

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
«МИКРОХИРУРГИЯ ГЛАЗА» ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.Н. ФЕДОРОВА»
МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

На правах рукописи

ЗЕЛЕНЦОВ КИРИЛЛ СЕРГЕЕВИЧ

**Структурно-функциональные изменения зрительного нерва после
закрытой травмы глаза**

3.1.5 – Офтальмология (медицинские науки)

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Научный руководитель
доктор медицинских наук Е.Э. Иойлева

Москва 2021

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Глава 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	
1.1. Повреждение зрительного нерва, как одна из основных причин необратимого снижения зрения в ранний период после закрытой травмы глаза.....	10
1.2. Эпидемиология повреждения зрительного нерва вследствие закрытой травмы глаза	11
1.3. Анатомия, морфология и кровоснабжение зрительного нерва.....	17
1.4. Патопфизиология и биомеханика повреждения зрительного нерва вследствие закрытой травмы глаза	23
1.5. Клиническая картина повреждения зрительного нерва после закрытой травмы глаза.....	29
1.6. Классификация закрытой травмы глаза	30
1.7. Методы исследования повреждения зрительного нерва.....	32
1.7.1. Спектральная оптическая когерентная томография.....	32
1.7.2. Статическая компьютерная периметрия.....	34
1.7.3. Электроретинограмма.....	35
1.7.4. Зрительно-вызванные потенциалы.....	39
1.7.5. Ультразвуковое исследование зрительного нерва.....	40
1.7.6. Магнитно-резонансная томография.....	40
Глава 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	
2.1. Общая характеристика материала	43
2.2. Методы исследования.....	46
2.2.1. Стандартные офтальмологические исследования.....	47
2.2.2. Специальные методы исследования.....	47
2.2.2.1. Спектральная оптическая когерентная томография.....	48
2.2.2.2. Электроретинография.....	49
2.2.2.3. Регистрация зрительных вызванных потенциалов.....	50
2.2.2.4. Ультразвуковое исследование зрительного нерва.....	51
2.2.2.5. Магнитно - резонансная томография орбиты.....	51

2.4. Методы статической обработки данных.....	52
Глава 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЙ ЗРИТЕЛЬНОГО НЕРВА У ПАЦИЕНТОВ ПОСЛЕ ЗАКРЫТОЙ ТРАВМЫ ГЛАЗА	
3.1. Результаты оценки изменений морфометрических параметров диска зрительного нерва и сетчатки после закрытой травмы глаза методом спектральной оптической когерентной томографии.....	53
3.2. Результаты оценки изменений зрительного нерва и сетчатки после закрытой травме глаза методом регистрации электроретинограммы.....	59
3.3. Результаты оценки изменений зрительного нерва и сетчатки после закрытой травмы глаза методом регистрации зрительных вызванных потенциалов.....	65
3.4. Результаты исследования диаметра зрительного нерва в ретробульбарном отделе методом ультразвуковых исследований.....	66
3.5. Сравнительный анализ исследования диаметра зрительного нерва в ретробульбарном отделе методом ультразвуковых исследований и магнитно-резонансной томографии.....	68
Глава 4. ОЦЕНКА ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ЗНАЧИМОСТИ МЕТОДОВ ОПТИЧЕСКОЙ КОГЕРЕНТНОЙ ТОМОГРАФИИ, ЭЛЕКТРОРЕТИНОГРАММЫ И УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИССЛЕДОВАНИЯ РЕТРОБУЛЬБАРНОЙ ЧАСТИ ЗРИТЕЛЬНОГО НЕРВА У ПАЦИЕНТОВ С ЗАКРЫТОЙ ТРАВМОЙ ГЛАЗА МЕТОДАМИ КОРРЕЛЯЦИОННОГО И РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА	
4.1. Оценка диагностической значимости оптической когерентной томографии, электроретинограммы и ультразвукового исследования ретробульбарной части зрительного нерва у пациентов с закрытой травмой глаза различной степени тяжести методом корреляционного анализа	71
4.2. Оценка диагностической значимости методов оптической когерентной томографии у пациентов с закрытой травмой глаза методом регрессионного анализа.....	72
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	75
ВЫВОДЫ.....	89
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.....	91
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	95
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	96

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Травмы глаз являются основной причиной заболеваний глаз и монокулярных нарушений зрения и представляют серьезную проблему для общественного здравоохранения.

По оценкам экспертов [165,199] ежегодно во всем мире происходит около 55 миллионов травм глаз, ограничивающих активность более чем на один день. Данные ВОЗ показывают, что примерно 19 миллионов человек во всем мире страдают односторонней слепотой или слабым зрением в результате травмы. Частота, с которой глазные травмы требуют госпитализации, колеблется от 4,9 до 89 на 100 000 населения [88,151,152,158,179,182,191,200]. Именно поэтому ВОЗ включило изучение влияния на снижение предотвратимой слепоты в результате травм глаза в глобальную инициативу «Vision 2020 - The Right to Sight» [107].

По данным Росстата [1], в России в 2018 году было зафиксировано 8902,9 травм на 100 000 населения. 7% из этого количества пришлось на травмы глаза. При анализе глазного травматизма в России, проведенных в 2000-2016 годах, многие исследователи отмечают, что остаются практически неизменными как возрастная, так и гендерная структуры глазного травматизма. По-прежнему травмам органа зрения в России, как и за рубежом, чаще подвержены люди трудоспособного возраста 30—45 лет, при этом в 63-84% случаев в основном это были мужчины [16,18,19,27,33,42,54,55,61].

Среди всех травм органа зрения, потребовавших госпитализацию, устойчивое второе место занимает контузия глазного яблока, уступая первое место проникающим ранениям глаз [3,7,11,80,85,96,159]. В некоторых регионах, в силу различных местных и национальных особенностей,

частично из-за различий в работе и образе жизни, контузии глаза занимают первое место среди всех прочих глазных травм [60,61,100,112,196].

Травмы глаза могут привести к серьезному поражению зрительного анализатора - травматической оптической нейропатии (ТОН), которая характеризуется выраженным нарушением зрения после непрямого или прямого повреждения зрительного нерва. Наиболее частой причиной развития ТОН является контузия глаза, травма лица и орбиты, черепно-мозговая травма.

Частота ТОН была отмечена в 0,5–8,0% случаев черепно-мозговых травм [26,167,203]. При краниоорбитальной травме частота ТОН достигает от 16,7% [5] до 21,9%-23,7% [49,51,62]. Частота ТОН выше у пациентов с травмами средней зоны лица (от 2,5 до 29,8%), особенно в случае сопутствующего перелома костей орбиты [82,145,150,171,186].

При закрытой травме глаза, к которой по классификации Birmingham Eye Trauma Terminology относится контузия глаза [140], ТОН встречается в 1,16 – 19 % случаев [48,67,73,111].

Учитывая, что ранняя диагностика травматической оптической нейропатии у пациентов с минимальными клиническими проявлениями недостаточно изучена, своевременное выявление поражения зрительного нерва в раннем посттравматическом периоде играет важнейшую роль в оценке прогноза восстановления зрительных функций, необходимо разработать дифференциально-диагностические критерии структурно-функциональных изменений зрительного нерва в ранний период закрытой травмы глаза различной степени тяжести.

Цель исследования-изучить структурно-функциональные изменения зрительного нерва после закрытой травмы глаза (тип А) при различной степени тяжести.

Для реализации поставленной цели были сформулированы следующие задачи исследования:

1. На основании метода спектральной оптической когерентной томографии изучить морфометрические параметры диска зрительного нерва, нейроархитектонику перипапиллярной и макулярной области сетчатки у пациентов с закрытой травмой глаза (тип А) различной степени тяжести.
2. На основании метода электроретинографии у пациентов с закрытой травмой глаза (тип А) различной степени тяжести изучить функциональное состояние внутренних слоев сетчатки, содержащих ганглиозные клетки.
3. На основании регистрации зрительных вызванных потенциалов изучить функциональное состояние зрительного нерва у пациентов с закрытой травмой глаза (тип А) различной степени тяжести.
4. На основании методов УЗИ и МРТ орбиты изучить изменения орбитальной части зрительного нерва у пациентов с закрытой травмой глаза (тип А) различной степени тяжести.
5. Оценить диагностическую значимость методов оптической когерентной томографии, ультразвукового исследования зрительного нерва, электроретинографии, регистрации зрительно-вызванных потенциалов у пациентов после закрытой травмы глаза (тип А) различной степени тяжести методами многомерного, корреляционного, регрессионного анализа.

Научная новизна

1. Впервые с помощью спектральной оптической когерентной томографии выявлена взаимосвязь морфометрических изменений в ДЗН, перипапиллярном слое нервных волокон сетчатки и комплексе ганглиозных клеток сетчатки после закрытой травмы глаза (тип А), и данные значения имеют прямую зависимость от тяжести травмы.

2. Впервые с использованием анализа осцилляторных потенциалов ЭРГ изучены особенности функционального состояния внутренних слоев сетчатки, содержащих ганглиозные клетки, у пациентов с ЗТГ (тип А) в раннем посттравматическом периоде. Впервые с использованием анализа осцилляторных потенциалов ЭРГ у пациентов с ЗТГ (тип А) выявлено снижение амплитуды и изменение формы волн осцилляторных потенциалов.

3. Впервые проведено сравнение диаметра зрительного нерва с оболочками на основании ультразвукового метода исследования и магнитно-резонансной томографии. Выявлено увеличение диаметра зрительного нерва с оболочками в ретробульбарном отделе после закрытой травмы глаза (тип А) различной степени тяжести.

4. Впервые проведено сравнение структурных и функциональных параметров зрительного нерва после закрытой травмы глаза (тип А) различной степени тяжести.

5. Впервые на основании ОКТ у пациентов с ЗТГ (тип А) выявлено, что на 1-5 день (в среднем $3,14 \pm 0,23$ день) возникает отек перипапиллярного слоя нервных волокон сетчатки и диска зрительного нерва, а затем с 10-15 дня (в среднем $9,12 \pm 0,48$ день) возникает отек комплекса ганглиозных клеток сетчатки.

Практическая значимость

1. На основании результатов оптической когерентной томографии выявлены характерные для пациентов после ЗТГ (тип А) морфометрических параметры диска зрительного нерва, нейроархитектоники перипапиллярной и макулярной области сетчатки и функциональные параметры зрительного нерва, выраженность которых ассоциируется с тяжестью травмы.

2. Определены диагностические критерии, способствующие повышению эффективности определения посттравматических изменений в сетчатке и зрительном нерве у пациентов после закрытой травмы глаза (тип А).

3. Обоснована целесообразность включения методов оптической когерентной томографии, электроретинографии и зрительных вызванных потенциалов, ультразвукового исследования ретробульбарного отдела зрительного нерва. в схему обследования пациентов после ЗТГ (тип А) различной степени тяжести

Основные положения, выносимые на защиту

Выявленные диагностические возможности методов оптической когерентной томографии, ультразвукового исследования зрительного нерва, электроретинографии, зрительно-вызванных потенциалов, заключающиеся в характерных достоверных отличиях по структурным параметрам: средней толщине СНВС, объёму и площадью экскавации ДЗН, объёму и площадью нейроретинального пояска, средней толщине комплекса ганглиозных клеток, объёму глобальных и фокальных потерь КГК, диаметру зрительного нерва с оболочками; и функциональным параметрам: индексу осцилляторных потенциалов и амплитуде волны Р-100 ЗВП; обладают высокой степенью информативности и могут быть использованы в качестве критериев для диагностики поражения зрительного нерва после закрытой травмы глаза (тип А) различной степени тяжести.

Внедрение результатов работы в практику

Результаты данного исследования внедрены в диагностический алгоритм обследования пациентов и клиническую деятельность ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Министерства здравоохранения Российской Федерации г. Москвы и филиалов, кафедры глазных болезней Московского государственного медикостоматологического университета им. А.И. Евдокимова, Бюджетного

учреждения здравоохранения Вологодской области «Вологодская областная офтальмологическая больница».

