

УДК 612.843.11 + 612.843.15

ПЕРИМЕТРИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ГРАНИЦЫ СЛЕПОЙ ЗОНЫ НА КРАЙНЕЙ ПЕРИФЕРИИ ТЕМПОРАЛЬНОЙ СЕТЧАТКИ

© 2017 г. А. В. Белокопытов, Г. И. Рожкова

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем передачи информации им А.А. Харкевича РАН
127051 Москва, Б. Каретный пер., 19, стр. 1
E-mail: abelokopytov@iitp.ru

Поступила в редакцию 15.08.2016 г.

Для уточнения протяженности слепой зоны на крайней периферии темпоральной половины сетчатки у 16 испытуемых проведена сравнительная оценка темпоральных и назальных границ поля зрения в горизонтальной плоскости в условиях варьирования направления взора. Границы определяли при помощи стандартного периметра. В качестве тестового стимула использовали светодиод, создающий пятно белого света, мелькающее с частотой 2 Гц. Измерения проводили для обоих глаз в условиях фиксации взора на центре дуги периметра (0°) и на точках, сдвинутых в темпоральную сторону на $15\text{--}30^\circ$ для устранения экранирующего влияния носа, который загромождаёт периферическую часть назального поля зрения, что обычно имеет место при стандартном для клинических измерений направлении оси глаза 0° . В стандартных условиях измерения темпоральные и назальные границы варьировали у разных испытуемых в пределах $78\text{--}109^\circ$ и $57\text{--}70^\circ$ соответственно. При сдвиге точки фиксации в темпоральную сторону примерно у половины испытуемых не происходило расширения назального поля зрения, т.е. в темпоральной сетчатке у них обнаруживалась слепая зона, протяженность которой соответствовала разности клинических размеров темпорального и назального полей. У шести испытуемых было выявлено достоверное расширение назального поля зрения на $5\text{--}15^\circ$, т.е. выяснилось, что не вся часть сетчатки, загромождаемая носом, является у них слепой. Полученные данные указывают на правдоподобность высказанной ранее гипотезы (Brændstrup, 1948), что слепота крайней периферии темпоральной сетчатки хотя бы частично может рассматриваться как депривационная амблиопия, обусловленная окклюзией.

Ключевые слова: назальное поле зрения, слепая периферия сетчатки, индивидуальная вариабельность, амблиопия.

ВВЕДЕНИЕ

Хорошо известно, что чувствительная к свету сетчатка, содержащая фоторецепторы, выстилает всю поверхность глазного дна вплоть до цилиарного тела, где она заканчивается зубчатой линией (*ora serrata*) на расстоянии примерно 8 мм от лимба — границы радужки. Назальная и темпоральная границы сетчатки располагаются почти на одном уровне по отношению к зрачку глаза, вследствие чего можно было бы считать, что косые лучи света, симметрично входящие в глаз с назальной и темпоральной стороны, перестают попадать на фоторецепторы и вызывать световые ощущения при одинаковых углах отклонения от оси глаза, соответствующих зубчатой линии. Однако экспериментальные исследования, проведённые ещё в XIX в., выявили существенные

различия в действии света на периферические зоны назальной и темпоральной сетчатки, свидетельствующие о том, что крайнюю темпоральную сетчатку можно считать фактически слепой (Donders, 1877; Brændstrup, 1948). Этот факт схематически представлен на рис. 1, а, где соответствующий пучок лучей, попадающих на слепую зону темпоральной сетчатки, затенён серым цветом. Возможно, более узкая слепая зона имеется на крайней периферии и в других меридианах сетчатки — такие утверждения в литературе встречаются (Кравков, 1950; Ярбус, 1965, 1975), однако достоверных экспериментальных данных на этот счёт нет. Некоторое представление о границах зрячей сетчатки могут дать периметрические карты полей зрения (рис. 1, б), получаемые при клинических обследованиях, но в них обычно представлены только данные измерений в стандартных условиях,

подразумевающих фиксацию взора на центре дуги периметра, когда поле зрения неподвижного глаза существенно ограничивают анатомические “окклюдоры” – нос, щека, лоб.

