

DOI: <https://doi.org/10.17816/rpoj626205>

Трактовка теста Зейделя при открытой травме глаза (экспериментальное исследование)

Н.В. Фомина¹, Э.В. Бойко^{1, 2, 3}, В.С. Теренин⁴, Ю.М. Петросян^{1, 2}¹ Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Российская Федерация² НМИЦ МНТК «Микрохирургия глаза» им. академика С.Н. Федорова, Санкт-Петербург, Российская Федерация³ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Российская Федерация⁴ ООО «Центр семейной медицины», Томск, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Цель. Исследовать явление флуоресценции при проведении теста Зейделя на экспериментальной модели открытой травмы глаза (ОТГ).

Материал и методы. Экспериментальное исследование было выполнено в учебной лаборатории Wetlab Санкт-Петербургского филиала НМИЦ МНТК «Микрохирургия глаза» им. академика С.Н. Федорова на кадаверных свиных глазах. После создания прободного отверстия роговицы производили окрашивание флуоресцеином и наблюдали в кобальтово-синем свете щелевой лампы. После удаления тест-полосок проводили хронометраж эксперимента.

Результаты. Явление флуоресценции наблюдалось сразу после нанесения красителя на глазную поверхность кадаверных глаз с ОТГ, флуоресцеин растворялся в вытекающей внутриглазной жидкости (ВГЖ) и фиксировался по краям раны. Далее отмечалось изменение окраски потока вытекающей ВГЖ. В эксперименте наблюдалось две фазы окрашивания потока вытекающей ВГЖ: до 2,95 с удавалось наблюдать ярко-зелёный поток жидкости. После 2,95 с происходило размывание красителя и разделение основной струи жидкости на несколько потоков с разной степенью интенсивности окрашивания. На 4,12 с наблюдался уже прозрачный поток вытекающей жидкости в центре и окрашенные зелёные потоки по краям.

Заключение. Тест Зейделя состоит из двух последовательных фаз: первоначальное появление «ярко-зелёного ручейка» вытекающей внутриглазной жидкости через рану роговицы, по длительности не превышающей 3 секунды после введения флуоресцеина, во время второй фазы в центре потока жидкость становится прозрачной, а по краям сохраняется ярко-зелёное прокрашивание. Проводить тест Зейделя необходимо с соблюдением всех условий, обеспечивающих проявление флуоресценции, обязательно используя кобальтовый фильтр щелевой лампы и оценивать результат с учётом последовательности его фаз.

Ключевые слова: открытая травма глаза; тест Зейделя; флуоресцеин; флуоресценция.

Как цитировать:

Фомина Н.В., Бойко Э.В., Теренин В.С., Петросян Ю.М. Трактовка теста Зейделя при открытой травме глаза (экспериментальное исследование) // *Российская педиатрическая офтальмология*. 2024. Т. 19. № 2. С. 73–79. DOI: <https://doi.org/10.17816/rpoj626205>

DOI: <https://doi.org/10.17816/rpoj626205>

Interpretation of the Seidel test for open eye injury: Experimental study

Natalya V. Fomina¹, Ernest V. Boiko^{1, 2, 3}, Vitaliy S. Terenin⁴, Yurii M. Petrosyan^{1, 2}

¹ North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint-Petersburg, Russian Federation

² Saint Petersburg Branch of S.N. Fyodorov Eye Microsurgery, Saint-Petersburg, Russian Federation

³ Saint Petersburg University, Saint-Petersburg, Russian Federation

⁴ Limited Liability Company Family Medicine Center, Tomsk, Russian Federation

ABSTRACT

AIM: The study aimed to examine the phenomenon of fluorescence during the Seidel test on an experimental model of open eye injury (OEI).