Апробация работы

Материалы диссертационной работы доложены и обсуждены на: XI Всероссийской научной конференции молодых ученых с международным участием «Актуальные проблемы офтальмологии» (Москва, 2016); XII Всероссийской научной конференции молодых ученых с международным участием «Актуальные проблемы офтальмологии» (Москва, 2017); научно-практической конференции с международным участием «Азаровские чтения. Нейроофтальмология. Патология сетчатки» (Судак, 2017); XX Congress EVER-2017. European Association for Vision and Eye Research.- Nice, France, 27-30 September 2017 (Ницца, 2017); Всероссийской научной конференции «Федоровские чтения - 2018» (Москва, 2018); международной научно-практической конференции «Роль и место биомедицинской техники в современной медицине» (Вологда, 2018); областных конференциях офтальмологов Вологодской области (Вологда, 2016, 2019), на научно-клинической конференции ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России», (Москва, 2019, 2020).

Публикации

По материалам диссертации опубликовано 12 печатных работ, из них 4 статьи в журналах, входящих в перечень рецензируемых изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, 1- в зарубежной печати.

Структура и объем диссертации

Диссертация изложена на 122 страницах машинописного текста и состоит из введения, обзора литературы, описания материалов и методов

исследования, результатов собственных исследований, заключения, выводов, практических рекомендаций и списка использованной литературы. Работа иллюстрирована 11 таблицами, 6 рисунками. Библиографический указатель содержит 218 источников (75 отечественных и 143 зарубежных).

ГЛАВА 1

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Повреждение зрительного нерва, как одна из основных причин необратимого снижения зрения после закрытой травмы глаза

Закрытая травма глаза (тип А), к которой относится контузия глаза, занимает одно из первых мест в общей структуре травматических повреждений органа зрения [140, 218]. В последнее время отмечается увеличение числа больных с тяжёлыми контузионными поражениями за счёт бытовой и криминальной травмы. Частая встречаемость повреждения зрительного нерва в основном у лиц молодого трудоспособного возраста и возможность развития осложнений, представляющих серьёзную угрозу для зрения, определяют медико-социальную значимость контузионных травм глаза [15,41,45,52,57-59].

Травма зрительного нерва при закрытой травме глаза многообразна по клинической картине, но зачастую в ранний период невозможно офтальмоскопически выявить какую-либо видимую патологию нерва. Многие травматические нарушения зрительного нерва, не видимые офтальмоскопически, выявляются при проведении различных методов исследований: электрофизиологических исследований, ОСТ, полей зрения, МРТ [4,8,19-21,28,31,32,38,40,47,50,64,66,70-74,103].

Одним из наиболее тяжелых осложнений закрытой травмы глаза (ЗТГ) является травматическая оптическая нейропатия (ТОН), когда вследствие контузии зрительного нерва зрение снижается вплоть до слепоты при сохранности глазного яблока [21,28,29,38,43,44,56,64,67,70,89,116,143,145,192,215]. Большинство исследований посвящено именно «классической» ТОН, которое протекает с резким снижением зрения, выраженными дефектами в полях зрения. В то же время транзиторное снижение зрения в раннем периоде после закрытой травмы глаза, когда на глазном дне зачастую не отмечается офтальмоскопических видимых изменений ДЗН, остается малоизученным. Неадекватное лечение этого состояния ведет к развитию атрофии зрительного нерва [108]. Но атрофия зрительного нерва представляет собой уже конечную стадию повреждения волокон зрительного нерва со знакомой всем картиной изменений зрительного нерва.

Остается малоизученным вопрос изменений в зрительном нерве при высоких зрительных функциях и незначительных дефектах в полях зрения после закрытой травмы глаза различной степени тяжести. В большинстве случаев при 1 и 2 степени тяжести ЗТГ (тип А) пациенту не проводятся дополнительные методы исследования для оценки структурно-функциональных повреждений зрительного нерва.

1. 2. Эпидемиология повреждения зрительного нерва при закрытой травме глаза

Наиболее распространенной форма повреждения зрительного нерва является непрямая травма зрительного нерва, возникающее от 0,5% до 5% от всех закрытых травм глаза и орбиты, в том числе и в результате черепно-мозговых травм [97,127,135,138,193].

Загидуллина А.Ш. [29] при изучении структуры частичных атрофий зрительного нерва (ЧАЗН) различной этиологии (по материалам историй болезней 638 пациентов, находившихся на стационарном лечении в

Уфимском НИИ глазных болезней в течение 5 лет с 1996 по 2000 годы), отметила, что удельный вес травматических ЧАЗН составляет 24,1%. При комплексном обследовании в Уфимском НИИ глазных болезней 124 пациентов с повреждением зрительного нерва в различные периоды травмы двусторонний характер поражения выявлен у 18,5%. Изолированное повреждение зрительного нерва установлено у 80,6%, хиазмы - у 2,4%, сочетание повреждения зрительного нерва и хиазмы - у 16,9% больных. Контузии глазных яблок различной степени были диагностированы у 86 (69,4%) больных. У 15 (12,1%) пациентов отмечены ретробульбарные гематомы, которые проявлялись экзофтальмом и офтальмоплегией. Повреждения глазодвигательных нервов наблюдались у 10 (8,1%) пациентов, чаще при тяжелых ЧМТ, проявляясь расходящимся косоглазием, мидриазом, птозом, а поражение отводящего нерва - сходящимся косоглазием и диплопией при взгляде в сторону. Постконтузионная ЧАЗН после контузии глазного яблока 1 и 2 степени тяжести травмы развилась у 12 (9,7%) пациентов.

Зеленцов С.Н. [30] при исследовании 230 пациентов с контузией глазного яблока, выявил ЧАЗН у 21 больного (9,13%). Из 9 больных, ослепших непосредственно после контузионной травмы, только у 3 пациентов, по данным компьютерной томографии, отмечены переломы костей орбиты и канала зрительного нерва, а у 6 больных костной патологии не выявлено, что говорит в пользу выраженного нарушения кровообращения в зрительном нерве вследствие контузионной травмы.

По данным Шеремет Н.Л. [73] исследовавшей 658 пациентов (985 глаз) с оптическими нейропатиями различного генеза, обследованных в ФГБНУ «НИИ глазных болезней РАН» с 2006 по 2014 г., была выявлена ТОН в 7,5% случаев у пациентов с закрытой травмой глаза и черепно-мозговой травмой. При этом двусторонняя ТОН выявлена в 14 случаях. Средний возраст пациентов составил 29,3 года, в 63,46% случаев пациенты были мужского пола. Причиной ТОН была автотравма в 34,8 % случаев (23

глаза), ЧМТ головы в результате удара и падения с высоты – 62,1% (41 глаз). Огнестрельные ранения головы, колото-резанные травмы были нечастыми причинами (3,1% случаев, 2 глаза). Закрытая ЧМТ (ЗЧМТ) была отмечена в 53% случаев (35 глаз), открытая ЧМТ (ОЧМТ) – в 33,4% (22 глаза), тупая травма и орбиты – в 12,1% (8 глаз), проникающая огнестрельная травма орбиты – в 1,5% (1 глаз). Сочетанная краниоорбитальная травма наблюдалась в 36,4% случаев (24 глаза), перелом стенок орбиты – в 27,3% (18 глаз). Изменения КТ, МРТ головного мозга и орбит были отмечены в 57,7 % случаев в виде перелома костей черепа, контузии головного мозга, внутричерепных кровоотечений, гематом, что свидетельствовало о тяжести перенесенной травмы.

Иойлева Е.Э. [34] при исследовании 244 больных (406 глаз) с частичной атрофией зрительного нерва различной неглаукоматозной этиологии отметила, что на первом месте по частоте была ЧАЗН посттравматической этиологии, которая составила 28,8% среди всех больных.

Бурцева М.С. [8] при анализе данных Бюро МСЭ г.Ростов-на-Дону отметила, что в накопленном контингенте инвалидов вследствие ЧМТ в 2005 г. зарегистрировано 7200 человек, что составило 4,7 на 1000 населения. В группе пациентов, перенесших ЧМТ, преобладала закрытая ЧМТ, которая составила 85,7% (6170 человек). Непосредственной причиной инвалидности офтальмопатология установлена у 241 пострадавшего (3,9%) среди инвалидов с закрытой ЧМТ. При этом в структуре офтальмопатологии, как причины инвалидности, 1-ое место занимает атрофия зрительного нерва - 35,6%.

По данным Каменских Т.Г. [35], обследовавшей 1065 пациентов, у 5% из них была отмечена посттравматическая частичная атрофия зрительного нерва.

При 5-летнем исследовании ТОН в Великобритании выявили 121 случай. Минимальная заболеваемость в популяции была 1,005 на миллион. Основными причинами ТОН являлись: удар при падении (25.6%), дорожно-

транспортные происшествия (ДТП) (21,5%) и разбойные нападения (20,7%). Средний возраст потерпевших составлял 31 год, среди них мужчины составляли 78,5%. Острота зрения была 6/60 или хуже у 70% пациентов, у 36% - без восприятия света. Сочетанные повреждения отмечены у 39% (переломы стенок глазницы), в 31% - закрытая травма глаза; у 19% - повреждения придатков глаза; в 19% - переломы черепа, и у 16% - внутричерепное кровоизлияние [144].

20-летнее исследование [172] на самом большом травмпункте в Канаде выявило ТОН у 0,4% обратившихся с различными травмами пациентов. Из них 76% составляли мужчины со средним возрастом 33,5 лет. Важно отметить, что у всех пациентов с ТОН имелись черепно-мозговые травмы (ЧМТ). Тем не менее, только 2,3% пациентов с черепно-мозговой травмой имели ТОН. В то же время, исследования Netzer [123] показали, что при экспериментальной ЧМТ у животных регистрировали аксональную дегенерацию волокон зрительного нерва с ассоциированной гибелью ганглиозных клеток сетчатки. Это является прямым доказательством повреждения ганглиозных клеток сетчатки после травмы головы.

Ретроспективное исследование ТОН у педиатрических больных (средний возраст 11,6 лет, 43 пострадавших глаза) дали сходные результаты с исследованиями у взрослых. В целом, 60% пострадавших были мужского пола, по этиологии в 62% были дорожно - транспортные происшествия и спортивные травмы (22%). Около 78% случаев были из-за тупой травмы головы и лица [116].

Ятрогенная ТОН является изученной причиной послеоперационной слепоты. Это может произойти во время орбитальной хирургии [90], остеотомии по методу Le Fort I [101], челюстно - лицевой фиксации перелома [181,188], и эндоскопической хирургии [130,131,205].

Исследование, проведенное в Индии [87], показало, что в 27% из 129 случаев, собранных в период с 1994 по 2006 г.г., отмечалось развитие не прямой ТОН после кранио-орбитальной травмы у велосипедистов,

участвовавших в ДТП. Примечательно, что эти пациенты, как сообщается, не носили защитные каски, предполагая, что шлемы могут слабо защищать.

В ряде публикаций сообщается, что травма лица также является важнейшим фактором риска для развития непрямой ТОН [166,174,184,206]. Ретроспективное исследование 379 последовательных пациентов, которые прошли хирургическое лечение в связи с лицевыми переломами в США, показало, что слепота выявлена в 6 % [150].

Наиболее неблагоприятными для развития ТОН являются травмы средней линии лица, поскольку они часто могут быть связаны с травмами орбиты, что может привести к заметному нарушению функции зрительного аппарата. По данным разных авторов частота развития ТОН при этой травме заметно варьировалась. Так, ряд исследователей отмечает развитие ТОН при травме средней линии лица в 1,56% - 2,5% [79,81,149]. По данным других исследователей частота офтальмологических нарушений при данном виде травмы выявлялась от 24,3% [161] до 59% [122].