Крайняя периферия сетчатки не часто служила объектом специального изучения по причине малого интереса к ней из-за её предположительно незначительной роли в зрительном процессе и значительных методических трудностей, связанных с особенностями стимуляции косыми лучами и сложным режимом функционирования системы внимания испытуемого. Немногочисленные публикации, которые нам удалось обнаружить, проанализированы в недавнем обзоре, посвящённом загадкам крайней периферии сетчатки (Рожкова и др., 2016). Сопоставление результатов, полученных разными методами воздействия на фоторецепторы (локальная световая стимуляция через зрачок, диасклеральная световая стимуляция, диасклеральное наблюдение сетчаточных изображений, точечное надавливание на склеру для наблюдения механофосфенов), позволило признать достоверность данных о разной чувствительности назальной и темпоральной периферии сетчатки и слепоте последней в смысле восприятия стимулов, использованных в конкретных экспериментах. Однако до сих пор нет данных, указывающих на то, что эта слепота – абсолютная, т.е., что действие на слепую зону сетчатки более интенсивными или динамическими стимулами также не вызовет у человека световых ощущений. Более того – даже не было проведено детальных исследований, касающихся угловых размеров слепой зоны. В частности, не было установлено, есть ли точное соответствие между границей слепой зоны в темпоральной сетчатке и реальной физиологической границей назального поля зрения, размер которого может недооцениваться из-за заслоняющего действия носа в условиях стандартного клинического обследования при фиксации взора на центре периметра. Только в работе Дондерса (Donders, 1877) нам удалось найти данные приблизительной оценки протяжённости слепой зоны по результатам изящного эксперимента в темноте с наблюдением сетчаточных изображений свечи через склеру. Перемещая свечу от центра к периферии поля зрения, Дондерс находил два критических угла: первый – при котором у испытуемого пропадал световой образ, второй – при котором экспериментатор переставал видеть изображение свечи на поверхности склеры. По разности между этими углами была получена приблизительная оценка слепой зоны, которая составила 30–40°.

Чтобы проверить эту оценку и получить представление об индивидуальной вариабельности слепой зоны, мы решили провести менее трудоёмкие простые эксперименты с периметрическим

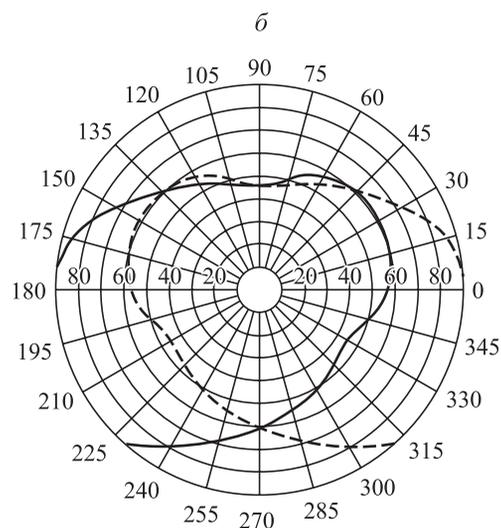
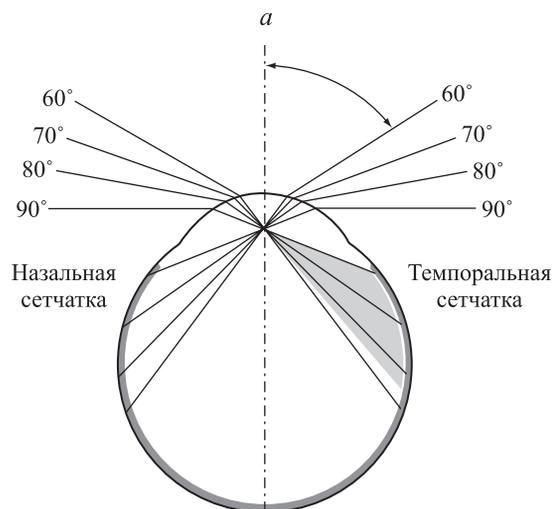


Рис 1.

a – ход косых лучей разного направления к сетчатке правого глаза; в темпоральной половине серым цветом выделен пучок лучей, попадающих на слепую сетчатку; *б* – условно нормальные границы полей зрения при фиксации взора на центральной точке: наложены поля зрения левого и правого глаз (сплошная линия и пунктир).

измерением размеров назальной и темпоральной частей поля зрения в условиях варьирования позиции точки фиксации взора на дуге периметра.

МЕТОДИКА

Использованная в экспериментах методика в основном соответствовала стандартной схеме периметрических измерений поля зрения. Небольшие модификации заключались в применении нестандартного тест-объекта и использовании нестандартных позиций глаз.