MATERIAL AND METHODS: The experimental study used cadaver pig eyes and was conducted in the Wetlab educational laboratory of the St. Petersburg branch of the S.N. Fedorov National Medical Research Center Interbranch Scientific and Technical Complex "Eye Microsurgery". After creating a perforated hole, the cornea was stained with fluorescein and observed under a cobalt-blue slit-lamp light. After the test strips were removed, the experiment was timed.

RESULTS: The fluorescence phenomenon was noted immediately after applying the stain to the ocular surface of cadaver eyes with OEI. Fluorescein was dissolved in the flowing intraocular fluid (IOF) and was restrained at the wound edges. Then, the color of the flowing IOF changed. In the experiment, two phases of the flowing IOF color were registered, that is, up to 2.95 s, a bright-green fluid flow was noted. After 2.95 s, the stain washed out, and the main stream of liquid was divided into several streams with varying degrees of staining intensity. At 4.12 s, a transparent stream of escaping liquid was noted in the center and green streams along the edges.

CONCLUSION: The Seidel test consists of two successive phases, namely, the initial appearance of a "bright-green stream" of IOF flowing through the corneal wound, lasting no more than 3 s after the administration of fluorescein; and during phase 2, in the flow center, the fluid became transparent, and bright-green staining remained at the edges. The Seidel test should be performed in compliance with all conditions that ensure the manifestations of fluorescence, always using a cobalt slit-lamp filter, and the result should be evaluated considering the sequence of its phases.

Keywords: open eye injury; Seidel test; fluorescein; fluorescence.

To cite this article:

Fomina NV, Boiko EV, Terenin VS, Petrosyan YuM. Interpretation of the Seidel test for open eye injury: Experimental study. *Russian pediatric ophthalmology*. 2024;19(2):73–79. DOI: <https://doi.org/10.17816/rpoj626205>

Received: 29.01.2024

Accepted: 19.02.2024

Published: 30.06.2024

ВВЕДЕНИЕ

Впервые флуоресцеин в офтальмологии был применён Р. Ehrlich в 1882 году для наблюдения за динамикой движения водянистой влаги после введения его подкожно [1]. Свойство флуоресцеина хорошо растворяться в воде и проявлять флуоресценцию при сверхмалом разведении (1 часть красителя на 200 млн. частей воды) позволяют качественно оценивать движения жидкости [2]. Флуоресценция является разновидностью фотолюминисценции — процесса свечения в молекулах при действии на них поглощённых фотонов [3]. Для возникновения данного явления необходим кобальтово-синий свет с длиной волны от 465 до 490 нм, при воздействии которого происходит возбуждение молекул флуоресцеина натрия и появляется свечение атомов, молекул и других частиц ярко-зелёным светом с длиной волны от 520 до 530 нм, возникающее в результате электронного перехода при возвращении из возбуждённого состояния в основное [4].

В офтальмологической практике флуоресцеин используется как в виде водного раствора динатриевой соли тёмно-оранжевого цвета, так и в виде бумажных тест-полосок импрегнированных красителем [5].

Немецкий офтальмолог Erich Seidel (1882–1948) в 1920 году на Гейдельбергском Конгрессе предложил использовать 2% раствор флуоресцеина калия местно в виде капель, чтобы показать вытекание внутриглазной жидкости из фильтрационной подушки после антиглаукоматозной операции — склерокорнеальной трепанации, описанной Elliot в 1909 году, принцип которой заключался в создании субконъюнктивальной фистулы [6, 7]. Идея автора, заключающаяся в обнаружения вытекающей внутриглазной жидкости с помощью флуоресцентного красителя, легла в основу теста Зейделя для выявления фильтрации камерной влаги при открытой травме глаза, перфорации роговицы в результате дегенерации и других состояний, при которых происходит истечение камерной влаги наружу [8].

