

УДК 159.937

Яровая Н.П.<sup>а</sup>, Шелепин Е.Ю.<sup>б</sup>, Скуратова К.А.<sup>б</sup>

<sup>а</sup>ООО «АВА ПЕТЕР», клиника Скандинавия, отделение косметологии и реабилитации, Санкт-Петербург, Россия

<sup>б</sup>Институт Физиологии им. И.П. Павлова РАН, Санкт-Петербург, Россия

## Восприятие лиц пациентов врачами дерматокосметологами в зависимости от их опыта медицинской практики

### Perception of Patients' Faces by Dermatocosmetologists Depending on Their Medical Practice Experience

#### Аннотация

В медицине опыт врача оказывает значимое влияние на перцептивные стратегии диагностики. Это показано на исследованиях в области радиологической диагностики, хирургии и пластической хирургии, анализа гистологических срезов, анализа ЭКГ. Целью данного исследования является анализ паттернов глазодвигательной активности врачей дермато-косметологов с различным опытом работы при постановке диагноза. Выборку составили 33 врача дерматокосметолога с опытом работы от 0 до 24 лет. Задача испытуемых заключалась в визуальном поиске дерматологических нарушений на фотографиях лиц пациенток, в процессе которого регистрировались движения глаз при помощи программно-аппаратного комплекса «Нейробюро» на айтрекере GP3HD. Анализируются параметры глазодвигательной активности, такие как количество фиксаций, средняя продолжительность фиксации, общее время просмотра и общая длина пути сканирования. Корреляционный анализ позволил выявить взаимосвязь между опытом работы врача дерматокосметолога и показателями глазодвигательной активности, совершаемым им при просмотре лица пациента в процессе постановки диагноза. По мере возрастания опыта врача число фиксаций и длина пути сканирования сокращаются, а продолжительность фиксаций увеличивается. Просмотр тепловых карт позволил обнаружить, что начинающие дерматокосметологи совершают большое количество неупорядоченных движений глаз, фиксируясь на всей поверхности лица. С возрастанием опыта врача, происходит объединение фиксаций в кластеры, соответствующие опорным диагностическим точкам. Все это позволяет увеличить скорость поиска нарушений и постановки диагноза. Полученные данные согласуются с результатами сравнения движений глаз начинающих врачей и экспертов в других областях медицинской диагностики.

**Ключевые слова:** айтрекинг, движения глаз, восприятие лица, восприятие диагностических изображений, дерматокосметологи

#### Abstract

In medicine, experience has a significant impact on perceptual diagnostic strategies. This is shown in research in the field of radiological diagnostics, surgery and plastic surgery, analysis of histological preparations, and ECG analysis. The aim of this study is to analyze the patterns of oculomotor activity of dermatocosmetologists with different experience in diagnostics. The sample consisted of 33 dermatocosmetologists with work experience from 0 to 24 years. The task for the study participants was to visually search for dermatological disorders in patients' faces photographs, during the process eyes movements were recorded using the Neurobureau complex on the GP3HD eye tracker. The parameters of oculomotor activity were analyzed, such as the number of fixations, average fixation duration, total viewing time, and total scan path length. Correlation analysis made it possible to identify the relationship between the work experience of a dermatocosmetologist and the indicators of oculomotor activity performed by them when viewing a patient's face in the process of diagnostics. As the experience increases, the number of fixations and the length of the scanpath decrease, and the duration of fixations increases. Viewing heat maps revealed that novice dermatocosmetologists perform a large number of disordered eye movements, fixing themselves on the entire surface of the face. With the increasing experience of a doctor, the fixations are combined into clusters corresponding to the reference diagnostic points. All this makes it possible to increase the speed of searching for pathologies and making a diagnosis. The findings are compatible to the results of the comparison of eye movements between novice doctors and experts in other areas of medical diagnostics.

**Keywords:** eye tracking, eye movements, face perception, diagnostic image perception, dermatocosmetologists

## Введение

Важная часть клинических рассуждений основана на визуальной информации. Врачи используют визуальную информацию, полученную в результате непосредственного наблюдения за пациентами, а также диагностических методов, таких как биопсия, дерматоскопия, радиодиагностика и др. Для опытных врачей постановка диагноза может быть бессознательным процессом распознавания визуальных образов, предполагающим быстрое соотнесение клинической картины со знаниями, хранящимися в долговременной памяти.

Отслеживание движений глаз отражает направленность внимания врачей с помощью объективных показателей и обеспечивает понимание процессов клинического мышления (Holmqvist et al., 2011).

В 60-е годы прошлого века было проведено первое исследование, применившее метод регистрации движений глаз для изучения перцептивных процессов при интерпретации медицинских изображений врачами рентгенологами (Llewellyn-Thomas, Lansdown, 1963). В дальнейших исследованиях метод айтрекинга был использован для классификации ошибок, которые делают врачи при восприятии. Выделяют следующие типы ошибок (Kundel, Nodine, 1978):

- ошибка визуального поиска;
- ошибка распознавания;
- ошибка принятия решения.

Каждый из этих типов ошибок влияет на точность диагностики и, в конечном итоге, на качество жизни и благополучие пациентов. Отслеживание движений глаз может быть ценным инструментом, помогающим определить предполагаемые источники ошибок во время интерпретации медицинских изображений. Далее перечисленные типы ошибок будут рассмотрены более подробно.

Ошибка визуального поиска (в литературе также часто упоминается как ошибка сканирования) возникает в том случае, если не происходит фиксации на критической области визуальной сцены, в результате чего объект не обнаруживается. Если врач не зафиксировал диагностически значимую область изображения, то успешный поиск не состоялся, и без него распознавание и принятие решения невозможно (Cain, Adamo, Mitroff, 2013). Выделяется несколько возможных когнитивных механизмов для объяснения причин возникновения ошибок поиска, включая низкую распространенность целевых диагностических признаков (Gur et al., 2004), удовлетворенность поиском (Verbaum et al., 1990), отвлечение внимания (Itti, Koch, 2000) и истощение ресурсов рабочей памяти (Cain, Mitroff, 2013).