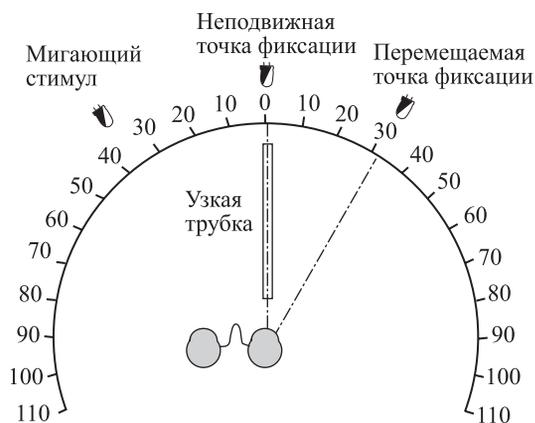


Рис. 2. Схема экспериментальной установки.

Испытуемые. В экспериментах приняли участие 16 испытуемых — сотрудников института в возрасте 26–79 лет (из них шесть женщин) с нормальной остротой зрения. Испытуемые не имели опыта периметрических измерений, и более половины из них не знали о цели эксперимента.

Аппаратура. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 2. Её основным элементом был настольный периметр Рославльцева, по конструкции аналогичный периметру Форстера (Förster, 1869). Радиус дуги периметра составлял 33 см. Металлическая дуга, исходно позволявшая проводить измерения только до угла $\pm 90^\circ$, была удлинена с каждой стороны до 110° . Для обеспечения более точной фиксации взгляда на центральной точке, по центральному радиусу периметра была установлена тонкая трубка, в которую должен был смотреть испытуемый, и на конце которой была укреплена неподвижная точка фиксации — светодиод. Внутренний диаметр трубки составлял 5 мм, её внутренняя поверхность была покрыта черной бархатной бумагой для устранения бликов. Направление трубки было отъюстировано в горизонтальной плоскости — на середину высоты периметрической дуги. На этом же уровне устанавливались боковые точки фиксации и передвигался тестовый стимул. Перемещаемая точка фиксации прикреплялась к дуге периметра прищепкой (клипсой). Для неподвижной и перемещаемой точек фиксации использовали красные светодиоды BL–L48UEC (диаметр 4.8 мм с доминантной длиной волны 630 нм и видимым углом 80° , типичная яркость 500 мкд, максимальный постоянный ток 30 ма), постоянный ток через светодиоды был равен 20 мка. В качестве тестового стимула использовали белый светодиод BL–L314UWC (диаметр 3 мм, видимый угол 30° , типичная яркость 2000 мкд, максимальный постоянный ток 20 ма), мигающий с частотой 2 Гц (мигание обеспечивалось микроконтроллером Arduino Uno), пиковое значение тока было равно

24 мка. Тестовый стимул перемещали вдоль дуги периметра на специальной тележке.

Процедура измерений. Эксперименты проводили в затемненном помещении (освещенность 10–20 лк). У каждого испытуемого исследовали поля зрения обоих глаз. Голову испытуемого фиксировали на подбороднике, входящем в комплект прибора и имеющем отдельные углубления для исследования левого и правого глаза. Аналогично методике, использованной в работе (То et al., 2011), для правильной первоначальной установки оси исследуемого глаза испытуемому предлагали позиционировать глаз так, чтобы светодиод был виден в центре трубки. Перемещаемую точку фиксации укрепляли на расстояниях 15, 20 и 30° от неподвижной центральной точки. Как это обычно делается при периметрических измерениях, для оценки границ поля зрения тест-объект передвигали по дуге периметра от центра к периферии до исчезновения видимого образа и в обратном направлении — до его появления. Процедуру повторяли несколько раз для проверки воспроизводимости ответов испытуемого. Предварительные измерения показали, что погрешность оценки границ поля зрения составляет около 1° . У некоторых испытуемых регистрировалась систематическая разница между показаниями, получаемыми для двух направлений перемещения тест-объекта (от центра и с периферии); в этих случаях в протокол заносили оба значения. Для нескольких испытуемых данные были получены многократно на протяжении полугода.

Анализ результатов. Полученные данные сопоставлялись с результатами, ожидаемыми в случае справедливости одной из двух крайних гипотез, поясняемых ниже.

На рис. 3 предсказания гипотез Н1 и Н2 представлены в графическом виде.

Гипотеза Н1: в темпоральной сетчатке имеется стабильная физиологически слепая зона, граница которой соответствует границе назального поля в стандартных условиях измерения (при фиксации центральной точки).