MacKinnon С.А. et al. [148] при анализе 2516 пациентов с переломами лицевых костей, получавших оперативное лечение, у 317 выявили офтальмологические осложнения. Из них у 19 (5,9%) имелись серьезные нарушения зрения или слепота. Почти такую же частоту развития ТОН при травмах средней зоны лица отмечали Mehravarani R. et al. [155] в 6,25% случаев и Vodanapally U. et al. [89] у 6,9% травмированных.

При исследовании 266 больных с травмой лица, требующих оперативного снижения, у 14,8% выявили ТОН [164]. Развитие ТОН в 13,3% после травмы средней зоны лица отметили Patil S. et al. [171]. По данным Ashar A. et al. [82], при травмах средней зоны лица слепота выявлялась в 20,4%. При исследовании Sher J. et al. [186] 3599 случаев травм средней зоны лица и 1141 орбитальных перелома, в 29,8% случаев выявлена офтальмологическая патология с развитием ТОН.

Еолчийн С.А. [26] изучал ЧМТ, сопровождающуюся повреждением зрительного нерва (ЗН), и отметил, что она отличается значительным

полиморфизмом, связанным с вариабельностью механизмов травматического воздействия. У 9 (5,8%) из 156 больных имелись открытые повреждения ЗН вследствие проникающих ранений черепа и/или орбиты. По частоте превалировали закрытые не прямые повреждения ЗН при ЧМТ, полученной в результате воздействия на голову тупых предметов, которые отмечались у 147 (94,2%) больных. При исследовании 156 пострадавших с ТОН у 33 (21,2%) была диагностирована закрытая ЧМТ, у 122 (78,2%) — открытая, в том числе у 50 (32%) - проникающая ЧМТ; из них у 8 имелись огнестрельные и неогнестрельные проникающие ранения черепа и орбиты. У одной больной (0,6%) повреждение ЗН отмечалось в результате колотой раны орбиты, не проникающей в полость черепа. У 129 (82,7%) больных из 156 имелось одностороннее повреждение ЗН, у 27 (17,3%) — поражение зрительного пути на основании мозга. Переломы стенок зрительного канала, по данным рентгенологических исследований, оперативных вмешательств и аутопсии, выявлены у 23 (14,7%) из 156 пострадавших.

Исследования показали, что орбитальные переломы составляют примерно от 10 до 25% от всех случаев переломов лицевых [105,129,183]. От 11% до 15% орбитальных переломов связаны с офтальмологической патологией, большинство из которых сопровождаются снижением остроты зрения или другими визуальными изменениями [142,157].

По данным Koguzan P. et al. [137], проводивших ретроспективный анализ медицинской документации группы из 752 пациентов с переломами костей орбиты, интрабульбарные изменения обнаружили в 13% случаев, при этом заметное снижение зрения в результате ТОН у 11,2% пациентов. Орбитальные переломы могут так же вызывать слепоту в 0,7%-10% случаев [81,102,149,202].

Большинство исследований посвящено тяжелым формам повреждения зрительного нерва при травматической оптической нейропатии, но остается малоизученным вопрос о структурно-функциональных изменениях у пациентов с минимальными клиническими проявлениями и высокими

зрительными функциями. Представляет интерес ранняя диагностика и своевременное выявление начинающихся изменений зрительного нерва в раннем посттравматическом периоде при высоких зрительных функциях, что несомненно играет важнейшую роль в оценке прогноза восстановления зрения.

1.3. Анатомия, морфология и кровоснабжение зрительного нерва

Зрительный нерв (*nervus opticus*, II черепной нерв) формируется из аксонов ганглиозных клеток сетчатки, обеспечивающих проведение зрительных импульсов, возникающих в фоторецепторах сетчатки. В сетчатке, в зрительном нерве и далее на всем их протяжении аксоны ганглиозных клеток располагаются в определенном анатомо-топографическом порядке и объединяясь, образуют при выходе из глаза диск зрительного нерва. Зрительный нерв покидает глазное яблоко через хориосклеральный канал, который проходит через сосудистую оболочку и склеру [12].

Диск зрительного нерва расположена в назальной половине глазного яблока, на расстоянии 2,5-3 мм от заднего полюса глаза, в 0,5-1,0 мм книзу от горизонтального меридиана. Внутриглазная часть ЗН составляет в длину 0,7 - 1 мм, диаметр её 1,5 - 1,75 мм, имеет овоидную форму, окружена сетчаткой, хориоидеей и склеральным каналом, разделена решетчатой пластиной (РП, *lamina cribrosa*) преламинарный и ретроламинарный сегменты. Преламинарная порция зрительного нерва на 90% состоит из аксонов, перед ней расположена область поверхностных нервных волокон [12,36,53].

По данным Yan D. et al. [211] и Yang H. et al. [213], толщина РП составляет 119–463 мкм, а толщина склеры в заднем полюсе – около 1,12 мм, т.е. РП в 4–5 раз тоньше склеры, и с механической точки зрения ослаблена множеством отверстий. Область решетчатой пластинки

представлена полосами компактной соединительной ткани, которая образует перегородку склерального канала, содержащую 200-300 отверстий, в которых расположены пучки аксонов ганглиозных клеток сетчатки.

Аксоны ганглиозных клеток сетчатки (ГКС) окружены астроцитами, образующими глиальную мембрану. В центре каждой трабекулы решетчатой пластинки проходит по одному капилляру [12,36,53]. Преламинарный и ламинарный регионы, в основном, кровоснабжаются веточками задних, коротких цилиарных артерий и в меньшей степени артериями из круга Цинна - Галлера. Обычно от глазничной артерии отходят 2-3 цилиарные артерии [12,120]. Кровоснабжение ламинарной области осуществляется секторально, назальная половина кровоснабжается в меньшей степени. Слой поверхностных нервных волокон кровоснабжается главным образом ретинальными веточками от центральной артерии сетчатки. Капилляры, питающие интраокулярную часть ЗН, по структуре аналогичны ретинальным с плотными соединениями эндотелиальных клеток, не имеющие фенестраций. Это обстоятельство играет роль в функционировании гемато-ретинального барьера. Венозная кровь из преламинарного и ламинарного регионов оттекает в хориоидальные вены и в анастомозы центральной вены сетчатки [12,53].

В соответствии с топографическим расположением зрительного нерва в пределах глазного яблока, орбиты, зрительного канала и полости черепа в нём различают четыре соответствующих отдела: внутриглазной, внутриорбитальный, внутриканальцевый и внутричерепной [12,53].

Паренхима зрительного нерва состоит из примерно 1 млн. аксонов, тела которых расположены в слое ганглиозных клеток сетчатки, откуда аксоны этих клеток в слое нервных волокон направляются к диску зрительного нерва. На уровне наружной поверхности склеральной решетчатой пластинки, прикрывающей выход из склерального канала, волокна зрительного нерва приобретают миелиновую оболочку, а в ретробульбарном интраорбитальном пространстве зрительный нерв

покрывают три мозговые оболочки: твердая, паутинная и мягкая. Последняя из них окружает и внутричерепную часть зрительного нерва. Основная часть аксонов после окончания зрительного нерва продолжается в хиазме, зрительных трактах и заканчивается в латеральном колленчатом теле. Другая часть в составе *brachium colliculi superioris* достигает верхнего холмика, участвующего в передаче импульсов в ядро глазодвигательного нерва и ядро Якубовича. Волокна на всем протяжении зрительного пути расположены в строгом ретинопическом порядке, тот же порядок соблюдается и в корковом зрительном поле в области шпорной борозды [12,53].

Интраорбитальная часть зрительного нерва находится между задним полюсом глаза и передним орбитальным отверстием оптического канала. В орбите зрительный нерв образует винтообразный изгиб. Основной S-образный изгиб лежит в горизонтальной плоскости; кроме того, имеется еще небольшой изгиб в вертикальной плоскости. Такой ход нерва в орбите имеет важное значение, так как этим предотвращается растяжение нервных волокон при движениях глазного яблока. Длина зрительного нерва в орбите составляет от 23 до 31,5 мм [12]. Расстояние между вершиной орбиты и задним полюсом глаза несколько меньше длины ЗН (около 18 мм), это обстоятельство обеспечивает свободные движения глазного яблока. Иногда выделяют ретроламинарную область зрительного нерва, это короткий участок ЗН длиной около 2 мм, на котором аксоны окружены миелином, что приводит к увеличению зрительного нерва в диаметре до 3-4,5 мм. Дистальные участки зрительного нерва состоят из миелинизированных нервных волокон, аналогичных тем, которые формируют белое вещество мозга и проводящие пути спинного мозга. В отличие от периферических нервов волокна зрительного нерва не имеют Шванновской оболочки.

В орбите зрительный нерв покрыт твердой, арахноидальной и пиальной оболочками, которые являются продолжением мозговых оболочек. Оболочки ограничивают субдуральное и субарахноидальное про-

странства, которые сообщаются с аналогичными пространствами мозга, а на уровне lamina cribrosa слепо заканчиваются в склере. Зрительный нерв с оболочками имеет диаметр 4,5-5,5мм. Dura mater прочно соединена со склерой глаза и с орбитальным периостом по краю отверстия канала ЗН. Твердая оболочка имеет толщину 0,5-0,3 мм и состоит из плотной соединительной ткани. Pia mater формирует фиброваскулярные перегородки стромы зрительного нерва, которые разделяют волокна на отдельные 800 - 1200 пучков. Капилляры перегородок участвуют в кровоснабжении аксонов. Наиболее слабое развитие септальной сети, расположенные в средней трети орбитальной и внутричерепной части зрительного нерва. Аксиально, в передней трети зрительного нерва, на протяжении 4-13 мм от глазного яблока расположены центральная артерия и вена сетчатки. Сосуды прободают твердую оболочку на нижней и реже на внутренней полуокружности ЗН. Центральная вена иногда проходит в интравагинальном пространстве до 13 мм. Кровоснабжается ретроламинарная область пиальными сосудами, частично возвратными веточками от перипапиллярной хориоидеи и круга Цинна-Галлера. Венозная кровь из ретроламинарной области собирается в центральную вену сетчатки, центрипетальными притоками. На остальном протяжении интраорбитальную часть ЗН питают мелкие сосуды от глазничной, слезной, мышечных, цилиарных артерий и центральной артерии сетчатки до прободения ею dura mater, по 1-3 ветви от каждой. Большинство веточек проникают в зрительный нерв на его нижней полуокружности. Пиальная система кровоснабжает всю орбитальную часть зрительного нерва. Из сосудистого сплетения в зрительный нерв под прямым углом вступают многочисленные артериальные сосуды. Сосуды первого типа дихотомически делятся и достигают центральных районов ЗН, большая часть таких сосудов вступает в зрительный нерв на его нижней поверхности и не встречается в переднем отрезке зрительного нерва, где проходит ЦАС. Второй тип сосудов вступает в зрительный нерв равномерно на всей его

поверхности и дихотомически делится, но их ветви не достигают центральных отделов нерва. Передняя орбитальная часть зрительного нерва помимо пиальной системы кровоснабжается центрифугальными веточками аксиальной системы из ЦАС. Венозная часть сосудистого сплетения мягкой оболочки образуется от слияния сосудов центральных и периферических отделов ЗН. В ЦВС впадают венозные ветви от передней части ЗН, её диаметр на этом уровне ~ 410 микрон. От задних отделов нерва кровь оттекает по вене Кунта [12,53,65].

Интраканаликулярная часть ЗН расположена между орбитальным и внутричерепным отверстиями канала зрительного нерва. Зрительный нерв, покидая вершину орбиты, проходит через сухожильное кольцо Цинна, вступает в костный канал у основания малого крыла основной кости. Внутриканальная длина ЗН составляет от 7 до 12,5 мм. ЗН проходит в полость черепа в верхневнутреннем направлении под углом 30° к горизонтальной линии.