Ошибки распознавания возникают, когда глаз фиксируется на объекте, но этот объект не распознается правильно или не распознается как релевантный или ценный для задачи диагностики. Распознавание – это пример механизмов внимания, работающих вместе, чтобы динамически направлять взгляд к признакам, которые могут иметь диагностическое значение. Один из способов определения ошибки распознавания диагностически значимых признаков – это оценка продолжительности фиксации на критических областях изображения (Mello-Thoms et al., 2005). Предполагается, что увеличение продолжительности фиксации указывает на успешное распознавание: если участник фиксируется на определенной области дольше заданного порога, то любая последующая диагностическая ошибка должна быть связана с неудачным принятием решения.

Ошибки принятия решений. По мере того, как врачи собирают информацию об изображении, включая визуальный поиск и распознавание признаков, имеющих отношение к цели диагностики, они начинают формулировать гипотезы относительно возможных диагнозов. Разработка и проверка гипотез – это циклический процесс, который включает в себя определение признаков, которые позволяют врачу выбрать набор гипотез-

кандидатов, сбор данных для проверки каждой гипотезы и подтверждение или опровержение гипотезы. Если он подтвердил гипотезу, поиск может быть прекращен. Если врач опроверг одну из нескольких гипотез, но не подтвердил ни одной, циклический процесс продолжается; процесс также продолжается в условиях неопределенности, когда ни одна из заданных гипотез не была исключена или отклонена (Kassire, Kopelman, Wong, 1991).

При идеальном сценарии критические диагностические критерии обнаруживаются во время визуального поиска и распознаются, что позволяет врачу успешно разрабатывать и проверять гипотезы и ставить точный диагноз. В реальном мире ошибки возникают на каждом этапе этого процесса. Хотя ошибки, связанные с принятием решений, не всегда можно легко обнаружить с помощью отслеживания взгляда, некоторые недавние исследования показывают, что хаотичные движения глаз могут указывать на более высокую когнитивную нагрузку, неопределенность решения и более высокую вероятность ошибок (Brunyé et al., 2017).

В 80-е годы прошлого века была предложена глобально-фокальная модель поиска (*global-focal search model*), в которой выделяются три этапа: общее распознавание образа, сканирование, принятие решения (Nodine, Kundel, 1987).

Первый взгляд на диагностическое изображение позволяет получить глобальное впечатление, на основе которого врач строит свою когнитивную схему. Когнитивная схема состоит из знаний анатомии и патологии вместе с ожиданиями по отношению к анализируемому изображению. Это первичное взаимодействие, которое занимает несколько сотен миллисекунд, дает врачу довольно точное представление о содержании изображения.

После первоначального впечатления глаза перемещаются по изображению, для анализа критических точек группами близко расположенных фиксаций. После тщательного анализа данных точек, идентифицированных во время первоначального общего распознавания

образа, врач может следовать той же стереотипной схеме сканирования, направленной на обнаружение того, что было упущено, или может просто сканировать наугад.

Фиксации, которые группируются на критических точках, собирают данные, необходимые для проверки гипотезы о наличии патологического признака. Каждый кластер фиксаций рассматривается как узел принятия решений. Предполагается, что длительные или множественные фиксации, которые группируются на деталях изображения, сигнализируют об активной проверке гипотез и принятии решений, связанных с интерпретацией анатомических нарушений.

Исследования также показывают, что паттерны сканирования связаны с диагностической точностью (Voisin et al., 2013). Машинное обучение может использоваться при создании системы поддержки принятия решений, которая ориентируется на фокус внимания врача.

Целью данного исследования является анализ взаимосвязи глазодвигательных паттернов при восприятии лиц пациентов врачами дерматокосметологами и их опыта медицинской практики. Выбор дерматокосметологии обусловлен недостатком исследований восприятия диагностических изображений в области эстетической медицины. Те немногие научные работы, которые были проведены зарубежными исследователями, изучали данный вопрос на выборке пластических хирургов (Cai et al., 2019). Так как объекты диагностики и коррекции у пластического хирурга и врача дерматокосметолога значительно отличаются, то результаты имеющихся исследований нельзя распространять на область дерматокосметологии. Сравнение перцептивных схем врачей дерматокосметологов и пластических хирургов будет целью наших дальнейших исследований.

## Метод

В исследовании приняли участие 33 врача дерматокосметолога с опытом работы от 0 до 24 лет (средний опыт работы  $9,1 \pm 7,5$  лет). Средний возраст испытуемых составил  $33,4 \pm 7,8$  года; из них 2 мужчины, остальные женщины.

Каждому испытуемому в рандомизированном порядке предъявлялись на мониторе 15 цветных фотографий лиц женщин с различными дерматологическими нарушениями. При создании стимульного материала не использовались макияж и постобработка. Время предъявления стимулов было неограниченным, переход к следующему стимулу выполнялся испытуемым самостоятельно. Задача испытуемых заключалась в поиске дерматологических проблем, коррекция которых, на их взгляд, была бы необходима пациенту.

Стимулы предъявлялись на экране ноутбука с диагональю 15,6 дюймов и разрешением  $1920 \times 1080$  px. Размер стимулов составлял  $720 \times 1080$  px ( $12,5 \times 18,8$  угловых градуса).

В процессе предъявления стимулов осуществлялась регистрация движений глаз при помощи программно-аппаратного комплекса «Нейробюро», включающего в себя айтрекер GP3HD (частота дискретизации 150 Гц) и программное обеспечение «Нейробюро».

Статистическая обработка осуществлялась при помощи программного обеспечения STATISTICA 12 с использованием критерия корреляции Спирмена.

## Результаты

В таблице 1 приведены средние значения и стандартные отклонения показателей глазодвигательной активности при восприятии лица пациента врачами дерматокосметологами.