Предсказание: сдвиг точки фиксации в темпоральном направлении, сопровождаемый поворотом глаза, не должен оказывать влияния на величину назального поля зрения, оно не должно расширяться, так как граница стабильной физиологически слепой зоны поворачивается вместе с глазом.

Гипотеза Н2: физиологически слепой зоны в темпоральной сетчатке нет. Назальное поле зрения ограничено только окклюзией — загороживанием части темпоральной сетчатки носом.

Предсказания гипотез

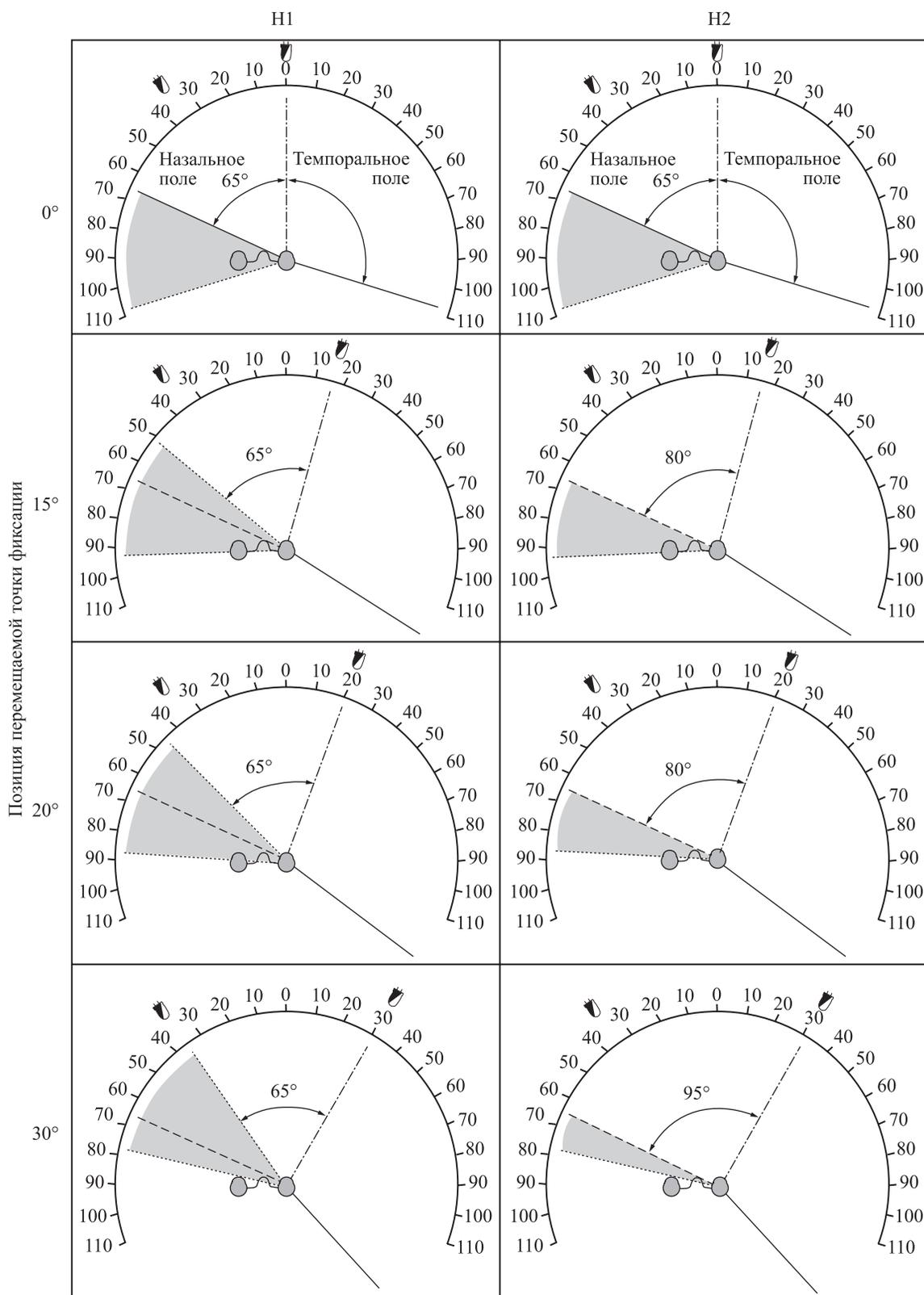


Рис. 3. Предсказания гипотез Н1 (слева) и Н2 (справа) при позициях перемещаемой точки фиксации: 0°, 15°, 20° и 30° (объяснение в тексте).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Предсказание: сдвиг точки фиксации в темпоральном направлении, сопровождаемый поворотом глаза, должен приводить к увеличению назального поля зрения соответственно степени устранения окклюзии, т.е. углу поворота глаза.