Открытая травма глаза (ОТГ) является наиболее частой причиной инвалидности по зрению [9], поэтому своевременная диагностика травмы является одной из актуальных задач в профилактике инвалидизации по зрению и слепоты. Диагностика травм глаза у детей сложнее, чем у взрослых, которые могут объяснить механизм и характер травмы. Дети часто из-за боязни наказания скрывают историю травмы. Для осмотра ребёнка с травмой глаза необходимо привлечь медицинский персонал с целью обеспечения его иммобилизации, а в случае подозрения на ОТГ применять анестезиологическое пособие. Офтальмолог должен хорошо знать методику и понимать принципы диагностических тестов, применяемых с целью дифференциальной диагностики травмы.

Среди методов диагностики, позволяющих обнаружить фильтрацию камерной влаги через прободную рану

роговицы, достоверным и информативным является тест Зейделя.

Проведя анализ источников литературы, посвящённых описанию теста Зейделя, мы обнаружили, что отсутствует единая трактовка, а в ряде случаев имеются противоречащие друг другу результаты этого теста. Так, одни авторы указывают на появление ярко-зелёного ручейка размываемого красителя вследствие истечения из раны внутриглазной жидкости [10, 11]. Другие — описывают любое вытекание водянистой влаги на поверхность глаза, замеченное по истеканию чистой неокрашенной струйки по зелёной слёзной плёнке [12].

Положительный тест Зейделя относится к абсолютным признакам ОТГ [10], и от понимания его трактовки зависит своевременно и правильно установленный диагноз ОТГ.

Цель. Исследовать явление флуоресценции при окрашивании флуоресцеиновым красителем глазной поверхности на экспериментальной модели открытой травмы глаза (прободном ранении роговицы).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Экспериментальное исследование было выполнено в учебной лаборатории Wetlab Санкт-Петербургского филиала НМИЦ МНТК «Микрохирургия глаза» им. академика С.Н. Федорова» на 36 кадаверных свиных глазах. Перед использованием биологический материал хранился в холодильнике при температуре +4°C с целью сохранения механических свойств всех тканей глаза. Эксперимент проводился через 1 час нахождения глаз при комнатной температуре в физиологическом 0,9% растворе хлорида натрия. Кадаверные глаза устанавливали в фиксатор глазного яблока и проводили биомикроскопию роговицы с помощью щелевой лампы с адаптированной системой фотофиксации.

Для восполнения объёма внутриглазной жидкости (ВГЖ) была использована перфузионная система в виде одноразового медицинского шприца с иглой калибра 27G объёмом 5 мл, который вводили в переднюю камеру через тоннельный самогерметизирующийся разрез роговицы шириной 2,75 мм. После того, как был восполнен объём ВГЖ введением 0,5 мл стерильного физиологического 0,9% раствора хлорида натрия, создавали прободное ранение роговицы в центральной зоне с помощью инсулиновой иглы. Диаметр отверстия раны составлял от 0,23 до 0,30 мм.

Сразу после создания ОТГ в виде прободного отверстия роговицы производили окрашивание с помощью бумажной тест-полоски, импрегнированной флуоресцеином и смоченной стерильным физиологическим раствором натрия хлорида. Аппликацию проводили непосредственно в месте созданного прободного ранения роговицы свиного кадаверного глаза. Наблюдение проводили в кобальтово-синем свете щелевой лампы методом диффузного освещения. После удаления тест-полосок с глазной

поверхности начинался хронометраж эксперимента и описание изменений.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Явление флуоресценции наблюдалось сразу после нанесения красителя на глазную поверхность кадаверных глаз с ОТГ. Флуоресцеин растворялся в вытекающей внутриглазной жидкости и фиксировался по краям раны. Далее отмечалось изменение в окраске потока вытекающей внутриглазной жидкости. Время эксперимента составило 5 секунд (с). В этом временном интервале наблюдали две фазы окрашивания потока вытекающей жидкости. Так, до 2,95 с наблюдали ярко-зелёный поток жидкости (рис. 1, 2). После 2,95 с происходило размывание красителя и разделение основной струи жидкости на несколько потоков с разной степенью интенсивности окрашивания (рис. 3). Через 4,12 с наблюдали уже прозрачный поток вытекающей жидкости в центре и окрашенные зелёные потоки по краям (рис. 4).