Таблица 1 – Показатели глазодвигательной активности при восприятии лица пациента врачами дерматокосметологами

<b>Показатель глазодвигательной активности</b>	<b>Среднее</b>	<b>Ст. откл.</b>
Общее время просмотра (секунд)	10,031	7,853
Количество фиксаций	39,279	32,416
Средняя продолжительность фиксации (секунд)	0,272	0,117
Средняя амплитуда саккад (угл.гр.)	2,001	0,599
Общая длина пути сканирования (угл.гр.)	73,769	68,727

Анализ глазодвигательной активности показал, что врачу дерматокосметологу для постановки диагноза требуется, в среднем, просматривать лицо пациента  $10,031 \pm 7,853$  секунд, совершая при этом  $39,279 \pm 32,416$  фиксаций средней продолжительностью  $0,272 \pm 0,117$  секунд. Средняя амплитуда саккад при просмотре лица составляет  $2,001 \pm 0,599$  угловых градуса, а общая длина пути сканирования (сумма всех саккад) –  $73,769 \pm 68,727$  угловых градуса.

Коэффициенты корреляции между опытом работы врача дерматокосметолога и показателями глазодвигательной активности, а также значения уровня значимости представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Взаимосвязь показателей глазодвигательной активности при восприятии лица пациента врачами дерматокосметологами и опыта работы

<b>Показатель глазодвигательной активности</b>	<b>Коэффициент корреляции Спирмена</b>	<b>Уровень значимости</b>
Общее время просмотра	-0,49	0,001
Количество фиксаций	-0,59	0,001
Средняя продолжительность фиксации	0,12	0,011
Общая длина пути сканирования	-0,57	0,001

Корреляционный анализ позволил выявить взаимосвязь между опытом работы врача дерматокосметолога и показателями глазодвигательной

активности, совершаемой им при просмотре лица пациента в процессе постановки диагноза. Было обнаружено:

- чем больше опыт работы, тем меньше врачу требуется времени на просмотр лица пациента ( $\rho = -0,49, p < 0,005$ );
- чем больше опыт работы, тем меньше фиксаций совершает врач ( $\rho = -0,59, p < 0,005$ );
- чем больше опыт работы, тем более продолжительные фиксации совершает врач ( $\rho = 0,12, p < 0,05$ );
- чем больше опыт работы врача, тем меньше общая длина пути сканирования, совершаемая им ( $\rho = -0,57, p < 0,005$ ).

На рисунке 1 изображена диаграмма рассеяния значений общего времени просмотра лица пациента врачом дерматокосметологом в зависимости от опыта работы (по оси абсцисс – опыт врача в годах, по оси ординат – общее время просмотра в секундах; красным – линия регрессии).

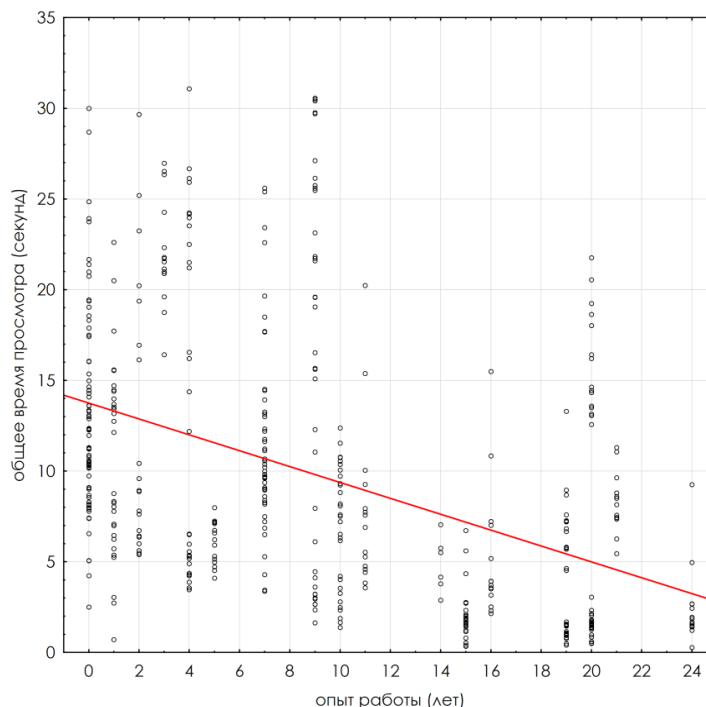


Рисунок 1 – Общее время просмотра лица пациента врачом дерматокосметологом в зависимости от опыта работы



На рисунке 2 изображена диаграмма рассеяния значений количества фиксаций при просмотре лица пациента врачом дерматокосметологом в зависимости от опыта работы (по оси абсцисс – опыт врача в годах, по оси ординат – количество фиксаций; красным – линия регрессии).

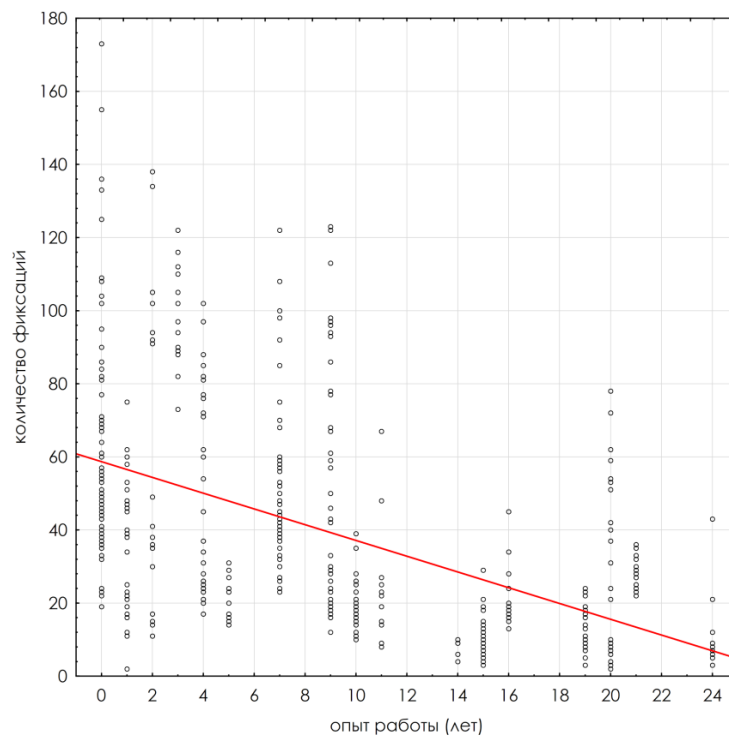


Рисунок 2 – Количество фиксаций при просмотре лица пациента врачом дерматокосметологом в зависимости от опыта работы

На рисунке 3 изображена диаграмма рассеяния значений средней продолжительности фиксации при просмотре лица пациента врачом дерматокосметологом в зависимости от опыта работы (по оси абсцисс – опыт врача в годах, по оси ординат – средняя продолжительность фиксации; красным – линия регрессии).