Количественные данные, полученные для разных испытуемых, существенно различались, и ни одна из проверяемых гипотез не оказалась подходящей для всех случаев. В табл. 1 представлены

Таблица 1. Результаты измерений назального и темпорального полей зрения испытуемых при различных позициях перемещаемой точки фиксации.

№	Испытуемый пол, возраст	Глаз OS – левый OD – правый	Темпоральное поле при 0°, град.	Назальное поле при положении точки фиксации, град.			
				0°	15°	20°	30°
1	ЕВС Ж, 35	OS	93	64	66	65	62
		OD	94	68	69	71	69–70
2	ГАМ Ж, 38	OS	98	67	71	68	70
		OD	86–90	64	66	60–62	62
3	БАС М, 27	OS	102	66	67	66	64
		OD	100	68	66	64	65
4	ЕИЕ М, 26	OS	112	64	67	63	65
		OD	108	66	67	68	68
5	АЕА М, 68	OS	96	69	67–68	67	69
		OD	100	65	67–68	68	66
6	ВГТ М, 69	OS	97	64	68	59	63
		OD	102	66	65	60–65	66
7	ЕАС М, 26	OS	89	63–64	65	62	63
		OD	92	65	67	66	68
8	МАГ Ж, 26	OS	104	69	68	69	70
		OD	100	66	70	70	69
9	ЕНК Ж, 25	OS	108	68–69	70–71	72	72
		OD	105–108	68–70	68–71	68–70	70
10	БАВ М, 57	OS	93	61	67	68	73
		OD	92–93	69–70	71	69	73
11	СИР Ж, 44	OS	109	68	73	76	78
		OD	108	66	75	72	74
12	ИАК М, 26	OS	102	61	63	64	66
		OD	103	56	62	61	62
13	ЛОВ М, 79	OS	99–102	65–67	64–73	66–71	69–75
		OD	88–94	57–67	70–73	68–78	70–75
14	НМТ Ж, 56	OS	78	65–67	69–76	66	72–75
		OD	86–88	61–64	63–66	66–67	72–82
15	ЛЮА М, 78	OS (ИОЛ)	95	66	70–72	65–68	58–68
		OD	85–88	65–75	80–83	80–82	88–90
16	ППН М, 73	OS	97–98	68	61–71	62–68	63–69
		OD	93–95	61–65	67	64–65	67–70

результаты измерений границ назального поля зрения у всех испытуемых при четырех положениях точки фиксации (0–30°) и границ темпорального поля зрения при центральной фиксации взора (0°). По особенностям результатов измерений испытуемых оказалось возможным разделить на три типа.

У испытуемых первого типа (№№ 1–9) показатели отличались стабильностью, и расширения назального поля зрения при сдвиге точки фиксации и повороте глаза в темпоральном направлении практически не наблюдалось: зарегистрированные изменения в сторону увеличения не превышали 3°. Таким образом, с достаточно большой уверенностью можно заключить, что данные этих испытуемых подтвердили гипотезу Н1 о существовании у них стабильной физиологически слепой зоны сетчатки, для определения границы которой достаточно провести измерения назального поля зрения при центральной фиксации взора.

У испытуемых второго типа (№№ 10–12) показатели также отличались стабильностью, но результаты достоверно свидетельствовали о расширении назального поля при изменении направления взора – границы сдвигались на 6–13°, что не может объясняться погрешностью измерений. Однако величина сдвига ни в одном случае не достигла величины угла поворота глаза. Такие результаты свидетельствуют о том, что часть зоны, считающейся слепой, определенно является зрячей, но у разных людей она составляет разные доли от окклюзионной области, определяемой по измерениям полей зрения при центральной фиксации взора.