ОБСУЖДЕНИЕ

На процесс флуоресценции существенно влияют следующие факторы: фиксация красителя структурами живых тканей глаза, концентрация флуоресцеина в вытекающей камерной влаге, взаимодействие флуоресцеина с другими молекулами, pH слезы и внутриглазной жидкости [13].

Флуоресцеин при нанесении на глазную поверхность присоединяется к гидрофильным участкам повреждённых клеточных мембран эпителия роговицы и мембраны Боумена, образуя прочную электростатическую связь, но не проникает через зоны окклюзии неповреждённого эпителия роговицы. Трансмембранные муцины (MUC1, MUC4 и MUC16), которые локализуются в гликокаликсе на поверхности эпителиальных клеток глазной поверхности и галактин-3, имеют важное значение в препятствии проникновению красителя в интактный эпителий [14].

При прободном ранении роговицы вытекающая камерная влага растворяет флуоресцеин. Интенсивность флуоресценции будет напрямую зависеть от концентрации красителя [15, 16].

Повышение концентрации красителя приводит к резкому сокращению выхода флуоресценции в связи с внутримолекулярными и межмолекулярными процессами. К внутримолекулярным процессам относятся столкновения и соударения молекул друг с другом, при которых энергия возбуждения принимается в виде кинетической или колебательной энергии («тушение флуоресценции») [17].

К межмолекулярным процессам относят тушение флуоресценции, вызванное другими растворёнными веществами, такими как молекулярный кислород, растворённые белки, тяжёлые металлы или галогены, большое количество непредельных и ароматических соединений [18].

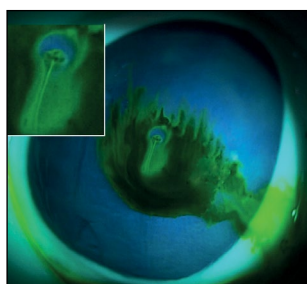


Рис. 1. Фаза «ярко-зелёного ручейка» пробы Зейделя сразу после окрашивания флуоресцеином.

Fig. 1. “Bright-green stream” phase of the Seidel test immediately after fluorescein staining.

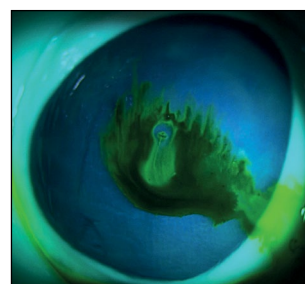


Рис. 2. Фаза «ярко-зелёного ручейка» пробы Зейделя через 1,32 с после окрашивания флуоресцеином.

Fig. 2. “Bright-green stream” phase of the Seidel test 1.32 s after fluorescein staining.

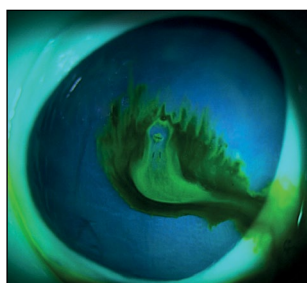


Рис. 3. Фаза «прозрачного потока» вытекающей жидкости через 2,95 с после окрашивания флуоресцеином.

Fig. 3. “Clear flow” phase of the escaping fluid 2.95 s after fluorescein staining.

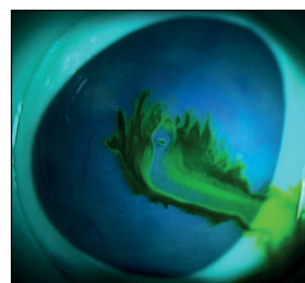


Рис. 4. Фаза «прозрачного потока» вытекающей жидкости через 4,12 с после окрашивания флуоресцеином.

Fig. 4. “Clear flow” phase of the escaping fluid 4.12 s after fluorescein staining.