В результате патологоанатомических исследований канала и соответствующей части зрительного нерва установлено, что твердая мозговая оболочка, покрывающая зрительный нерв, переходя в надкостницу, образует достаточно прочные сращения с костными стенками канала, особенно в его верхней части. Твердая мозговая оболочка в пределах канала разделяется на два листка. Наружный листок продолжается в периост, а внутренний образует *dura mater*. Между листками в верхней части канала, на всем его протяжении имеется прочное сращение. Твердая оболочка достигает наибольшей толщины в области прохождения глазной артерии. Субдуральное пространство в канале представлено капиллярной щелью. В костной части канала субдуральное пространство самое узкое, из-за множества трабекул фиксирующих зрительный нерв, к твердой оболочке. Субарахноидальное пространство в области костного канала редуцировано и отсутствует в области крыши канала [13]. В свою очередь мягкая мозговая

оболочка фиксирована соединительнотканными перегородками в паренхиме нерва. Все три оболочки прочно спаяны с костными стенками канала и ЗН.

Глазная артерия проходит по каналу в нижневнутреннем положении относительно зрительного нерва. Существует два основных варианта расположения а. ophthalmica, в субдуральном и субарахноидальном пространстве, иногда она проходит в толще dura mater [13]. В пределах канала сосуда Pia mater получают питание от ветвей интраканальной части глазничной артерии и частично от возвратных её ветвей. Существует мнение о раздельном кровоснабжении верхней и нижней половины ЗН в канале [125].

Внутричерепные части зрительных нервов начинаются у краниального отверстия оптического канала и оканчиваются хиазмой. Длина этого участка колеблется в пределах между 3 - 16 мм [12,53]. В области проксимального отверстия канала ЗН расположен под серповидной складкой, у выхода из канала принимает более горизонтальное положение. Сверху ЗН граничит с лобной долей мозга, латеральная поверхность прилежит к внутренней сонной артерии, а её ветви, передние мозговые артерии, расположены над стволом ЗН. Медиальные стороны ЗН огибают бугорок турецкого седла и постепенно сближаются между собой. На этом участке ЗН лишен твердой мозговой оболочки, диаметр нерва составляет от 3,8 до 6 мм. Септальные структуры стромы ЗН убывают, по направлению к хиазму, у которой они вообще исчезают. Кровоснабжение осуществляется мелкими ветвями глазничной артерии, передней и средней мозговой, а также передней соединительной и внутренней сонной артерий [12,53,117,120].

Канал зрительного нерва имеет задневнутреннее направление, средняя длина его составляет около 9 мм. Орбитальное отверстие имеет форму эллипса, растянутого по вертикальной оси. Внутричерепное отверстие имеет форму эллипса с большей горизонтальной осью. Расстояние между внутричерепными отверстиями каналов около 14 мм, а между орбитальными – примерно 28 мм. Крыша канала образована верхней ножкой малого крыла

основной кости, её толщина составляет в среднем - 2,1 мм, она истончается спереди и отделяет канал от передней черепной ямки. Внутричерепную часть крыши канала принято называть фиброзной, так как, она образована дубликатурой твердой мозговой оболочки. Часть канала в этой области именуется фиброзной. В некоторых случаях пазуха лобной кости распространяется до этой области. Латеральная стенка, самая плотная часть канала, находится между малым крылом и телом основной кости, отделена от расположенной ниже-наружно верхней глазничной щели костной оптической стойкой, переходящей кзади в передний клиновидный отросток. На территории оптической стойки канал полностью находится в пределах основной кости. В 80% случаев граничит с основным синусом, образуя в 50% случаев на его стенке выпячивание, здесь её толщина 0,2-0,4мм. В 4% случаев костной стенки не существует. По данным Н. А. Владимировой [13], их границей служили лишь твердая оболочка и слизистая пазухи. Медиальная стенка отделяет канал от решетчатых клеток и основного синуса, сразу за краем орбитального отверстия, её толщина составляет в среднем 0,51мм [12,53].

Анатомия, морфология и кровоснабжение зрительного изучены достаточно подробно, но, возможно, новые методы нейровизуализации, такие как мультиспиральная компьютерная томография и высокопольное магнитно-резонансная томография (МРТ), позитронно-эмиссионная томография позволят более детально исследовать зрительный анализатор и откроют новые возможности в диагностике и лечении нейроофтальмологических заболеваний.

1.4. Патофизиология и биомеханика повреждения зрительного нерва вследствие закрытой травмы глаза

По своему механизму травматические оптические нейропатии (ТОН) подразделяются на *прямые*, когда происходит непосредственный удар

травмирующего предмета по самому зрительному нерву, и *непрямые* – вследствие закрытой травмы глазного яблока, контузионных повреждений орбиты и сотрясения лицевого скелета от распространяемой ударной волны (например, ударная волна при взрывах).

Тяжесть и многообразие проявлений клинических изменений в зрительном нерве весьма переменны и зависят от множества факторов, одними из важнейших являются [4,19,30,38,64]:

- 1) размер и масса предмета, нанесшего травму;
- 2) энергия его удара;
- 3) точка приложения удара по глазному яблоку, орбите или зрительному нерву;
- 4) состояние зрительного нерва в орбите в момент нанесения травмы (сдавнение его, ротация, натяжение);
- 5) клиничко-функциональное состояние глазного яблока и зрительного нерва на момент нанесения контузионной травмы по глазу.

Закрытая травма глаза (к которой относится контузия глаза) по своему патогенезу является одной из наиболее сложных среди всех травм глаза. Механизмы повреждения зрительного нерва при закрытой травме глаза можно схематично подразделить на последовательность ряда взаимосвязанных факторов [2,19,30,38,64]:

1. Механическая травма глаза и возникающая вследствие этого деформация глазного яблока.
2. Кратковременное резкое повышение внутриглазного давления в момент травмы.
3. Посттравматическое нарушение гемодинамики глаза и зрительного нерва.
4. Развитие в тканях глаза и зрительном нерве каскада биохимических реакций, вызывающих гибель аксонов ганглиозных клеток

Контузионная деформация глазного яблока, возникающая в момент ЗТГ, может быть различной по форме и степени выраженности, поскольку зависит от формы предмета, нанесшего удар, направленности его воздействия и энергии удара. При контузии глаза возникает гидродинамическая ударная волна, которая, достигнув заднего полюса, начинает давить на стенку глаза под прямым углом, оказывая воздействие на сетчатку, хориоидею и склеру. При этом эластичная сетчатка растягивается и не рвется, в то время как в менее эластичных структурах (пигментном эпителии, мембране Бруха и хориоидее) могут образовываться разрывы, концентрические к заднему полюсу. Энергия, переданная склере, вызывает в ней деформационную волну, которая начинает распространяться по склере и в области экватора встречается с другой волной, вызванной деформацией переднего отдела глазного яблока в момент удара. В месте столкновения двух встречных течений возникает большое давление и деформация структур, в результате чего возможно появление разрыва склеры, параллельного лимбу. Если энергии удара не хватает для разрыва наружных оболочек, то возникает временное растяжение задних отделов склеры, которое может привести к разрыву прилежащих сосудов. В таких случаях особо ранимым оказывается цинново кольцо, расположенное в склере вокруг диска зрительного нерва, что и служит причиной развития атрофии перипапиллярной хориоидеи при закрытой травме глаза. Подобное поражение может быть вызвано и разрывом задних цилиарных артерий [19].

Повышение внутриглазного давления (ВГД), возникающее в момент деформации глазного яблока вследствие травмы, несмотря на кратковременность своего воздействия, оказывает негативное действие на функции сетчатки и зрительного нерва. Для появления ишемии в ДЗН достаточным является возникновение небольшого дисбаланса между внутриглазным (экстравазальным) и внутрисосудистым давлением [37]. По данным Сефич М. и Пиштелич А. [63], наиболее важным фактором,

вызывающим изменения зрительного нерва, является уровень повышения ВГД, а не время его воздействия.

Диск зрительного нерва представляет особый интерес с биомеханической точки зрения, потому что решетчатая пластинка ДЗН - это слабое место склеральной оболочки. Существует достаточно доказательств о том, что повреждение аксонов ганглиозных клеток сетчатки (ГКС) в решетчатой пластинке является главным патофизиологическим базовым фактором потери зрения при избыточном ВГД [77,160,175].

Решетчатая пластинка обеспечивает структурно-функциональную поддержку аксонов ГКС, когда они проходят из полости глаза в ретробульбарное пространство. Для защиты аксонов ГКС в этой уникальной среде, решетчатой пластинки у высших приматов развился в сложную структуру, состоящую из трехмерной (3D) сети гибких пучков соединительной ткани. Кровоснабжение в ДЗН осуществляется короткими ресничными артериями, которые проникают непосредственно в перипапиллярную зону склеры в виде капилляров, содержащихся в ламинарных пучках.

Рассмотрение анатомии решетчатой пластинки склеры и перипапиллярной зоны говорит о том, что до развития структурных повреждений стресс в результате повышения ВГД может нарушить кровоснабжение ламинарных сегментов аксонов ГКС путем деформации капилляров содержащихся в ламинарных пучках. Так же, вследствие повышения ВГД, возникает ремоделирование внеклеточного матрикса, ламинарные балки могут ограничить диффузию питательных веществ к аксонам ГКС в ДЗН. Первичная недостаточность кровоснабжения в ламинарной области может индуцировать клеточные соединительнотканые изменения, что будет ослаблять ламинарные пучки и делать их более склонными к деформации вследствие механических воздействий при повышении ВГД. Эти изменения включают в себя не только перепланировку

несущих соединительных тканей решетчатой пластинки склеры и перипапиллярной зоны, а также в клеточных компонентах из этих тканей (астроциты, клетки, эндотелиальные клетки и перициты, а также их базальная мембрана) и аксоны ГКС в ДЗН [95,104].

В ходе ряда экспериментов показана деформация решетчатой пластинки при различных уровнях ВГД. По расчетам Sigal I.F. et al. [189] выявлено пять факторов, которые имели наибольшее влияние на деформацию соединительной ткани: жесткость склеры, радиус глаза, жесткость решетчатой пластинки, уровень ВГД и толщина склеральной оболочки. Так, по данным Bellezza A.J. et al. [86] при экспериментальном повышении ВГД отмечено истончение решетчатой пластинки расширение передней части склерального канала зрительного нерва. Yang H. et al. [212] показали, что при остром повышении ВГД до 45 мм рт ст вовлекается соединительная ткань ДЗН в виде регионального истончения, растяжения и деформации решетчатой пластинки и перипапиллярной. В исследованиях Agoumi Y. et al. [76] при остром подъеме ВГД зарегистрировано сжатие преламинарной ткани ДЗН. Strouthidis N.G. et al. [194] показали, что при остром повышении ВГД у обезьян отмечалось уменьшение толщины преламинарной части ДЗН, уменьшение объема ободка и ширины ободка ДЗН и увеличение глубины канала зрительного нерва. Fortune B. et al. [108] отметили при экспериментальном повышении ВГД до 70 мм рт ст на глазах крыс быструю обратимую деформацию задней пластинки ДЗН и истончение слоя перипапиллярной сетчатки, в пределах 5° от центра ДЗН. В эксперименте Zhao Q. et al. [216] показали, что повышение ВГД до 40, 60, 80 и 100 мм рт. ст. приводит к уменьшению толщины преламинарной части и решетчатой пластинки.

Решетчатая пластинка уникальное анатомическое образование, которое обеспечивает структурно-функциональную поддержку аксонов ГКС, когда они проходят из полости глаза в ретробульбарное, но и главный патофизиологический фактор при повреждении аксонов ганглиозных клеток

сетчатки при избыточном ВГД. Данный механизм повреждения изучен недостаточно детально и требует всесторонней оценки и исследования.

В дополнение к своей основной функции в проведении потенциала действия, аксон позволяет ганглиозным клеткам сетчатки общаться метаболически с его концевыми нервными окончаниями в латеральном колленчатом теле и верхнем бугорке. Эти процессы играют важную роль в определении выживаемости нейронов и в развитии болезней. Эта связь достигается за счет переноса молекул, везикул, органелл и одновременно в антероградном токе (также известный как ортоградный: от тела ганглиозной клетки сетчатки в сторону головного мозга) и ретроградном (по направлению от мозга к телу ганглиозной клетки) направлениях.