Показатели испытуемых третьего типа (№№ 13–16), в принципе, соответствовали показателям второго типа, как будто бы свидетельствуя о достоверном расширении назального поля. Однако эти показатели характеризовались систематическими сдвигами, зависящими от направления движения тестового стимула. При этом верхняя и нижняя границы были стабильны и определялись

с достаточной точностью. Верхняя граница соответствует моменту исчезновения тестового стимула при его медленном перемещении в сторону увеличения угла, а нижняя – моменту появления при перемещении в сторону уменьшения угла. Можно было подозревать, что испытуемые немного поворачивают глаз, следя за видимым объектом, когда он движется от центра поля зрения. Однако даже если исключить значения, полученные для такого направления, и оставить данные для движения тестового стимула с периферии, где он не был виден, то полученные показатели расширения будут значимыми: 7–13°.

На рис. 4 в формате, соответствующем рис. 3, схематически представлены результаты двух испытуемых № 4 и № 11, относящихся к разным типам. Сопоставление полученных для этих испытуемых данных с предсказаниями проверяемых гипотез показывает близкое соответствие гипотезе Н1 у испытуемого № 4 и промежуточную ситуацию у испытуемой № 11.

Наконец, следует специально отметить, что не нашлось ни одного испытуемого, соответствующего гипотезе Н1, т.е. такого, у которого устранение окклюзии за счёт поворота глаза расширяло бы поле зрения на угол, равный углу поворота.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Техника периметрических измерений полей зрения хорошо отработана в медицинской практике, и в каждом солидном руководстве приводятся данные по “нормальным” или “усредненным” границам поля зрения. Однако эти данные существенно разнятся, что можно объяснить целым рядом причин (условиями измерений, особенностями обследованного контингента испытуемых, целями исследования, определяющими требования к точности оценки положения границ). В табл. 2 для примера представлены данные из нескольких руководств, полученные при использовании в качестве тест-объекта стандартного

Таблица 2. Данные некоторых авторов для границ поля зрения по разным меридианам в норме

Границы поля зрения, град.				Автор	Год
Темпоральная	Назальная	Верхняя	Нижняя		
92	62	60	72	С.В Кравков	1950
90	60	50	70	Е.И. Ковалевский	1980
90	55	55	60	Е.Е. Сомов	2005
110	60	60	75	J.R. Piltz-Seymour	2006