Особенно заметна роль белков в тушении флуоресценции и связанная с этим протеомная характеристика камерной влаги. При таких заболеваниях, как глаукома и диабетическая ретинопатия, наблюдается повышение концентрации и соотношения белков к другим растворённым молекулам во внутриглазной жидкости [19].

Имеются также работы, в которых установлено влияние pH слезы и камерной влаги. В норме pH камерной влаги составляет 7,32–7,60, а слезы и слёзной плёнки — 7,4–7,6 [20, 21]. Интенсивность флуоресценции достигает максимума при pH=7,0–8,0, но становится едва заметным при pH=4,5 [22]. При изменении pH раствора (слёзной плёнки или камерной влаги) с 7,5 до 8,5 и повышении концентрации флуоресцеина до 0,125%, близкой к порогу внутреннего тушения, будет наблюдаться снижение интенсивности флуоресценции [20].

Таким образом, опираясь на физико-химические и биохимические свойства флуоресцеина и его способность окрашивать живые структуры тканей глаза, а также вызывать явление флуоресценции при растворении в водных растворах (слезы и камерной влаги), можно сделать следующий вывод. При постановке пробы Зейделя флуоресцеин после нанесения на глазную поверхность фиксируется повреждёнными структурами роговицы (клетками переднего эпителия и мембраны Боумена, а также волокнами повреждённой стромы роговицы, не проникая через интактный эпителий), а также растворяется в вытекающей под силой тяжести камерной влаге, что даёт зелёное свечение.

Опираясь на результаты эксперимента, можно выделить две фазы в окрашивании вытекающей внутриглазной жидкости. Первая фаза «ярко-зелёного ручейка» переходит в фазу неравномерно окрашенных потоков вытекающей жидкости с центральным прозрачным и окрашенным по краям зелёным. Такое неравномерное окрашивание потоков жидкости от ярко-зелёного до бледно-зелёного цвета напрямую зависит от концентрации красителя, pH камерной влаги и присутствия посторонних молекул. Ключевым фактором будет являться концентрация красителя. При размывании красителя потоками вытекающей под силой тяжести внутриглазной жидкости выделяются области с разной концентрацией флуоресцеина. При большей концентрации вещества выделяется область по краям струи вытекающей жидкости, а при меньшей — в центре потока [23].

ВЫВОДЫ

1. Анализ данных литературы показал, что феномен флуоресценции, который наблюдается в тесте Зейделя, зависит от ряда факторов, играющих ключевую роль в окрашивании и свечении молекул флуоресцеина. Это концентрация растворённого красителя, значение pH слезы, слёзной плёнки и камерной влаги, других веществ,

присутствующих на глазной поверхности и во внутриглазной жидкости.

2. Тест Зейделя состоит из двух последовательных фаз. Первая фаза — появление «ярко-зелёного ручейка» вытекающей внутриглазной жидкости через рану роговицы, по длительности не превышающей 3 секунд после введения флуоресцеина. Первая фаза теста переходит во вторую фазу, когда в центре потока жидкость становится прозрачной, а по краям сохраняется ярко-зелёное прокрашивание.

3. Имеющиеся в литературе описания теста Зейделя не противоречат друг другу, а описывают изменения последовательных фаз теста.

4. Проводить тест Зейделя необходимо с соблюдением всех условий, обеспечивающих проявление флуоресценции, обязательно используя кобальтовый фильтр щелевой лампы, и оценивать результат с учётом последовательности его фаз.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: М.А. Фомина — разработка концепции, утверждение рукописи для публикации; Э.В. Бойко — сбор и анализ источников, обработка материала, написание текста; В.С. Теренин — интерпретация данных, редактирование текста; Ю.М. Петросян — интерпретация данных, редактирование текста.