Срыв в этом транспортном процессе, либо повреждение зрительного нерва или повреждение аксона, может привести к смерти ганглиозных клеток сетчатки. Быстрый аксоплазматический транспорт является активным процессом, требующим затрат кислорода и энергии АТФ. Аксоплазматический ток может прекращаться под действием различных причин, включая повышение ВГД и гипоксию, влияющие на образование АТФ [84].

Экспериментально было доказано, что при гидродинамических сдвигах происходит нарушение движения аксоплазмы по волокнам зрительного нерва. Аксоплазматический блок при повышении ВГД возникает на уровне решетчатой пластинки ДЗН и его причиной является локальное ишемическое повреждение тканей [77,78,106,136,160,176,187,217]. При этом состоянии методами электронной микроскопии выявлены ультраструктурные изменения в волокнах зрительного нерва и разрушение их миелиновых оболочек. Блокада аксоплазматического тока ведет к набуханию нервных волокон, и, следовательно, отеку диска зрительного нерва [121,201].

1.5. Клиническая картина повреждения зрительного нерва при закрытой травме глаза

Травматическое повреждение зрительного нерва при ЗТГ многообразно по клинической картине, но зачастую в ранний период невозможно офтальмоскопически выявить какую-либо видимую патологию нерва.

При контузии глаза офтальмоскопически выявляемый отек диска зрительного нерва был отмечен В.В.Кашниковым [38] у 37,2% больных с прозрачными оптическими средами. Методом ФАГ им выявлена гиперфлюоресценция ДЗН. Отечный ДЗН флюоресцировал особенно интенсивно на поздних стадиях ангиографии. Отек диска зрительного нерва часто сопровождается острым гипотоническим синдромом, развивающийся на фоне отслойки сосудистой оболочки в первые две недели после контузии глаза. В более поздние сроки при хроническом течении этого состояния развивается атрофия зрительного нерва [19].

Травматическое повреждение зрительного нерва является наиболее прогностически неблагоприятным для сохранения зрения при контузии глазного яблока. Впервые травма зрительного нерва была описана еще Гиппократом в IV веке до н.э., а офтальмоскопическая картина повреждения нерва была описана Nuhn в XIX веке. Раньше наиболее частой причиной повреждения зрительного нерва считалось сдавление нерва костными отломками в области foramen opticum или на протяжении канала зрительного нерва. Для уточнения диагноза в этих случаях используется рентгенологическое исследование по Резе. Следует учесть, что рентгенологический метод исследования не всегда способен выявить наличие костных переломов канала зрительного нерва [19]. Исследования с использованием данных компьютерной томографии орбиты и канала зрительного нерва позволяют считать, что ведущее значение в развитии постконтузионной атрофии зрительного нерва принадлежит сосудистым нарушениям в системе артерий, кровоснабжающих зрительный нерв. Если сосудистые нарушения выражены слабо и носят функциональный характер, то, как правило, у больных наблюдается преходящее транзиторное снижение

зрения, которое в дальнейшем относительно быстро восстанавливается. При более серьезных нарушениях, когда имеется инфаркт или некроз ткани зрительного нерва, развивается картина атрофии зрительного нерва [19,30,38,64].

К казуистически редким случаям повреждения глазного яблока при его тупой травме относятся частичный или полный отрыв зрительного нерва [92]. При анализе данных литературы, размещенных в системе Medline на 2001 год, Buchwald H.J. et al. [93] нашли 63 случая отрыва (авульсии) зрительного нерва. Средний возраст 22 года (от 4 до 60 лет). У 22 пациентов (35%) произошла частичная авульсия и у 41 пациента (65%) присутствовала полная авульсия зрительного нерва. У 31 пациента (49%) причиной травмы был маленький тупой предмет или палец, который вошел в орбиту и вызвал смещение глазного яблока кпереди или типа ротации глаза.

1.6. Классификация закрытой травмы глаза

Согласно Федеральным клиническим рекомендациям «Травма глаза закрытая», принятых в 2020 году [68], в Российской Федерации применяется новая классификация травм глаза. Данная классификация была создана на основе Бирмингемской классификации травм органа зрения (Birmingham Eye Trauma Terminology), утвержденной Международным обществом травм глаза (International Society of Ocular Trauma) и используемой в большинстве развитых стран мира [140].

Принятая в РФ классификация подразделяется по типу сохранности фиброзной капсулы:

А – контузия (ушиб) содержимого глазного яблока при сохранности его стенки;

В – непрободные раны в фиброзной капсуле глазного яблока;

C – непрободные раны с инородными телами в фиброзной капсуле глаза;

D – смешанные случаи.

По тяжести нарушения зрительных функций:

1-я степень $\text{visus} \geq 0,5$;

2-я степень $\text{visus} 0,4 - 0,2$;

3-я степень $\text{visus} 0,1 - 0,02$;

4-я степень $\text{visus} < 0,02 - 1/\infty \text{ pr.l.certa}$;

5-я степень $\text{visus} \text{ Vis} = 0 - 1/\infty \text{ pr.l.incerta}$.

По локализации повреждения на поверхности глаза:

I. Наружная (ограничена бульбарной конъюнктивой, роговицей и склерой)

II. Передний сегмент (с вовлечением структур переднего сегмента глубже роговицы)

III. Задний сегмент (с вовлечением структур заднего сегмента позади задней капсулы

хрусталика)

По наличию или отсутствию афферентного зрачкового дефекта (АЗД).

а) положительный АЗД;

б) отрицательный АЗД.

Зрачок глаза с афферентным дефицитом парадоксально расширяется при освещении, потому что расширение зрачка, вызываемое отведением света от здорового глаза, перевешивает сужение, вызываемое стимуляцией поврежденного глаза. Таким образом, может быть положительный или

отрицательный АЗД. Следует отметить, что снижение остроты зрения более, чем на 50% и положительный АЗД, как правило, свидетельствует о травме глаза тяжёлой степени. В случае невозможности выявления АЗД (гифема, повреждение радужки и т.д.) необходимо стремиться определить состояние третьего нейрона измерением электрической чувствительности.

1.7. Методы исследования повреждения зрительного нерва.

1.7.1. Спектральная оптическая когерентная томография

Спектральная оптическая когерентная томография (СОКТ) получила широкое распространение как неинвазивный метод отслеживания структурных изменений в слоях сетчатки. СОКТ может выделять структуры с осевым разрешением 5-7 мкм [185] и обеспечивает четкую визуализацию слоев сетчатки ДЗН, что помогает диагностировать нарушения зрительного нерва. Изображения поперечного сечения СОКТ предоставляют количественную морфологическую информацию о слоях сетчатки. СОКТ используется для измерения толщины сетчатки при оценке структурных повреждений в перипапиллярной области и желтого пятна у пациентов с заболеваниями зрительного нерва.

СОКТ позволяет объективно оценить структурные повреждения *in vivo* и используется для оценки повреждения перипапиллярного слоя нервных волокон сетчатки (СНВС), нейроретинального ободка и диска зрительного нерва, а так же комплекса ганглиозных клеток сетчатки [133,153,198].

Перипапиллярный СНВС состоит из аксонов ганглиозных клеток сетчатки (ГКС). Помимо аксонов ГКС, СНВС также содержит значительный и переменный вклад глиального и сосудистого компонентов. Например, глиальный компонент в СНВС нормального глаза обезьяны варьируется от 18 до 42% [168]. Большие кровеносные сосуды составляют от 4,2% [214] до 14% от СНВС [170]. Другим параметром, исследуемым с помощью СОКТ, является нейроретинальный ободок, который является продолжением СНВС на диске зрительного нерва, содержащий все аксоны ГКС до того, как они

покинут глаз [110]. В дополнение к аксонам ганглиозных клеток сетчатки нейроретинальный ободок содержит другие элементы, такие как кровеносные сосуды и глиальную ткань [204].

С помощью спектральной ОКТ можно измерить комплекс ганглиозных клеток (КГК) сетчатки, который состоит из трех слоев, включая слой нервных волокон (NFL), слой ганглиозных клеток (GCL) и внутренний плексиформный слой (IPL). Изменения КГК лучше изучено при глаукоме. Так, Le P. et al. [141] показали у пациентов с глаукомой корреляцию между толщиной КГК и толщиной перипапиллярного слоя нервных волокон.

Анализ литературы показал, что имеются немногочисленные публикации по применению классической ОКТ при травмах глаза. Потеря аксонов после травматической оптической нейропатии (ТОН) была продемонстрирована в трех исследованиях, использующих сканирующую лазерную поляриметрию, где сообщалось, что толщина СНВС не уменьшалась в течение 2 недель после травмы [154,156,162]. Cunha и др. [99] отметили у трех пациентов с ТОН, что толщина СНВС начинает уменьшаться через 2 недели после травмы. Vessani et al. [207] описали единственный случай отека перипапиллярной сетчатки при травме глаза в ранний период, который затем сменился ее истончением. Ряд исследователей при использовании ОКТ описали единичные случаи истончения перипапиллярного СНВС на травмированном глазу через несколько месяцев после травмы [128,169,210].

Medeiros F.A. et al. [154] показали по данным ОКТ уменьшение толщины перипапиллярного СНВС после развития непрямой ТОН в отдаленном периоде, что подтверждается исследованиями других авторов [99,163,173].

Сообщения о применении спектральной ОКТ, которая является более чувствительным методом выявления патологии [75], чем классическое ОКТ, при оценке состояния СНВС при закрытой травме глаза единичны. По данным Sennamo G. et al. [98], отмечается уменьшение толщины в СНВС и

КГК через несколько месяцев после окулярной тупой травмы, при этом уменьшение СНВС в отдаленный период при ТОН было локализовано в верхнем и нижнем квадрантах, а также в носовом и височном квадрантах. Kanamori et al. [126] отметили прогрессирующее истончение СНВС и КГК после ТОН у четырех пациентов с тяжелой визуальной потерей после максимального наблюдения в течение 9 месяцев. Толщина СНВС и КГК были стабильными через 1 неделю после травмы, но начали значительно уменьшаться через 2 недели после травмы. Толщина макулы начала значительно уменьшаться через 4 недели после травмы. Уменьшение произошло через 2-8 недель после травмы и почти полностью исчезло через 20 недель. Измерения СНВС показали значительно большее уменьшение, чем КГК и толщина макулы. Уменьшение толщины желтого пятна (измеренная с помощью ОКТ) через 4 недели после травмы была отмечена и другими исследователями [99,207].

Исследования, проведенные Шермет Н.Л. [70,71,73] показали, что показатели толщины СНВС и ГКС при спектральной ОКТ в острый период после травмы малоинформативны для выявления этиологии ТОН, так как повреждение ЗН происходит в большинстве случаев за глазным яблоком и в отстроченный период отражают степень повреждения ЗН.

Исследования с помощью СОКТ при закрытой травме глаза единичны. Не определены параметры морфометрических изменений ДЗН и КГК в ранние сроки после травмы. Нет понимания, с какого уровня начинается поражение зрительного нерва при данном виде травмы (СНВС или КГК). Не выявлены взаимосвязь изменений морфометрических параметров СНВС, ДЗН и КГК.

1.7.2. Статическая компьютерная периметрия

Исследования поля зрения, проведенные с использованием статической компьютерной периметрии, при травматическом поражении зрительного нерва выявляют альтитудинальные, центральные,

парацентральные, центроцекальные скотомы, концентрическое сужение поля зрения [192]. По данным Шеремет Н.Л. [72,73] при травматическом поражении зрительного нерва наиболее часто выявляются секторальные, центральные и аркуатные скотомы.

1.7.3. Электроретинограмма

Электроретинограмма (ЭРГ) представляет собой графическое выражение нейрональной и фоторецепторной активности сетчатки, возникающее в ответ на световую стимуляцию. Практически все нейроны сетчатки (фоторецепторы, биполярные клетки, клетки Мюллера, ганглиозные клетки) принимают участие в генерации ЭРГ, которая состоит из нескольких последовательных негативных и позитивных волн: негативной волны «а», позитивной волны «b», а также более поздней негативной волны (т.н. фотопический негативный ответ) [69].