Испытуемые

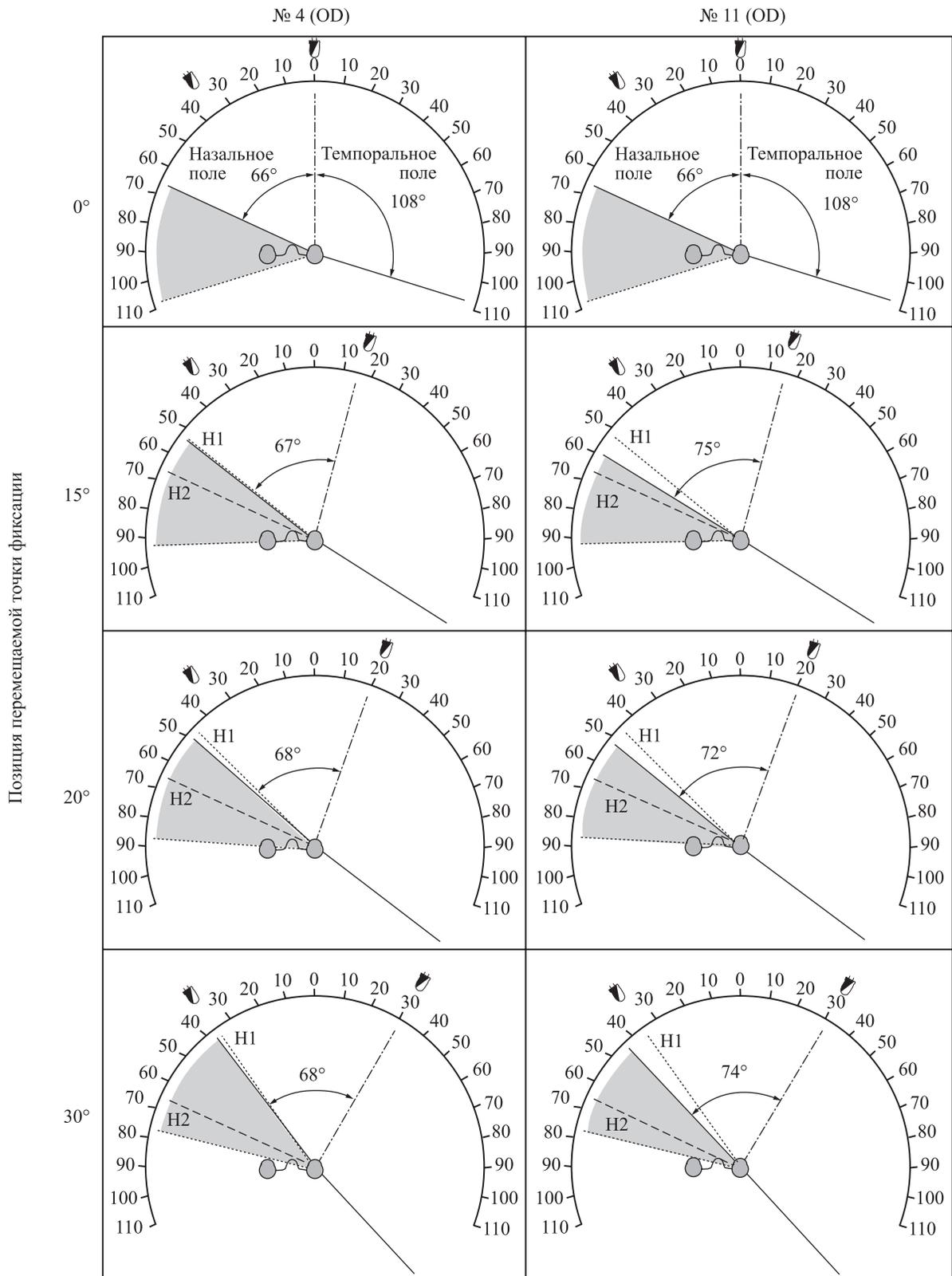


Рис. 4. Назальное поле зрения правого глаза испытуемых ЕИЕ (слева) и СИР (справа) при позициях перемещаемой точки фиксации 0, 15, 20 и 30°.

Пунктиром показано предсказание гипотезы Н1, штриховой линией – Н2.

белого шарика или диска, передвигаемого по дуге периметра.

У современных клиницистов существенное различие в протяженности темпоральной и назальной половин поля зрения не вызывает вопросов — оно воспринимается как естественное следствие того, что при фиксации взора на центральной точке дуги периметра нос мешает видеть часть назальной половины поля зрения. Однако на начальных этапах измерения полей зрения исследователи задавались вопросом: “Нормально ли функционирует та часть темпоральной сетчатки, которую обычно загороживает нос?” Хотя взор человека чаще направлен почти прямо вперед тем не менее глаза могут поворачиваться в разные стороны в пределах десятков градусов, открывая загороженные части. К сожалению, детальных публикаций на эту тему мы не нашли, а следы соответствующих экспериментов, предположительно проводимых с середины XIX до середины XX в., сохранились лишь в виде кратких упоминаний в источниках, не имеющих прямого отношения к ответу на данный вопрос. В таких публикациях слепота крайней периферии сетчатки упоминается вскользь как факт, не вызывающий сомнений. Другими словами, считается само собой разумеющимся, что измеряемое назальное поле зрения меньше темпорального не только из-за носа, но и из-за слепоты периферической зоны темпоральной сетчатки. Однако данные о том, совпадает ли граница слепой зоны с окклюзионной границей, и у всех ли людей интерпозиция границ одинакова, в литературе отсутствуют.

Полученные нами данные подтверждают слепоту крайней периферии темпоральной сетчатки по отношению к световым стимулам, которые использовались в эксперименте и были хорошо видны, когда проецировались на соответствующие участки периферии назальной половины сетчатки. Есть основания предполагать, что слепота темпоральной периферии сетчатки не абсолютна: не исключено, что зрительные впечатления можно вызвать более сильными движущимися или мелькающими световыми стимулами.

Обследованная нами группа испытуемых была слишком малочисленной и однородной для анализа роли движений глаз в формировании слепой зоны. Однако естественно думать, что существует корреляция между размерами слепой зоны и особенностями глазодвигательной активности испытуемых. В связи с этим представляет интерес проведение сравнительных периметрических измерений в группах испытуемых, сильно различающихся по потребности в движениях глаз большой амплитуды.

ВЫВОДЫ

— Проведенные периметрические измерения свидетельствуют о том, что у всех испытуемых на крайней периферии темпоральной сетчатки существует физиологическая слепая зона.

— При устранении экранирующего влияния носа за счет поворота глаза меньшая величина назального поля зрения по сравнению с темпоральным определяется наличием слепой зоны в темпоральной сетчатке.

— Значительная индивидуальная вариабельность величины этой слепой зоны может указывать на аблиопичную природу, что обсуждалось в работе (Brændstrup, 1948).