ADDITIONAL INFO

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Author contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. The largest contribution is distributed as follows: Natalya V. Fomina — development of the concept, final approval of the manuscript for publication; Ernest V. Boiko — collecting and analyzing sources, processing material, writing text; Vitaliy S. Terenin — data interpretation, text editing., editing of the article; Yurii M. Petrosyan — data interpretation, text editing.

ЛИТЕРАТУРА

- Linner E., Friedenwald J.S. The appearance time of fluorescein as an index of aqueous flow // *Am J Ophthalmol.* 1957. Vol. 44, N. 2. P. 225–229. doi: 10.1016/0002-9394(57)90011-9
- Romanchuk K.G. Fluorescein. Physicochemical factors affecting its fluorescence // *Surv Ophthalmol.* 1982. Vol. 26, N. 5. P. 269–283. doi: 10.1016/0039-6257(82)90163-1
- Бёккер Ю. Спектроскопия. Москва: Техносфера, 2009. 527 с.
- Pothen A.G., Parmar M. Fluorescein. 2023 May 29. In: StatPearls [интернет]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2024. Режим доступа: www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK555957/
- Lebensohn J.E. Fluorescein in ophthalmology // *Am J Ophthalmol.* 1969. Vol. 67, N. 2. P. 272–274. doi: 10.1016/0002-9394(69)93161-4
- Seidel E. Weitere Experimentelle Untersuchungen über die Quelle und den Verlauf der Intraokularen Safstromung. III. Über den Vorgang der Physiologischen Kammerwasserabsonderung und Seine Pharmakoloische Beeinflussung // *Arch Klin Exp Ophthalmol.* 1920. № 102. P. 372–382.
- Seidel E. Weitere Experimentelle Untersuchungen über die Quelle und den Verlauf der Intraokularen Safstromung. VI. Die Filtrationsfähigkeit. eine Wesentliche Eigenschaft der Scleralnarben nach Erfolgreicher Elliotscher Trepanation // *Arch Klin Exp Ophthalmol.* 1921. № 104. P. 158–161.
- Stevens S. Ophthalmic practice // *Community Eye Health.* 2005. Vol. 18, N. 53. P. 79.
- Травмы глаза / под ред. Гундоровой Р.А., Нероева В.В., Кашникова В.В. Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2014. 560 с.
- Ченцова Е.В., Алексеева И.Б., Куликов А.Н. Клинические рекомендации. Открытая травма глаза: клиника, диагностика, лечение. Ассоциация врачей-офтальмологов. 2017. Режим доступа: www.avo-portal.ru. Дата обращения: 24.03.2022
- Oxford handbook of ophthalmology.* Denniston A.K.O., Murray P.I., editors. 4th ed. Oxford: Oxford Medical Handbooks, 2018. doi: 10.1093/med/9780198804550.001.0001
- Practical ophthalmology: A manual for beginning residents. Blomquist P.H., editor. American Academy of Ophthalmology, 2021. P. 134–135.
- Векшин Н.Л. Флуоресцентная спектроскопия биополимеров. Пуцзино: Фотон-век, 2014. EDN: QKRGVT
- Argüeso P., Guzman-Aranguez A., Mantelli F., et al. Association of cell surface mucins with galectin-3 contributes to the ocular surface epithelial barrier // *J Biol Chem.* 2009. Vol. 284, N. 34. P. 23037–23045. doi: 10.1074/jbc.M109.033332
- Marignan R. Spectroscopic methods and in particular spectrofluorimetry: The Quality Control of Medicines: Proceedings of the 35th International Congress of Pharmaceutical Sciences. Dublin, 1975. Elsevier, 1976. doi: 10.1016/B978-0-444-41454-0.50011-8
- Doughty M.J. pH dependent spectral properties of sodium fluorescein ophthalmic solutions revisited // *Ophthalmic Physiol Opt.* 2010. Vol. 30, N. 2. P. 167–174. doi: 10.1111/j.1475-1313.2009.00703.x
- Practical fluorescence, theory, methods and techniques. Guilbault G.G., editor. 2nd ed. New York, 1973. P. 23–28.
- Xu R., Teich W., Frenzel F., et al. Optical Characterization of sodium fluorescein *in vitro* and *ex vivo* // *Front Oncol.* 2021. Vol. 10, N. 11. P. 654300. doi: 10.3389/fonc.2021.654300
- Liu X., Liu X., Wang Y., et al. Proteome characterization of glaucoma aqueous humor // *Mol Cell Proteomics.* 2021. N. 20. P. 100117. doi: 10.1016/j.mcp.2021.100117
- Rossi M., Di Censo F., Di Censo M., Oum M.A. Changes in aqueous humor pH after femtosecond laser-assisted cataract surgery // *J Refract Surg.* 2015. Vol. 31, N. 7. P. 462–465. doi: 10.3928/1081597X-20150623-04
- Fischer F.H., Wiederholt M. Human precorneal tear film pH measured by microelectrodes // *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 1982. Vol. 218, N. 3. P. 168–170. doi: 10.1007/BF02215658
- Wessing A. Fluorescein angiography of the retina. Textbook and atlas. *Br J Ophthalmol.* 1970. Vol. 54, N. 2. P. 142.
- Cain W., Sinskey R.M. Detection of anterior chamber leakage with Seidel's test // *Arch Ophthalmol.* 1981. Vol. 99. № 11. P. 2013. doi: 10.1001/archoph.1981.03930020889015