Волна «а» ЭРГ является начальной частью позднего рецепторного потенциала и генерируется фоторецепторами. Волна «b» генерируется в нейронах и клеточных элементах после фоторецепторов, значительная часть ее происходит при участии биполярных клеток и глиальных клеток Мюллера. На восходящей части волны «b» регистрируются 4-6 низкоамплитудных волночек осцилляторных потенциалов.

Фотопический негативный ответ (ФНО) сетчатки на вспышку белого цвета на белом фоне представляет собой волну, идущую отрицательно после «b» волны конусной электроретинограммы, и в генерации которой участвуют ганглиозные клетки сетчатки. Поэтому функция ганглиозных клеток сетчатки объективно оценивается путем анализа амплитудных характеристик ФНО. Преимущество ФНО заключается в том, что он может быть записан с использованием обычного устройства записи ЭРГ. Кроме того, ФНО является компонентом ЭРГ, поэтому «а» и «b» волны могут регистрироваться

одновременно, что позволяет оценивать функцию среднего и внешнего слоев сетчатки. Это преимущество недоступно при оценке функции ганглиозных клеток сетчатки с помощью обычных средств ЗВП или паттернЭРГ. Кроме того, при записи ФНО рефракционная коррекция не требуется.

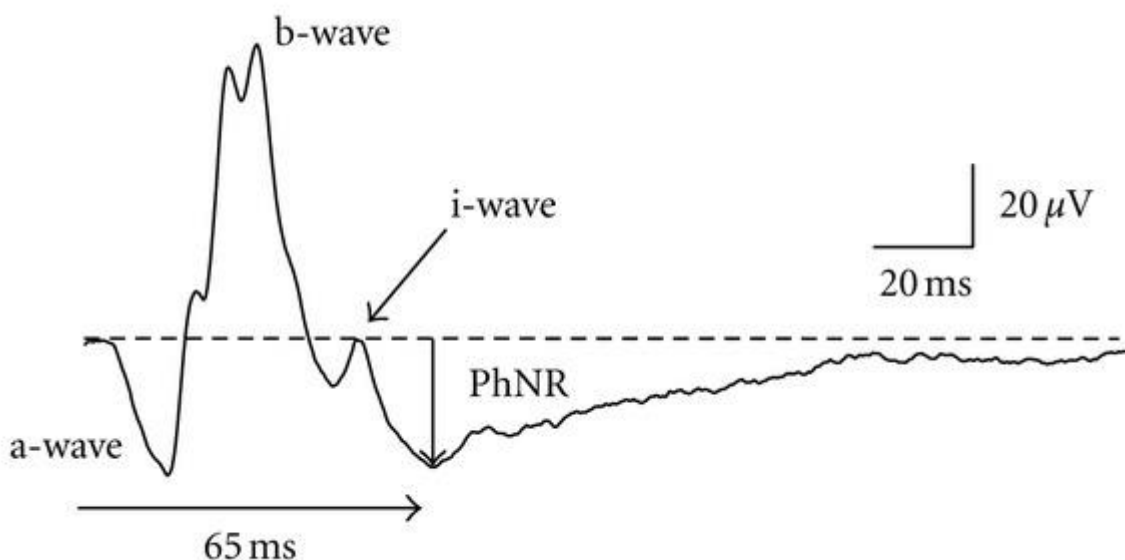


Рисунок 1. Волны «а», «b» и волна фотонегативного ответа (PhNR) ЭРГ (Цит. по Machida S. [147]).

Стоит отметить, что существует видовая специфичность происхождения ФНО. У кошек [124], обезьян [208] и людей [209] он происходит из ганглиозных клеток сетчатки, но у животных, таких как грызуны, он происходит из амакриновых клеток [94,146].

ФНО является относительно медленной волной, поэтому ее пик часто трудно определить. Это, в свою очередь, затрудняет точную оценку латентности ФНО. Однако форма сигнала ФНО изменяется в зависимости от условий записи, таких как параметры стимула и настройки усилителя. Считается, что метод измерения амплитуды ФНО является самым простым и наименее предвзятым, но до сих пор нет единого мнения [147]. При этом латентность волны ФНО, учитывая медленный характер отклика и разнообразие использованных критериев амплитуды, время пика ФНО, согласно критериям ISCEV, обычно не учитывается [109].

Gotoh Y. et al. [113] в исследовании наблюдали, что ФНО в ответ на ярко-белую вспышку на белом фоне снижается у пациентов с атрофией зрительного нерва в результате различных его заболеваний, включая воспалительную, компрессионную и травматическую оптическую невропатию, что позволяет предположить, что ФНО можно использовать для оценки функции ганглиозных клеток или их аксонов [39].

Исследования функционального состояния сетчатки при контузии глазного яблока с помощью анализа амплитудных характеристик волн «а» и «b» ЭРГ на вспышку света провели ряд исследователей [9,30,56]. При исследовании больных авторы отметили на травмированном глазу снижение амплитуды «а» и «b» волн ЭРГ, степень выраженности которой нарастала по мере увеличения тяжести травмы. Причем, снижение ЭРГ было зарегистрировано даже при контузии 1 степени тяжести без офтальмоскопически видимых изменений сетчатки. Исследователи отметили, что даже при выраженном снижении амплитуды ЭРГ сохранялось воспроизведение светового ритма сетчаткой. На основании проведенных экспериментальных и клинических исследований был сделан вывод, что при контузии глазного яблока больше всего страдают функции, связанные с наружными слоями сетчатки. Заметного расстройства функций внутренних слоев сетчатки и зрительного нерва не выявляется.

По данным Зуевой М.В. и соавт. [31] при контузии глазного яблока наиболее чувствительным показателем электроретинографии является амплитуда «а» волны ЭРГ, которая резко подавляется в течение первых трех дней при травмах любой степени тяжести. Восстановление биоэлектрической активности фоторецепторов задерживается по сравнению с динамикой функции нейронов второго порядка (более быстрое восстановление «b» волны по сравнению с «а» волной). Реактивность клеток Мюллера увеличивается при тяжелой контузии, о чем свидетельствует более выраженное уменьшение амплитуды «b» волны ЭРГ и менее выраженные изменения в низкочастотной ЭРГ. Наиболее информативными параметрами

электроретинографии являются временная динамика суммарных «а» и «b» волн ЭРГ и низкочастотной ритмичной ЭРГ.

Клинические исследования последних лет показали, что амплитуда волн ЭРГ при травматическом повреждении зрительного нерва снижена [132,139,178]. Уменьшение амплитуды волн ЭРГ было связано с изменениями в фоторецепторах, так как уменьшение амплитуды «а» волны ЭРГ было больше, чем для «b» волны ЭРГ. Эти нарушения зрительной функции коррелировали с наличием локальных отслоений сетчатки и обширной вакуолизацией и повреждением пигментного эпителия сетчатки в первую неделю после травмы [91].

Как видно из вышеприведенного материала, общая ЭРГ при травме глаза изучена достаточно хорошо. Но в доступной литературе имеется лишь одна работа, посвященная ФНО при травме глаза. Киселева Т.Н. и соавт. [40] впервые исследовали фотопический негативный ответ сетчатки, имеющий отношение к ганглиозным клеткам сетчатки, при закрытой травме глаза. Результаты регистрации ФНО в колбочковой ЭРГ показали угнетение электрической активности нейронов внутренних слоев сетчатки, степень которого зависела от тяжести постконтузионных изменений. При ЗТГ 2 степени тяжести наблюдали снижение амплитуды ФНО в ЭРГ на низкие и высокие интенсивности стимула.

При закрытой травме глаза остаются неисследованными наиболее чувствительные к ишемии внутренние слои сетчатки, содержащие ганглиозные клетки сетчатки. Исследование этих структур с помощью осцилляторных потенциалов колбочковой ЭРГ в раннем посттравматическом периоде не проводилось. Остается неизученным вопрос о взаимосвязи осцилляторных потенциалов и фотонегативного ответа колбочковой ЭРГ в ранний период после травмы, преимущественно при легких ЗТГ с минимальными клиническими проявлениями.

1.7.4. Зрительно вызванные потенциалы.

В настоящее время ЗВП является практически единственным объективным способом проверки состояния зрительного нерва выше сетчатки, позволяющий еще в доклинической стадии определять возникающие в нем изменения. Уменьшение амплитуды и увеличение латентности волн ЗВП отмечается при воспалительных и демиелинизирующих заболеваниях зрительного нерва [70,71,73,74]. Однако наиболее устойчивым и наиболее ранним признаком, возникающим еще до клинических проявлений заболевания, является увеличение латентности волн ЗВП. При прогрессировании патологического процесса в зрительных проводящих путях ПЛ увеличивается и может превышать нормальные показатели на 30-35% с одновременным снижением амплитуды и изменением конфигурации волн ЗВП. При стихании патологического процесса и восстановлении зрительных функций амплитуда и конфигурация ЗВП постепенно восстанавливаются, в то время как временные характеристики могут оставаться увеличенными (например, при оптическом неврите) иногда до 2-3 лет после нормализации клинических показателей.

Имеются лишь единичные сообщения об исследовании зрительного анализатора при контузии глазного яблока с помощью ЗВП. Так, Р.Л. Скрипник [28] сообщила о 27 случаях анализа ЗВП при контузии глазного яблока. Автор отметила снижение амплитуды и увеличение латентности волн ЗВП в ранние сроки после контузии, но в то же время не привела данных о состоянии ЗВП при динамическом наблюдении за этой группой больных в отдаленные сроки после травмы. И.М.Мосин и соавт. [47] при функциональном исследовании 13 детей с травмой орбиты отметили через 2-3 дня после травмы в ответ на паттерн-стимуляцию снижение амплитуды и увеличение латентности волн ЗВП. При динамическом наблюдении через 6-8 месяцев после травмы в группе детей с положительной динамикой зрительных функций авторы отмечали в соответствии с повышением

остроты зрения в ответ на паттерн- стимуляцию увеличение амплитуды и улучшение конфигурации волн ЗВП, в то время как оставалось еще увеличенной латентность. Причем, изменения ЗВП были обнаружены даже у детей с высокой остротой зрения.

При обследовании пациентов с закрытой травмой глаза ряд исследователей показали в ранний период после травмы уменьшение амплитуды и увеличение латентности волны Р-100 ЗВП [30,40,66,143].

Исследователи отмечали, что амплитуда ЗВП имеет прогностическое значение в плане восстановления зрения после травмы глаза. В случае сохранности волн ЗВП при травматическом повреждении зрительного нерва и увеличения их амплитуды при динамическом наблюдении у пациентов высоки шансы восстановления зрения [83,87,180,190,197]. Отсутствие регистрации волн ЗВП у пациентов с ТОН является неблагоприятным признаком в плане восстановления зрения [180,215].

Остается неисследованным взаимоотношения параметров ЗВП, фотопического негативного ответа и осцилляторных потенциалов ЭРГ. Не определены взаимосвязи изменений ЗВП и морфометрических показателей СНВС и ДЗН, определенных методом СОКТ.

1.7.5. Ультразвуковое исследование зрительного нерва

При анализе данных литературы о состоянии ретробульбарного диаметра зрительного нерва с оболочками (ДЗНО) при различных патологических состояниях рядом исследователей было отмечено увеличение ДЗНО у пациентов с черепно-мозговыми травмами [195] и с идиопатически повышенным внутричерепным давлением [6,14,22-25]. При этом отмечены высокие уровни корреляции между ДЗНО, измеренные с помощью УЗИ, и внутричерепным давлением, измеренным непосредственно через инвазивные мониторы [114,115,134,177].

Впервые наличие связи между внутричерепным давлением (ВЧД) и состоянием ДЗНО было показано в экспериментальной работе Nayreh S.S.