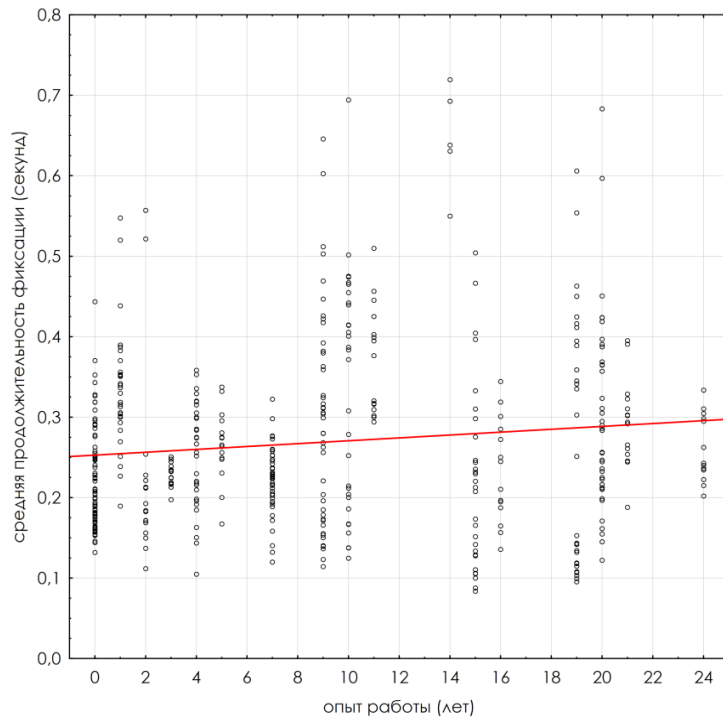


Рисунок 3 – Средняя продолжительность фиксации при просмотре лица пациента врачом дерматокосметологом в зависимости от опыта работы

На рисунке 4 изображена диаграмма рассеяния значений общей длины пути сканирования при просмотре лица пациента врачом дерматокосметологом в зависимости от опыта работы (по оси абсцисс – опыт врача в годах, по оси ординат – общая длина пути сканирования в угловых градусах; красным – линия регрессии).

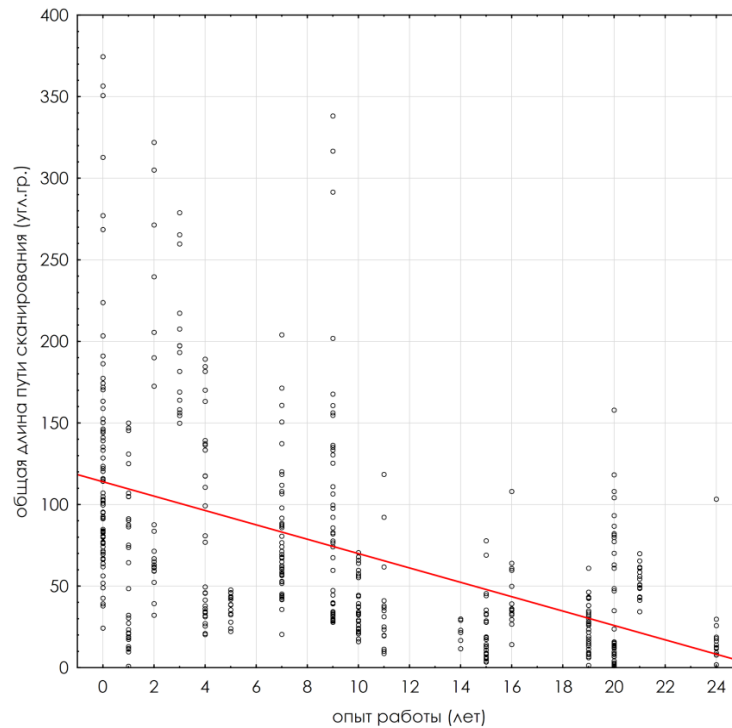
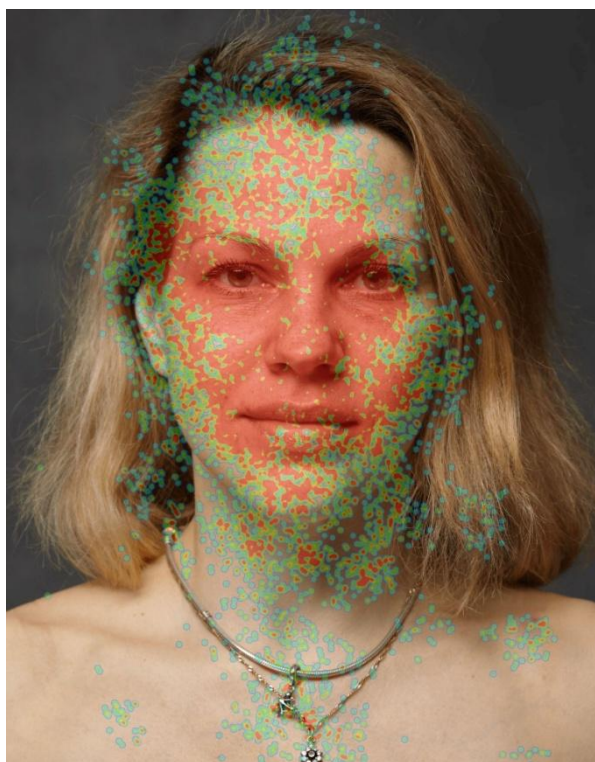
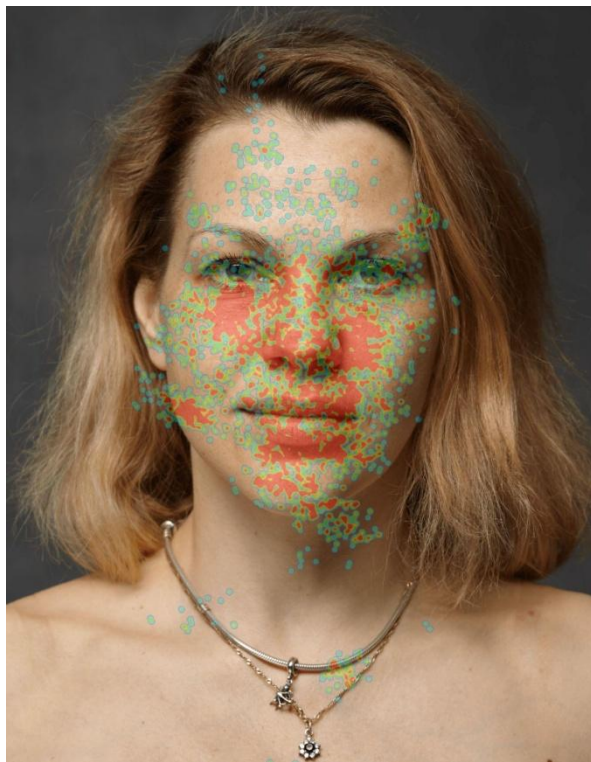