REFERENCES

- Linner E, Friedenwald JS. The appearance time of fluorescein as an index of aqueous flow. *Am J Ophthalmol.* 1957;44(2):225–229. doi: 10.1016/0002-9394(57)90011-9
- Romanchuk KG. Fluorescein. Physicochemical factors affecting its fluorescence. *Surv Ophthalmol.* 1982;26(5):269–283. doi: 10.1016/0039-6257(82)90163-1
- Bekker Y. Spectroscopia. Moscow: Technosphaera 2009; 527 p. (In Russ.)
- Pothen AG, Parmar M. Fluorescein. 2023 May 29. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2024. Available from: www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK555957/
- Lebensohn JE. Fluorescein in ophthalmology. *Am J Ophthalmol.* 1969;67(2):272–274. doi: 10.1016/0002-9394(69)93161-4
- Seidel E. Weitere Experimentelle Untersuchungen über die Quelle und den Verlauf der Intraokularen Safstromung. III. Über den Vorgang der Physiologischen Kammerwasserabsonderung und Seine Pharmakoloische Beeinflussung. *Arch Klin Exp Ophthalmol.* 1920; 102:372–382.
- Seidel E. Weitere Experimentelle Untersuchungen über die Quelle und den Verlauf der Intraokularen Safstromung. VI. Die Filtrationsfähigkeit. eine Wesentliche Eigenschaft der Scleralnarben nach Erfolgreicher Elliotscher Trepanation. *Arch Klin Exp Ophthalmol.* 1921;104:158–161.
- Stevens S. Ophthalmic practice. *Community Eye Health.* 2005;18(53):79.
- Gundorova RA, Neroev VV, Kashnikov VV. Eye injury. Moscow: GEOTAR-Media; 2014. 560 p. (In Russ.)
- Chentsova EV, Alekseeva IB, Kulikov AN. Clinical guidelines. Open eye injury: clinical picture, diagnosis, treatment. Association of Ophthalmologists; 2017. Available from: www.avo-portal.ru. (In Russ.)
- Oxford handbook of ophthalmology.* Denniston AKO, Murray PI, editors. 4th ed. Oxford: Oxford Medical Handbooks; 2018. doi: 10.1093/med/9780198804550.001.0001
- Practical ophthalmology: A manual for beginning residents.* Blomquist P.H., editor. American Academy of Ophthalmology; 2021. P.134–135.

