должны входить, с одной стороны, наборы тестовых таблиц, позволяющие провести визометрию в диапазоне от 0,01 до 3,0 с различных расстояний, а с другой стороны, — компьютерные методы, которые позволяют измерять верхнюю граничную (пороговую) частоту разрешающей способности глаза. При использовании разных методов можно получить наиболее точное представление о степени снижения зрительных функций.

### Выводы

1. Использование тестовых таблиц Головина-Сивцева не позволяет в полной мере провести исследование остроты зрения. Для проведения визометрии в полном объеме требуется внедрение набора таблиц, соответствующих международным стандартам.

2. Метод определения верхней граничной (пороговой) пространственной частоты обладает высокой точностью и может быть использован в целях контрольного определения остроты зрения.

3. Внедрение комплексной системы определения остроты зрения с помощью субъективных методов ее оценки на основе набора тестовых таблиц и компьютерных методов определения верхней граничной (пороговой) пространственной частоты значительно расширит возможности визометрии.

4. Рекомендовано измерение верхней граничной частоты в качестве контрольной методики в случае необходимости достоверного определения остроты зрения в экспертной практике.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Головин С.С., Сивцев Д.А. Таблицы для остроты зрения. М.: Госиздат, 3-е изд. 1927.
2. Орлова Е.М. Таблица и инструкция по методике исследования остроты зрения у детей дошкольного возраста. Институт глазных болезней им. Гельмгольца МЗ РСФСР. Методическое пособие.
3. Поляк Б.Л. Набор оптоотипов Б.Л. Поляка для исследования остроты зрения ниже 0,1. Б.м.: Мед. уч. пособие, 1959. 6 табл.
4. Поляк Б.Л. Контрольная таблица для исследования остроты зрения проф. Б.Л. Поляка: [N] 1–2. 3-е изд. Б.м.: Б.и., 1954. 2 табл.
5. Рожкова Г.И., Токарева В.С. Таблицы и тесты для оценки зрительных способностей. М.: Владос, 2001. 102 с.
6. Росляков В.А. Новые таблицы для измерения остроты зрения // Рус. офтальмол. журн. 2001. № 1. С. 36–38.
7. Сивцев Д.А. Сравнительная оценка таблиц для определения остроты зрения // Рус. офтальмол. журн. 1925. Т. 4. № 2. С. 136–158.
8. Холина А. Новая таблица для исследования остроты зрения // Рус. офтальмол. журн. 1930. Т. XI. № 1. С. 42–47.
9. Sachsenweger M. Nahsehproben und ergophtalmologische Sehtests. Leipzig: Thieme, 1982. 56 s.
10. Landolt E. L'entente sur la determination de l'acuite visuelle // Arch. d'ophth. 1909. V. 39. P. 337–350.
11. Hyvarinen L., Nasanen R., Laurinen P. New visual acuity test for preschool children // Acta Ophthalmol. 1980. V. 58. P. 507–511.
12. Becker R., Hubsch S., Graf M.H., Kaufmann H. Examination of young children with Lea symbols // Br. J. Ophthalmol. 2002. V. 86. P. 513–516.
13. Головин С.С. Демонстрация таблиц для исследования остроты зрения для близи, предложенных проф. Головиным С.С. и д-ром Сивцевым на 1-м Всероссийском съезде глазных врачей в Ленинграде 5–7 июня 1928 г. // Рус. офтальмол. журн. 1928. Т. VIII. С. 99.

14. Шелепин Ю.Е., Колесникова Л.Н., Левкович Ю.И. Визоконтрастометрия: Измерение пространственных передаточных функций зрительной системы. Л.: Наука, 1985. 103 с.
15. Шелепин Ю.Е., Бондарко В.М. Разрешающая способность и дискретизация изображений в зрительной системе // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. 2002. Т. 88. № 9. С. 1116–1132.
16. Методические указания о единообразии при исследовании остроты зрения. М., 1963. 26 с.
17. National Academy of Science. Recommended standard procedure for the clinical measurements and specification of visual acuity // *Adventures in Ophthalmology*. 1980. V. 41. P. 103–148.
18. Ophthalmic optics – Visual acuity testing – Standard optotype and its presentation. International standard, ISO 8596, First edition 1994-02-15 // Reference number ISO 8596:1994.
19. Visual Standards – Aspects and Ranges of Vision Loss Resolution Adopted by the International Council of Ophthalmology. Sydney, Australia. April 20, 2002. (1).
20. Пасечникова Н.В. Клинико-экспериментальное обоснование и разработка метода определения остроты зрения вдаль с укороченной дистанции // Автореф. дис. канд. мед. наук. Одесса, 1988. 16 с.
21. Волков В.В., Колесникова Л.Н. Аккомодация и рефракция по материалам исследования с помощью кобальтового стекла // *Офтальмол. журн.* 1973. № 3. С. 172–176.
22. Мирошников М.М., Нестерук В.Ф. Дальнейшее развитие методологических основ иконы // *Труды Государственного оптического института им. С.И. Вавилова*. Т. 64. В. 198. С. 5–11.
23. Makulov V.B., Pauk V.N. Software for image processing on personal computers // *Journal of Optical Engin.* 1992. T. 31. P. 782–788.