Рисунок 4 – Общая длина пути сканирования при просмотре лица пациента врачом дерматокосметологом в зависимости от опыта работы

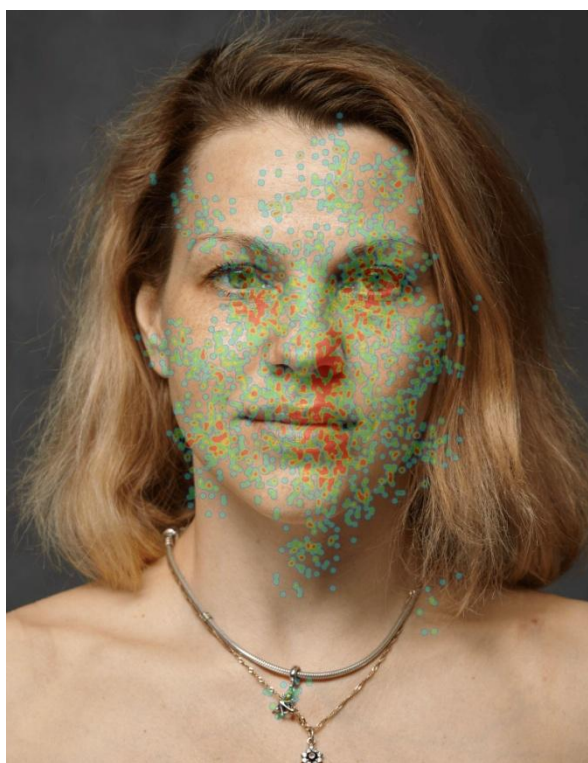
Качественный анализ тепловых карт (рисунок 5) позволил обнаружить, что начинающие дерматокосметологи совершают большое количество неупорядоченных движений глаз, фиксируясь на всей поверхности лица. С возрастанием опыта врача, количество совершаемых им фиксаций снижается и происходит их объединение в кластеры, соответствующие опорным диагностическим точкам. У экспертов число опорных точек меньше, чем у врачей, чей опыт работы менее 10 лет. Таким образом, систематичность шаблона сканирования оптимизирует выборочное распределение внимания у опытных врачей и положительно влияет на время принятия решения о диагнозе.



(а)



(б)



(в)

Рисунок 5 – Паттерны восприятия лица пациента врачами дерматокосметологами  
в зависимости от опыта их работы:

(а) 0-9 лет опыта; (б) 10-19 лет опыта; (в) 20-24 года опыта

Согласно современным исследованиям, низкочастотная информация (при восприятии лица как предмета дерматологической диагностики к ней относятся цвет, форма и симметрия) участвует в построении карты значимости, которая и влияет на распределение фиксаций (Tatler, Baddeley, Vincent, 2006). Исходя из этого, мы можем сделать вывод о том, что опытный дерматокосметолог при первом взгляде на лицо пациента получает с помощью периферического зрения необходимую информацию для выстраивания схемы анализа, включающей только критические точки для данного клинического случая.

### **Обсуждение**

Проведенное исследование позволило выявить взаимосвязь особенностей окуломоторного поведения врачей дерматокосметологов при визуальном поиске в задаче медицинской интерпретации с их опытом работы. По мере того, как врачи приобретают опыт работы с разнообразными медицинскими изображениями, они разрабатывают более совершенные стратегии поиска, которые помогают направить визуальное внимание к диагностически значимым областям изображения уже на начальном целостном осмотре изображения. Благодаря этому врачу требуется меньше времени на поиск дерматологических нарушений, он совершает меньше фиксаций, продолжительность которых возрастает. Способность целостно воспринимать лицо пациента как диагностическое изображение и сформированная перцептивная схема анализа также позволяют опытным специалистам сокращать общую длину пути сканирования по сравнению с начинающими врачами.

Эффективный визуальный поиск регулируется двумя факторами, а именно – способностью направлять внимание на релевантные элементы и скоростью отклонения от дистракторов. Таким образом, мы можем сделать вывод, что для опытных врачей характерен эффективный визуальный поиск,

так как они с высокой скоростью направляют внимание на критически важные для диагностики признаки, что делает остальную часть изображения неактуальной. Данная особенность объясняется моделью «управляемого поиска» (Wolfe, 2012) и моделью редукции информации (Wolfe, Cave, Franzel, 1989). Это избирательное внимание берет начало от эндогенного внутреннего внимания, которое направляется информацией, полученной на основе соответствующего опыта и хранящейся в долговременной памяти. Эта информация может быть быстро и неосознанно извлечена из долговременной памяти врачом при выполнении медицинской диагностики и сильно влияет на перцептивную стратегию.