[118] на 32 макаках резус. Исследователь имплантировал резиновый баллон в субдуральное пространство головного мозга животных и раздувал его, проводя при этом измерения ВЧД. Автор отметил прямую зависимость между скоростью раздувания баллона и выраженностью отека диска ЗН. Naureh S.S. в результате многолетних исследований [118-121] установил, что ретробульбарная часть перiorбитального субарахноидального пространства является эластичной и может растягиваться при повышении ВЧД, которое передается на оболочку ЗН по субарахноидальному пространству головного мозга, приводит к набуханию диска зрительного нерва и его отеку.

Исследований, изучающих состояние диаметра зрительного нерва с оболочками в ретробульбарном отделе при закрытой травме глаза проведено не было.

1.7.6. Магнитно-резонансная томография.

Исследование зрительного нерва и орбиты с помощью МРТ позволяет выявить увеличение диаметра подболобочечного пространства зрительного нерва у пациентов с внутричерепной гипертензией [24]. У пациентов с травмой орбиты и зрительного нерва МРТ позволяет выявить кровоизлияния в ткани орбиты и в зрительный нерв. Но в то же время обычная магнитно-резонансная томография часто дает нормальные результаты визуализации зрительного нерва у пациентов с ТОН.

В то же время не исследовано изменение с помощью МРТ диаметра оболочек зрительного нерва при закрытой травме глаза, взаимосвязь этих изменений с данными УЗИ.

Таким образом, исследования с помощью СОКТ при закрытой травме глаза единичны [73,98,126]. Авторы в основном изучали СНВС методом СОКТ, практически не изучены изменения КГК в ранние сроки после закрытой травмы глаза. Не определены параметры морфометрических изменений ДЗН и КГК в ранние сроки после травмы. Нет понимания, с какого уровня начинается поражение зрительного нерва при данном виде

травмы (СНВС или КГК). Не выявлены взаимосвязь изменений морфометрических параметров СНВС, ДЗН и КГК.

При закрытой травме глаза остаются неисследованными наиболее чувствительные к ишемии внутренние слои сетчатки, содержащие ганглиозные клетки. Исследование этих структур с помощью осцилляторных потенциалов колбочковой ЭРГ в раннем посттравматическом периоде не проводилось. Остается неизученным вопрос о взаимосвязи осцилляторных потенциалов и фотонегативного ответа колбочковой ЭРГ в ранний период после травмы, преимущественно при легких ЗТГ с минимальными клиническими проявлениями.

До настоящего времени не было проведено клинических исследований по выработке критериев для определения поражения зрительного нерва после закрытой травмы глаза различной степени тяжести.

Отсутствие единого мнения в оценке структурно-функциональных изменений при данной офтальмопатологии, исследованных методами спектральной оптической когерентной томографии, зрительно-вызванных потенциалов, электроретинограммы, ультразвукового исследования ретробульбарной части зрительного нерва, делает необходимой разработку критериев, которые могли бы усовершенствовать диагностический процесс. Однако, до настоящего времени таких исследований не проводилось. Все вышеизложенное и определило актуальность данной диссертационной работы.

Глава 2.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Все клинические исследования, результаты которых представлены в настоящей работе, проводились на базе БУЗ ВО «Вологодская областная офтальмологическая больница».

2.1. Общая характеристика материала

Всего обследовано 164 человека (164 глаз): 134 пациента с односторонней закрытой травмой глаза (тип А) различной степени тяжести и группа контроля 30 человек (30 глаз).

Группа контроля 30 человек (30 глаз), включала 7 женщин и 23 мужчин в возрасте от 23 до 59 лет (средний возраст $32,2 \pm 4,7$), не имевших офтальмопатологии. Данная группа была обследована один раз.

Все пациенты с односторонней закрытой травмой глаза были обследованы дважды: на 1-5 день после ЗТГ (в среднем $3,14 \pm 0,23$ день) и 10-15 день после ЗТГ (в среднем $9,12 \pm 0,48$ день). Пациенты получали стандартное противовоспалительное и нейропротекторное лечение.

Средний возраст пациентов с ЗТГ составил $36,67 \pm 2,56$ лет. Проведено обследование у 134 человека (134 глаза). Данная группа по гендерному признаку делилась следующим образом: 110 мужчин и 24 женщины.

Все пациенты с ЗТГ были разделены на 3 основные группы по степеням тяжести нарушения зрительных функций (на основании Федеральных клинических рекомендаций «Травма глаза закрытая», 2020 год):

Первая группа: ЗТГ 1 степени тяжести - 38 человек (38 глаз) из них 29 мужчин, 9 женщин.

Вторая групп: ЗТГ 2 степени тяжести - 46 человек (46 глаз) из них 34 мужчин, 12 женщин.

Третья группа: ЗТГ 3 степени тяжести - 50 человек (50 глаз), 47 мужчин, 3 женщины.

Пациенты с 4 и 5 степенью нарушения зрительных функций (с максимально скорректированной остротой зрения ниже 0,02) не включались в данное исследование.

По данным исследования, МКОЗ у пациентов с 1 степенью тяжести при закрытой травме глаза составляла $0,7 \pm 0,02$. У пациентов со 2 степенью тяжести – $0,33 \pm 0,03$, с 3 степенью тяжести – $0,03 \pm 0,002$.

Все пациенты с односторонней ЗТГ имели различные сочетания локализаций повреждения на поверхности глаза (наружная зона, передний сегмент, задний сегмент).

Закрытая травма глаза была получена вследствие: удара кулаком – 39 случаев, удар отскочившим куском дерева при работе на станке или рубке дров - 25, при ударе инородным предметом (ветка дерева, отскочивший инструмент или кусок металла) - 28, удар при падении -16, пробка от шампанского - 7, спортивная травма (удар мячом или шайбой) - 2, ДТП -2, удар рогом животного -2, взрыв петарды -2, удар от разлетевшегося круга «болгарки»-4, пуля от пневматики или травматического пистолета – 4, разорвавшейся резинкой -2, струя воздуха от компрессора – 1.

Все исследуемые группы были сопоставимы по полу и возрасту (Таблица 1).

Таблица 1 - Общая демографическая характеристика обследуемых групп.

Параметры		Группы			контроль n=30
		ЗТГ 1 степени тяжести n=38	ЗТГ 2 степени тяжести n=46	ЗТГ 3 Степени тяжести n=50	
Пол	Мужской (%)	29 (76,3%)	34 (73,9%)	47 (94%)	23 (76,6%)
	Женский (%)	9 (23,7%)	12 (26,1%)	3 (6%)	7 (23,4%)
Возраст (M±σ)		30,8±4,6	32,6±2,6	34,2±3,7	32,2±4,7

Критерии включения пациентов в исследование:

1. Пациенты с односторонней закрытой травмой глаза тип А (контузия глаза).
2. С момента травмы прошло не более 5 дней.
3. Внутриглазное давление менее 21 мм рт.ст.
(по методике Маклакова, без дополнительной гипотензивной терапии).
4. Возраст от 18 до 65 лет.
5. Максимально скорректированная острота зрения выше 0,02

Критерии исключения из исследования:

1. Открытая травма глаза, все типы;

2. Закрытая травма глаза: тип В (непрободные раны в фиброзной капсуле глазного яблока); тип С (непрободные раны с инородными телами в фиброзной капсуле глаза); тип D (смешанные случаи);
3. Первичная и вторичная глаукома;
4. Снижение прозрачности оптических сред (роговицы, хрусталика, стекловидного тела);
5. Патология макулярной области и сетчатки (возрастная макулярная дегенерация, центральная серозная хориоретинопатия, тромбоз центральных вен сетчатки и окклюзия артерий, обширные субретинальные кровоизлияния, отслойка сетчатки) в анамнезе и при осмотре;
6. Патология зрительного нерва различной нетравматической этиологии (аномалии развития ДЗН: друзы ДЗН, коллобомы ДЗН);
7. Значения сферической рефракции глаза более ± 3 дптр, цилиндрический компонент более ± 2 дптр
8. Длина глаза более 25мм и менее 21мм

Клинические исследования проведены в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» (1964 год с поправками 2000 года) и «Правилами клинической практики в Российской Федерации» (Приказ Минздравсоцразвития РФ от 19.06.2003 №266).

2.2. Методы исследования

Офтальмологическое обследование выполнялось на базе БУЗ ВО «Вологодская областная офтальмологическая больница». При сборе анамнеза

особое внимание уделялось времени получения травмы, динамике заболевания, уточнению анизометропии, проведенных ранее операций, сосудистых заболеваний и других патологий, являющихся критериями исключения.

Всем пациентам проводили стандартное офтальмологическое исследование, включавшее визометрию, биомикроскопию, офтальмоскопию, периметрию.

2.2.1 Стандартные офтальмологические исследования

- 1.Рефрактометрия: на авторефрактометре KR-8900, Topcon (Япония).
- 2.Визометрия: монокулярно исследовали остроту зрения по стандартным методикам без коррекции и с коррекцией с помощью проектора знаков «Carl Zeiss» (Германия) с максимально возможной коррекцией зрения с учетом данных, полученных авторефрактометрией.
- 3.Биомикроскопия: исследование глаза на щелевой лампе «TAKAGI» (Япония) по методике Н.Б.Шульпиной.
- 4.Обратная офтальмоскопия: проводилась на щелевой лампе с помощью диагностической линзы MaxField High Mag 78D (Ocular Instruments, США) оценивали состояние диска зрительного нерва, его размер и форму, локализацию, форму и глубину экскавации, соотношение ее размера к диаметру ДЗН, положение сосудистого пучка.
- 5.Статическая компьютерная периметрия: для исследования центрального и периферического поля зрения (ПЗ) использовали метод автоматической статической периметрии на отечественном сферопериметре «Перигаф «Периком» (Россия).
6. Пневмотонометрия на приборе СТ-80, Topcon (Япония).

2.2.2. Специальные методы исследования

Оценка функционального состояния сетчатки и зрительного нерва проводилась с помощью следующих специальных методов исследования:

1. Спектральная оптическая когерентная томография диска зрительного нерва и сетчатки
2. Регистрация общей (ганфельд) электроретинограммы
3. Регистрация зрительных вызванных потенциалов
4. Ультразвуковое исследование зрительного нерва
5. Магнитно-резонансная томография орбит.

2.2.2.1. Спектральная оптическая когерентная томография

Спектральная оптическая когерентная томография проводилась на аппарате RTVue-100 OCT (Optovue, Inc., Fremont, США). Технические характеристики прибора: скорость - 26000 А-сканов в секунду; для построения В-скана используется от 256 до 16384 А-сканов; продольное оптическое разрешение в ткани: 5 мкм; поперечное разрешение изображения: от 8 мкм; диаметр луча: 15 мкм; глубина сканирования: до 2.3 мм; сканирующий лазерный луч с длиной волны 840 нм.

Использовались протоколы исследований: в области диска зрительного нерва (протоколы ONH, RNFL и 3D Disc) и макулы (протокол GCC). Последний протокол требует отдельного описания.

Анализ СНВС осуществлялся по программе RNFL. Согласно программе, толщина СНВС измеряется по окружности диаметром 3,45 мм относительно ДЗН. Окружность относительно ДЗН центрировалась автоматически. В протоколе исследования параметров диска зрительного нерва (ONH) изучали толщину слоя нервных волокон сетчатки (RNFL). Протокол предусматривает выполнение 13 круговых срезов вокруг ДЗН диаметром 3,45 мм и 9 радиальных. Результаты маркируются цветом в соответствии со степенью потери толщины RNFL; $p < 1\%$ — красным, $p < 5\%$ — желтым, и $p > 5\%$ — зеленым. Определяются границы пигментного эпителия и ДЗН. Исследование позволяет получить информацию о морфологии ЗН (площадь диска и экскавации, соотношение Э/Д, карты толщины RNFL). По программе определялась средняя толщина СНВС

(Average RNFL) по всей окружности.