Авторы выражают благодарность всем испытуемым за участие в экспериментах.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 16-04-01421_a).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ковалевский Е.И.* Глазные болезни. М. Медицина. 1980. 432 с. (*Kovalevsky E.I.* Eye diseases. M. Medicine, 1980. 432 p. [in Russian]).
- Кравков С.В.* Глаз и его работа. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1950. 531 с. (*Kravkov S.V.* The eye and its work. Moscow-Leningrad. USSR Acad. Sci. 1950. 531 p. [in Russian]).
- Рожкова Г.И., Белокопытов А.В., Грачева М.А.* Загадки слепой зоны и кольца повышенной плотности колбочек на крайней периферии сетчатки // Сенсорные системы. 2016. Т. 30. № 4. С. 263–281. (*Rozhkova G.I., Belokopytov A.V., Gracheva M.A.* Mysteries of the Blind Zone and Cone-Enriched Rim at the Extreme Periphery of the Human Retina. *Sensornye Systemy.* 2016. V. 30. N. 4. P. 263–281 [in Russian]).
- Сомов Е.Е.* Клиническая офтальмология. М. МЕД пресс-информ. 2005. 392 с. (*Somov E.E.* Clinical ophthalmology. M. MEDpress-inform, 2005. 392 p. [in Russian]).
- Ярбус А.Л.* О работе зрительной системы человека. I. Адекватный зрительный стимул // Биофизика. 1975. Т. 20. № 5. С. 916–919 (*Yarbus A.L.* Human visual system. I. Adequate visual stimulus // *Biophysics.* 1975. V. 20 (5). P. 916–919 [in Russian]).
- Ярбус А.Л.* Роль движений глаз в процессе зрения. М.: Наука, 1965. 166 с. (*Yarbus A.L.* Eye Movements and Vision. M.: Nauka, 1965. 166 p).
- Brændstrup P.* The functional and anatomical differences between the nasal and temporal parts of the retina // *Acta Ophthalmol.* 1948. V. 26 (3). P. 351–361.
- Donders F.C.* Die Grenzen des Gesichtsfeldes in Beziehung zudenen der Netzhaut / Albrecht. *Graef's Arch Ophthal.* 1877. V. 23. P. 255–280.
- Förster R.* Uber Gesichtsfeld-Messung // *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde,* 1869. B.7. S. 411–415.

Piltz-Seymour J. R., Heath-Phillip O., Drance S.M. Visual Fields in Glaucoma / Duane's Ophthalmology on CDROM. 2006. V. 3. Chapter 49. *To M.P. S., Regan B.C., Wood D., Mollon J.D. Vision out of the corner of the eye // Vision Research. 2011. V. 51 (1). P. 203–214.*

Perimetric assessment of a blind zone margin at the extreme periphery of human temporal retina

A. V. Belokopytov, G. I. Rozhkova

*Institute for Information Transmission Problems RAS (Kharkevich Institute)
127051 Moscow, B. Karetny per.19, Build. 1*

In order to assess a blind zone margin at the extreme periphery of the temporal half of human retina, comparative evaluation of the temporal and nasal margins of the visual field was performed in 16 subjects for several directions of gaze. The margins were estimated by means of a standard perimeter. The test stimulus was a LED producing a light spot flickering with frequency 2 Hz. The measurements were carried out for each eye in conditions of gaze fixation on the center of perimeter arc (0°) and on the points shifted temporally by $15\text{--}30^\circ$ to eliminate the occlusion of the nasal visual field periphery by the nose usually taking place in standard clinical measurements with 0° direction of gaze. In the standard measurement conditions, the temporal and nasal margins varied among our subjects in the ranges $78\text{--}109^\circ$ and $57\text{--}70^\circ$ respectively. In about half of the subjects, no extension of the nasal field had been found when the fixation point was shifted temporally, indicating that the size of the blind zone corresponded to the difference of the temporal and nasal clinical visual fields. However, in 6 subjects, a reliable increase of the nasal visual field by $5\text{--}15^\circ$ has been revealed manifesting that not the whole part of the temporal retina shielded by nose is blind. The data obtained indicate the plausibility of an old hypothesis (Brændstrup, 1948) implying that, at least partially, blindness of the extreme temporal retina periphery could be considered as a deprivation amblyopia developed due to the occlusion.

Key words: nasal visual field, peripheral blind retina, individual variability, amblyopia.