Полученные в данном исследовании результаты согласуются с результатами сравнения движений глаз начинающих врачей и экспертов в других областях медицинской диагностики:

- опытные специалисты совершают меньше фиксаций на рентгеновских снимках, чем начинающие врачи, прошедшие обучение, но не имеющие клинической практики в данной области (Manning et al., 2006);
- средняя продолжительность фиксаций, совершаемых при анализе маммограмм, у экспертов-радиологов выше, чем у стажеров (Leveque et al., 2019);
- паттерны сканирования начинающих маммологов менее эффективны по причине рассеивания визуального внимания (Nodine et al., 1996);
- при анализе ЭКГ студенты медицинских вузов и ординаторы уделяют внимание всей электрокардиограмме, в то время как опытные врачи фиксируются, в большей степени, на аномалиях, отдавая приоритет релевантным элементам стимула (Wu et al., 2021).

Подобные результаты можно объяснить более широким диапазоном восприятия у экспертов, чем у начинающих врачей. Это позволяет им более глубоко использовать низкочастотную информацию, поступающую при помощи периферического зрения, что и обуславливает способность целостно воспринимать диагностическое изображение (Шелепин и др., 2020).

Это также не противоречит двухканальной модели обработки изображений (*two-pathway architecture for visual processing*), которая предполагает, что экспертам удастся быстро извлекать релевантную информацию из визуальных сцен вследствие использования двух, а не одного каналов обработки – неселективного и селективного (Wolfe et al., 2011). Несмотря на то, что неселективная обработка не поддерживает точное распознавание объектов, ее задача заключается в детекции и предварительном распознавании цели (релевантная или нерелевантная, норма или патология), а также обеспечении дальнейшей фиксации на ней для более подробной классификации нарушения.

Оптимизация перцептивных стратегий по мере освоения профессионального навыка происходит схожим образом вне зависимости от исследуемой области деятельности, например, начинающие игроки в шахматы воспринимают каждую фигуру отдельно, а эксперты объединяют фигуры в кластеры, а также направляют взгляд на траекторию возможных ходов (Reingold, Sheridan, 2012), а более высокая плотность фиксаций на релевантных деталях картины характерна для художников по сравнению с людьми, не занимающимися живописью (Antes, Kristjanson, 1991).

Важно отметить более выраженное негативное влияние нарушения визуального ожидания на экспертов. Например, при игре с содержащей ошибки партитурой у профессиональных музыкантов возникают сложности с визуальным разделением нотной записи на фрагменты (Arthur, Khuu, Blom, 2016).

Исходя из этого, практическая значимость отслеживания движений глаз заключается в применении айтрекинга как валидного инструмента для оценки и передачи профессионального опыта в сферах деятельности, связанных с интерпретацией визуальной информации. Не меньшую роль играет использование данных о перцептивном поведении экспертов для разработки и тестирования алгоритмов компьютерного зрения (Kümmerer, Wallis, Bethge, 2018).

## **Выводы**

Нам удалось проанализировать стратегию восприятия врачами дерматокосметологами лица пациента как диагностического изображения. Мы обнаружили, что опытные врачи обрабатывают визуальную информацию более тщательно и быстро, чем новички, за счет оптимизации глазодвигательных паттернов. Таким образом, опытные врачи обладают сложными навыками визуального наблюдения, которые позволяют им быстро и точно находить релевантные характеристики диагностического изображения среди нерелевантных характеристик и правильно интерпретировать эти наблюдения.

В продолжение данного исследования мы ставим перед собой следующие исследовательские задачи, которые требуют более глубокого анализа полученных данных:

- оценка влияния движений глаз на точность визуального поиска диагностических признаков дерматологических заболеваний;
- анализ типов ошибок визуального поиска (ошибка сканирования, ошибка распознавания, ошибка принятия решения) в зависимости от опыта медицинской практики врачей дерматокосметологов;
- сравнение перцептивных стратегий при восприятии лица пациента врачами дерматокосметологами и пластическими хирургами;



- влияние кратковременных обучающих курсов на глазодвигательные паттерны начинающих врачей дерматокосметологов (сравнение до и после обучения).

### **Ограничения исследования**

Ограничением данного исследования является предъявление лица пациента только в формате фотографии на экране без возможности проанализировать его с разных ракурсов. Несмотря на то, что подобный вариант стимульного материала приближен к ситуации современной телемедицины, в дальнейших исследованиях мы бы рекомендовали использовать 3D модель лица пациента с возможностью интерактивного взаимодействия с ней (например, приближения отдельных участков кожного покрова для более детального осмотра).

### **Список использованных источников**

- Шелепин Ю.Е., Хараузов А.К., Жукова О.В., Пронин С.В., Куприянов М.С., Цветков О.В. Маскировка и обнаружение скрытых сигналов в динамических изображениях // *Оптический журнал*, 2020. Т. 87(10). С. 89-102.
- Antes J.R., Kristjanson A.F. Discriminating artists from nonartists by their eye-fixation patterns // *Perceptual and Motor Skills*, 1991. Vol. 73(3, Pt. 1). Pp. 893-894. doi:10.2466/pms.1991.73.3.893
- Arthur P., Khuu S., Blom D. Music sight-reading expertise, visually disrupted score and eye movements // *Journal of Eye Movement Research*, 2016. Vol. 9(7). doi:10.16910/jemr.9.7.1
- Berbaum K.S., Franken E.A., Dorfman D.D., Rooholamini S.A., Kathol M.H., Barloon T.J., Behlke F.M., Sato Y., Lu C.H., El-Khoury G.Y. Satisfaction of search in diagnostic radiology // *Investigative radiology*, 1990. Vol. 25(2). Pp. 133-140. <https://doi.org/10.1097/00004424-199002000-00006>
- Brunyé T.T., Haga Z.D., Houck L.A., Taylor H.A. You look lost: understanding uncertainty and representational flexibility in navigation / In: J.M. Zacks, H.A. Taylor (Eds.) // *Representations in mind and world: essays inspired by Barbara Tversky*. New York, Routledge, 2017. Pp. 42-56.
- Cai L.Z., Kwong J.W., Azad A.D., Kahn D., Lee G.K., Nazerali R.S. Where do we look? Assessing gaze patterns in cosmetic face-lift surgery with eye tracking technology // *Plastic and Reconstructive Surgery*, 2019. Vol. 144(1). Pp. 63-70. doi:10.1097/PRS.00000000000005700