13. Vekshin NL. Fluorescence spectroscopy of biopolymers. Pushchino: Foton-vek; 2014. (In Russ.) EDN: QKRGVT
14. Argüeso P, Guzman-Aranguez A, Mantelli F, et al. Association of cell surface mucins with galectin-3 contributes to the ocular surface epithelial barrier. *J Biol Chem.* 2009;284(34):23037–23045. doi: 10.1074/jbc.M109.033332
15. Marignan R. Spectroscopic methods and in particular spectrofluorimetry: *The Quality Control of Medicines: Proceedings of the 35th International Congress of Pharmaceutical Sciences*; Dublin, 1975; Elsevier; 1976. doi: 10.1016/B978-0-444-41454-0.50011-8
16. Doughty MJ. pH dependent spectral properties of sodium fluorescein ophthalmic solutions revisited. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2010;30(2):167–174. doi: 10.1111/j.1475-1313.2009.00703.x
17. *Practical fluorescence, theory, methods and techniques.* Guilbault GG, editor. New York; 1973. P. 23–28.
18. Xu R, Teich W, Frenzel F, Hoffmann K, et al. Optical characterization of sodium fluorescein in vitro and ex vivo. *Front Oncol.* 2021;10(11):654300. doi: 10.3389/fonc.2021.654300
19. Liu X, Liu X, Wang Y, et al. Proteome characterization of glaucoma aqueous humor. *Mol Cell Proteomics.* 2021;20:100117. doi: 10.1016/j.mcpro.2021.100117
20. Rossi M, Di Censo F, Di Censo M, Oum MA. Changes in aqueous humor pH after femtosecond laser-assisted cataract surgery. *J Refract Surg.* 2015;31(7):462–465. doi: 10.3928/1081597X-20150623-04
21. Fischer FH, Wiederholt M. Human precorneal tear film pH measured by microelectrodes. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 1982;218(3):168–170. doi: 10.1007/BF02215658
22. Wessing A. Fluorescein angiography of the retina. Textbook and atlas. *Br J Ophthalmol.* 1970;54(2):142.
23. Cain W, Sinskey RM. Detection of anterior chamber leakage with Seidel's test. *Arch Ophthalmol.* 1981;99(11):2013. doi: 10.1001/archoph.1981.03930020889015

ОБ АВТОРАХ

***Фомина Наталья Владимировна**, к.м.н., доцент;
адрес: Россия, 191015, Санкт-Петербург, ул. Кирочная, 41;
ORCID: 0000-0003-0816-2891;
eLibrary SPIN: 4125-2640;
e-mail: Natalya.Fomina@szgmu.ru

Бойко Эрнест Витальевич, д.м.н., профессор;
ORCID: 0000-0002-7413-7478;
eLibrary SPIN: 7589-2512

Теренин Виталий Станиславович, врач-офтальмолог;
ORCID: 0009-0002-2578-5329;
eLibrary SPIN: 1848-2682

Петросян Юрий Микаелович, врач-офтальмолог;
ORCID: 0000-0003-4081-0078;
eLibrary SPIN: 7524-8382

AUTHORS INFO

***Natalya V. Fomina**, MD, Cand. Sci. (Med.), Assistant Professor;
address: 41, Kirochnaya street, 191015, Saint-Petersburg, Russia;
ORCID: 0000-0003-0816-2891;
eLibrary SPIN: 4125-2640;
e-mail: Natalya.Fomina@szgmu.ru

Ernest V. Boiko, MD, Dr. Sci. (Med.); Professor;
ORCID: 0000-0002-7413-7478;
eLibrary SPIN: 7589-2512

Vitaly S. Terenin, MD, ophthalmologist;
ORCID: 0009-0002-2578-5329;
eLibrary SPIN: 1848-2682

Yurij M. Petrosyan, MD, ophthalmologist;
ORCID: 0000-0003-4081-0078;
eLibrary SPIN: 7524-8382

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author