- Cain M.S., Mitroff S.R. Memory for found targets interferes with subsequent performance in multiple-target visual search // *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, 2013. Vol. 39(5). Pp. 1398-1408. <https://doi.org/10.1037/a0030726>
- Cain M.S., Adamo S.H., Mitroff S.R. A taxonomy of errors in multiple-target visual search // *Visual Cognition*, 2013. Vol. 21. Pp. 899-921. doi: 10.1080/13506285.2013.843627.
- Gur D., Sumkin J.H., Rockette H.E., Ganott M., Hakim C., Hardesty L., Poller W.R., Shah R., Wallace L. Changes in breast cancer detection and mammography recall rates after the introduction of a computer-aided detection system // *Journal of the National Cancer Institute*, 2004. Vol. 96(3). Pp. 185-190. <https://doi.org/10.1093/jnci/djh067>
- Holmqvist K., et al. *Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures*. New York, Oxford University Press, 2011.
- Itti L., Koch C. A saliency-based search mechanism for overt and covert shifts of visual attention // *Vision research*, 2000. Vol. 40(10-12). Pp. 1489-1506. [https://doi.org/10.1016/s0042-6989\(99\)00163-7](https://doi.org/10.1016/s0042-6989(99)00163-7)
- Kassirer J.P., Kopelman R.I., Wong J.B. *Learning clinical reasoning*. Baltimore, Williams & Wilkins, 1991.
- Kümmerer M., Wallis T.S.A., Bethge M. Saliency benchmarking made easy: Separating models, maps and metrics, 2018. doi:10.1007/978-3-030-01270-0\_47
- Kundel H.L., Nodine C.F. Studies of eye movements and visual search in radiology / In: J.W. Senders, D.F. Fisher, R.A. Monty (Eds.) // *Eye movements and the higher psychological processes*. Hillsdale, Lawrence Erlbaum Associates, 1978. Pp. 317-327.
- Lévêque L., Berg B.V., Bosmans H., Cockmartin L., Keupers M., Ongeval C.V., Liu H. A statistical evaluation of eye-tracking data of screening mammography: Effects of expertise and experience on image reading // *Signal Processing: Image Communication*, 2019. Vol. 78. Pp. 86-93. doi:10.1016/j.image.2019.06.008
- Llewellyn-Thomas E., Lansdown E.L. Visual search patterns of radiologists in training // *Radiology*, 1963. Vol. 81. Pp. 288-291.
- Manning D., Ethell S., Donovan T., Crawford T. How do radiologists do it? The influence of experience and training on searching for chest nodules // *Radiography*, 2006. Vol. 12(2). Pp. 134-142. doi:10.1016/j.radi.2005.02.003
- Mello-Thoms C., Hardesty L., Sumkin J., Ganott M., Hakim C., Britton C., Stalder J., Maitz G. Effects of lesion conspicuity on visual search in mammogram reading // *Academic radiology*, 2005. Vol. 12(7). Pp. 830-840. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2005.03.068>
- Nodine C.F., Kundel H.L. Using eye movements to study visual search and to improve tumor detection // *Radiographics*, 1987. Vol. 7(6). Pp. 1241-1250.
- Nodine C.F., Kundel H.L., Lauver S.C., Toto L.C. Nature of expertise in searching mammograms for breast masses // *Academic Radiology*, 1996. Vol. 3. Pp. 1000-1006. doi:10.1016/S1076-6332(96)80032-8
- Reingold E.M., Sheridan H. Eye movements and visual expertise in chess and medicine. *The oxford handbook of eye movements*, 2012. 10.1093/oxfordhb/9780199539789.013.0029
- Tatler B.W., Baddeley R.J., Vincent B.T. The long and the short of it: Spatial statistics at fixation vary with saccade amplitude and task // *Vision Research*, 2006. Vol. 46(12). Pp. 1857-1862. doi:10.1016/j.visres.2005.12.005

- Voisin S., Pinto F., Morin-Ducote G., Hudson K.B., Tourassi G.D. Predicting diagnostic error in radiology via eye-tracking and image analytics: Preliminary investigation in mammography // *Medical Physics*, 2013. Vol. 40(10):101906. doi:10.1118/1.4820536.
- Wolfe J.M. Visual search / In: P. Todd, T. Holls, T. Robbins (Eds.) // *Cognitive search: Evolution, algorithms and the brain*. Cambridge, MA, MIT Press, 2012. Pp. 159-175.
- Wolfe J.M., Cave K.R., Franzel S.L. Guided search: An alternative to the feature integration model for visual search // *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1989. Vol. 15. Pp. 419-433. doi:10.1037/0096-1523.15.3.419
- Wolfe J.M., Võ M.L., Evans K.K., Greene M.R. Visual search in scenes involves selective and nonselective pathways // *Trends in Cognitive Sciences*, 2011. Vol. 15(2). Pp. 77-84. doi:10.1016/j.tics.2010.12.001
- Wu W., Hall A.K., Braund H., Bell C.R., Szulewski A. The development of visual expertise in ECG interpretation: An eye-tracking augmented re situ interview approach // *Teaching and Learning in Medicine*, 2021. Vol. 33(3). Pp.258-269. doi:10.1080/10401334.2020.1844009

## References

- Shelepin Iu.E., Kharauzov A.K., Zhukova O.V., Pronin S.V., Kupriianov M.S., Tsvetkov O.V. Maskirovka i obnaruzhenie skrytykh signalov v dinamicheskikh izobrazheniiakh [Masking and detection of hidden signals in dynamic images] // *Opticheskii zhurnal*, 2020. Vol. 87(10). Pp. 89-102. (In Russian)
- Antes J.R., Kristjanson A.F. Discriminating artists from nonartists by their eye-fixation patterns // *Perceptual and Motor Skills*, 1991. Vol. 73(3, Pt. 1). Pp. 893-894. doi:10.2466/pms.1991.73.3.893
- Arthur P., Khoo S., Blom D. Music sight-reading expertise, visually disrupted score and eye movements // *Journal of Eye Movement Research*, 2016. Vol. 9(7). doi:10.16910/jemr.9.7.1
- Berbaum K.S., Franken E.A., Dorfman D.D., Rooholamini S.A., Kathol M.H., Barloon T.J., Behlke F.M., Sato Y., Lu C.H., El-Khoury G.Y. Satisfaction of search in diagnostic radiology // *Investigative radiology*, 1990. Vol. 25(2). Pp. 133-140. <https://doi.org/10.1097/00004424-199002000-00006>
- Brunyé T.T., Haga Z.D., Houck L.A., Taylor H.A. You look lost: understanding uncertainty and representational flexibility in navigation / In: J.M. Zacks, H.A. Taylor (Eds.) // *Representations in mind and world: essays inspired by Barbara Tversky*. New York, Routledge, 2017. Pp. 42-56.
- Cai L.Z., Kwong J.W., Azad A.D., Kahn D., Lee G.K., Nazerali R.S. Where do we look? Assessing gaze patterns in cosmetic face-lift surgery with eye tracking technology // *Plastic and Reconstructive Surgery*, 2019. Vol. 144(1). Pp. 63-70. doi:10.1097/PRS.0000000000005700
- Cain M.S., Mitroff S.R. Memory for found targets interferes with subsequent performance in multiple-target visual search // *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, 2013. Vol. 39(5). Pp. 1398-1408. <https://doi.org/10.1037/a0030726>
- Cain M.S., Adamo S.H., Mitroff S.R. A taxonomy of errors in multiple-target visual search // *Visual Cognition*, 2013. Vol. 21. Pp. 899-921. doi: 10.1080/13506285.2013.843627.

- Gur D., Sumkin J.H., Rockette H.E., Ganott M., Hakim C., Hardesty L., Poller W.R., Shah R., Wallace L. Changes in breast cancer detection and mammography recall rates after the introduction of a computer-aided detection system // *Journal of the National Cancer Institute*, 2004. Vol. 96(3). Pp. 185-190. <https://doi.org/10.1093/jnci/djh067>
- Holmqvist K., et al. *Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures*. New York, Oxford University Press, 2011.
- Itti L., Koch C. A saliency-based search mechanism for overt and covert shifts of visual attention // *Vision research*, 2000. Vol. 40(10-12). Pp. 1489-1506. [https://doi.org/10.1016/s0042-6989\(99\)00163-7](https://doi.org/10.1016/s0042-6989(99)00163-7)
- Kassirer J.P., Kopelman R.I., Wong J.B. *Learning clinical reasoning*. Baltimore, Williams & Wilkins, 1991.
- Kümmerer M., Wallis T.S.A., Bethge M. Saliency benchmarking made easy: Separating models, maps and metrics, 2018. doi:10.1007/978-3-030-01270-0\_47
- Kundel H.L., Nodine C.F. Studies of eye movements and visual search in radiology / In: J.W. Senders, D.F. Fisher, R.A. Monty (Eds.) // *Eye movements and the higher psychological processes*. Hillsdale, Lawrence Erlbaum Associates, 1978. Pp. 317-327.
- Lévêque L., Berg B.V., Bosmans H., Cockmartin L., Keupers M., Ongeval C.V., Liu H. A statistical evaluation of eye-tracking data of screening mammography: Effects of expertise and experience on image reading // *Signal Processing: Image Communication*, 2019. Vol. 78. Pp. 86-93. doi:10.1016/j.image.2019.06.008
- Llewellyn-Thomas E., Lansdown E.L. Visual search patterns of radiologists in training // *Radiology*, 1963. Vol. 81. Pp. 288-291.
- Manning D., Ethell S., Donovan T., Crawford T. How do radiologists do it? The influence of experience and training on searching for chest nodules // *Radiography*, 2006. Vol. 12(2). Pp. 134-142. doi:10.1016/j.radi.2005.02.003
- Mello-Thoms C., Hardesty L., Sumkin J., Ganott M., Hakim C., Britton C., Stalder J., Maitz G. Effects of lesion conspicuity on visual search in mammogram reading // *Academic radiology*, 2005. Vol. 12(7). Pp. 830-840. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2005.03.068>
- Nodine C.F., Kundel H.L. Using eye movements to study visual search and to improve tumor detection // *Radiographics*, 1987. Vol. 7(6). Pp. 1241-1250.
- Nodine C.F., Kundel H.L., Lauver S.C., Toto L.C. Nature of expertise in searching mammograms for breast masses // *Academic Radiology*, 1996. Vol. 3. Pp. 1000-1006. doi:10.1016/S1076-6332(96)80032-8
- Reingold E.M., Sheridan H. Eye movements and visual expertise in chess and medicine. *The oxford handbook of eye movements*, 2012. 10.1093/oxfordhb/9780199539789.013.0029
- Tatler B.W., Baddeley R.J., Vincent B.T. The long and the short of it: Spatial statistics at fixation vary with saccade amplitude and task // *Vision Research*, 2006. Vol. 46(12). Pp. 1857-1862. doi:10.1016/j.visres.2005.12.005
- Voisin S., Pinto F., Morin-Ducote G., Hudson K.B., Tourassi G.D. Predicting diagnostic error in radiology via eye-tracking and image analytics: Preliminary investigation in mammography // *Medical Physics*, 2013. Vol. 40(10):101906. doi:10.1118/1.4820536.
- Wolfe J.M. Visual search / In: P. Todd, T. Holls, T. Robbins (Eds.) // *Cognitive search: Evolution, algorithms and the brain*. Cambridge, MA, MIT Press, 2012. Pp. 159-175.

- Wolfe J.M., Cave K.R., Franzel S.L. Guided search: An alternative to the feature integration model for visual search // *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1989. Vol. 15. Pp. 419-433. doi:10.1037/0096-1523.15.3.419
- Wolfe J.M., Võ M.L., Evans K.K., Greene M.R. Visual search in scenes involves selective and nonselective pathways // *Trends in Cognitive Sciences*, 2011. Vol. 15(2). Pp. 77-84. doi:10.1016/j.tics.2010.12.001
- Wu W., Hall A.K., Braund H., Bell C.R., Szulewski A. The development of visual expertise in ECG interpretation: An eye-tracking augmented re situ interview approach // *Teaching and Learning in Medicine*, 2021. Vol. 33(3). Pp.258-269. doi:10.1080/10401334.2020.1844009