Для центральных зон сетчатки особый набор оптических сканов производит 14994 измерений за 0,58 секунд на 16 линейных (15 параллельных вертикальных и 1 горизонтальный) направлениях в зоне размером 7x7 мм, центрированной на расстоянии 1 мм темпорально от фовеолы (т.е. в области максимальной концентрации ганглиозных клеток). Эти сканы автоматически обрабатываются для получения карты толщины комплекса ганглиозных клеток (GCC).

Карта отображает состояние GCC в зоне диаметром 6 мм, что соответствует 20° поля зрения. При этом также вычисляется средняя толщина GCC и усредненное ее значение для верхнего и нижнего сегмента.

Толщина комплекса GCC, т.е. расстояние между внутренней пограничной мембраной и наружной границей внутреннего плексиформного слоя, и её усредненное значение (GCC Average), а также значение для верхнего и нижнего сегмента, рассчитываются автоматически. Также определяли показатели уровня фокальных и глобальных потерь комплекса ганглиозных клеток (FLV и GLV соответственно). Параметр фокальных потерь КГК (FLV от англ. focal ganglion cell loss volume) определяется как интегральное (среднее) значение отклонения от нормативных значений для областей с существенными значениями потерь GCC. Под существенными потерями подразумеваются потери, превышающие на 65% величину стандартного отклонения (стандартное отклонение – 5% от нормативного значения для данной точки). Уровень фокальных потерь измеряется в % и отражает амплитуду (глубину) потерь GCC. Параметр глобальных потерь КГК (GLV от англ. Global ganglion cell loss volume) определяется как сумма всех относительных дефектов, нормализованная к общей площади карты измерений – т.е. усредненный по площади процент потерь комплекса GCC.

2.2.2.2. Исследование зрительного нерва и сетчатки методом

электроретинографии

В исследованиях запись электроретинограммы у пациентов с закрытой травмой глаза осуществлялась на комплексе аппаратно-программной регистрации вызванных зрительных потенциалов «Электроретинограф» (фирма «МБН», Россия) в экранированной комнате. После обезжиривания кожи спиртом интактный электрод прикреплялся к уху, электрод заземления присоединялся к руке, активный электрод ставился на исследуемый глаз. Возникающий при стимуляции сетчатки биопотенциал регистрировался с применением техники накопления и усреднения биопотенциалов на компьютере по программам, разработанным фирмой "МБН» (Россия). Используемая техника анализа позволила с высокой точностью анализировать амплитудные (до 0,1 мкВ) и временные (до 1 мС) характеристики электроретинограммы.

Для записи общей (ганцфельд) ЭРГ использовался серебрянный электрод. Запись биопотенциалов проводилась в фотопических условиях. Стимуляция проводилась диффузными вспышками белого цвета, освещенность светового потока 82 лк, длительность импульса стимула 5 мсек, частота 1 Гц. Усреднялись 20 ЭРГ и потом анализировались их амплитудно-латентные характеристики.

2.2.2.3. Исследование методом зрительно-вызванных потенциалов

Регистрация ЗВП у пациентов с закрытой травмой глаза также проводили на комплексе аппаратно-программной регистрации вызванных зрительных потенциалов «Электроретинограф» (фирма «МБН», Россия) в экранированной комнате. После предварительного обезжиривания кожи спиртом электрод заземления присоединялся к предплечью левой руки, интактный хлор-серебрянный чашечкообразный электрод фиксировался в области лба по средней линии. Активный электрод (хлор-серебрянный чашечкообразный) фиксировался к коже затылочной части головы, по средней линии выше затылочного бугра на 2 см. Контакт электродов с кожей

осуществлялся с помощью специального токопроводящего электродного геля. Запись биопотенциалов проводилась в скотопических условиях без предварительной темновой адаптации пациента. Стимуляция проводилась диффузными вспышками белого цвета, освещенность светового потока 82 лк, длительность импульса стимула 5 мСек, частота 1 Гц, количество стимуляций - 64. Анализ биопотенциалов зрительной коры головного мозга осуществлялся методом накопления и усреднения с последующим окончательным анализом на компьютере.

2.2.2.4. Ультразвуковое исследование зрительного нерва

Исследования проводили на ультразвуковом В-скане HiScan фирмы Opticon (Италия). Использовали датчик с частотой 12,5 МГц. В режиме серой шкалы осуществляли визуализацию орбитальной части зрительного нерва. Диаметр зрительного нерва с оболочками в орбитальной части измеряли с помощью УЗИ в 3 мм позади глазного яблока, начиная от решетчатой пластинки.

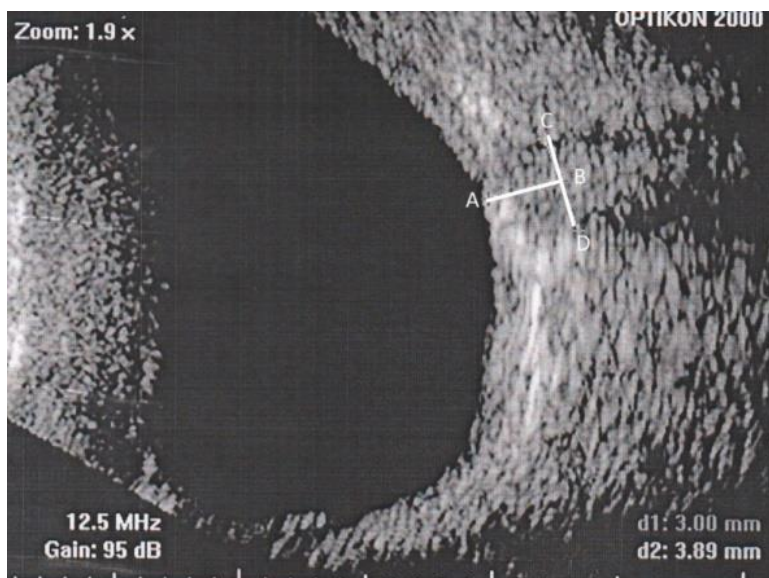


Рисунок 2 Измерение диаметра подболобочного пространства зрительного нерва (С-Д) проводили в 3 мм от решетчатой пластинки (А-В)

2.2.2.5. Магнитно-резонансная томография

По показаниям проводилась магнитно-резонансная томография орбиты, зрительного нерва и головного мозга на томографе Generale Electric SIGNA INFINITI (США), мощностью 1 Тл.

2.2.2.6. Методы статистической обработки данных

Статистический анализ всех полученных результатов выполнялся с использованием пакета прикладных программ Statistica 10 производства Stat Soft Inc (USA). Сравнивались значения показателей в сформированных группах, полученных при поступлении и выписке пациентов из стационара. Данные в таблицах представлены в виде $M \pm m$, где M -средняя, m -ошибка средней. Тип распределения числовых данных проверяли на нормальность с помощью критерия Шапиро — Уилка. Выборки сравнивались по критерию Манна-Уитни. Корреляция показателей вычислялась с расчетом коэффициента корреляции Пирсона (r). Результаты логистической регрессии представляли в виде значимости (p) и отношения шансов с доверительным интервалом. Статистически значимым считали различие между сравниваемыми рядами с уровнем вероятности 95% ($p < 0,05$). Оценку качества логистической модели дополняли ROC-анализом.

Глава 3.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЙ ЗРИТЕЛЬНОГО НЕРВА У ПАЦИЕНТОВ ПОСЛЕ ЗАКРЫТОЙ ТРАВМЫ ГЛАЗА

Целью данной главы исследований является изучение изменений в зрительном нерве после закрытой травмы глаза, поиск диагностических критериев, которые необходимы для определения степени тяжести повреждения зрительного нерва.

Для этого необходимо было разрешить следующие проблемы: оценка изменений морфометрических параметров диска зрительного нерва методом спектральной оптической когерентной томографии, оценка изменений зрительного нерва методом регистрации электроретинограммы и зрительных вызванных потенциалов, изучение диаметра оболочек зрительного нерва в ретробульбарном отделе методом ультразвукового исследования, сравнительный анализ исследования диаметра оболочек зрительного нерва в ретробульбарном отделе методом ультразвуковых исследований и магнитно-резонансной томографии.

3.1. Результаты оценки изменений морфометрических параметров диска зрительного нерва после закрытой травмы глаза методом спектральной оптической томографии

Спектральную оптическую когерентную томографию (СОКТ) диска зрительного нерва первоначально провели у 97 пациентов с закрытой травмой глаза с различной степенью тяжести на 1-5 день после ЗТГ (в среднем $3,14 \pm 0,23$ день). Критерием исключения были пациенты с непрозрачными оптическими средами (отек и эрозия роговицы, гифема, частичный гемофтальм).

Первая группа ЗТГ 1 степени тяжести - 38 человек (38 глаз) из них 29 мужчин, 9 женщин.

Вторая группа: ЗТГ 2 степени тяжести - 40 человек (40 глаз) из них 32 мужчины, 8 женщин.

Третья группа: ЗТГ 3 степени тяжести - 19 человек (19 глаз), 17 мужчин, 2 женщины.

СОКТ диска зрительного нерва повторно провели у 97 пациентов с закрытой травмой глаза с различной степенью тяжести на 10-15 день после ЗТГ (в среднем $9,12 \pm 0,48$ день).

Проводили СОКТ перипапиллярного слоя нервных волокон сетчатки, диска зрительного нерва (таблицы 2 и 3) и комплекса ганглиозных клеток сетчатки (таблица 4).

У пациентов с 1 степенью тяжести после закрытой травмы глаза через 1-5 дней после ЗТГ (в среднем $3,14 \pm 0,23$ день) на поврежденном глазу отмечалось утолщение перипапиллярного слоя нервных волокон сетчатки (СНВС) по сравнению с группой контроля на 102,9%. У пациентов с 2 и 3 степенью тяжести травмы на пораженном глазу помимо увеличения толщины перипапиллярного слоя нервных волокон сетчатки (соответственно на 109,6% и 111,6%), отмечалось увеличение площади (rim area) (соответственно на 112,5% и 114%) и увеличение объема (rim volume) (соответственно на 111,8% и 129,4%) нейроретинального пояса, увеличение объема диска зрительного нерва (NHV) (соответственно на 119,3% и 125,8%), уменьшение объема экскавации диска зрительного нерва (Cup volume) (соответственно на 127,2% и 136,3%).

При повторном исследовании через 10-15 дней после ЗТГ (в среднем $9,12 \pm 0,48$ день) у пациентов с 1 степенью тяжести травмы сохранялось утолщение перипапиллярного слоя нервных волокон (avg RNFL) на 104,9%. У пациентов со 2 и 3 степенью тяжести травмы, на поврежденном глазу помимо увеличения толщины avg RNFL (соответственно на 109,8% и 110,4%), сохранялось увеличение площади (соответственно на 107% и

107,1%) и увеличение объема (соответственно на 111,8% и 123,5%) нейроретинального пояска, увеличение объема диска зрительного нерва (соответственно на 119,3% и 123,5%) и уменьшение объема экскавации диска зрительного нерва (соответственно на 127,3% и 136,4%).

Таким образом, после травмы возникало утолщение перипапиллярного слоя нервных волокон сетчатки, увеличение объема диска зрительного нерва (NHV), увеличение площади (rim area) и увеличение объема (rim volume) нейроретинального пояска, уменьшение объема экскавации (Cup volume). Эти данные были взаимосвязаны со степенью тяжести закрытой травмы глаза.

Рисунок 3. Пациент Л., 31 год, 5 день после травмы (удар гаечным ключом). Острота зрения 0,02. На глазном дне субретинальное кровоизлияние у диска зрительного нерва. На травмированном правом глазу отмечается выраженное увеличение толщины перипапиллярного слоя нервных волокон (avg RNFL); увеличение площади (rim area) и объема (rim volume) нейроретинального пояса; увеличение площади диска зрительного нерва (Optic Disk Area); увеличение объема головки зрительного нерва (NHV); уменьшение площади (cup area) и объема экскавации (cup volume) диска. При исследовании комплекса ганглиозных клеток сетчатки (avg GCC) отмечается незначительное увеличение толщины слоя avg GCC.

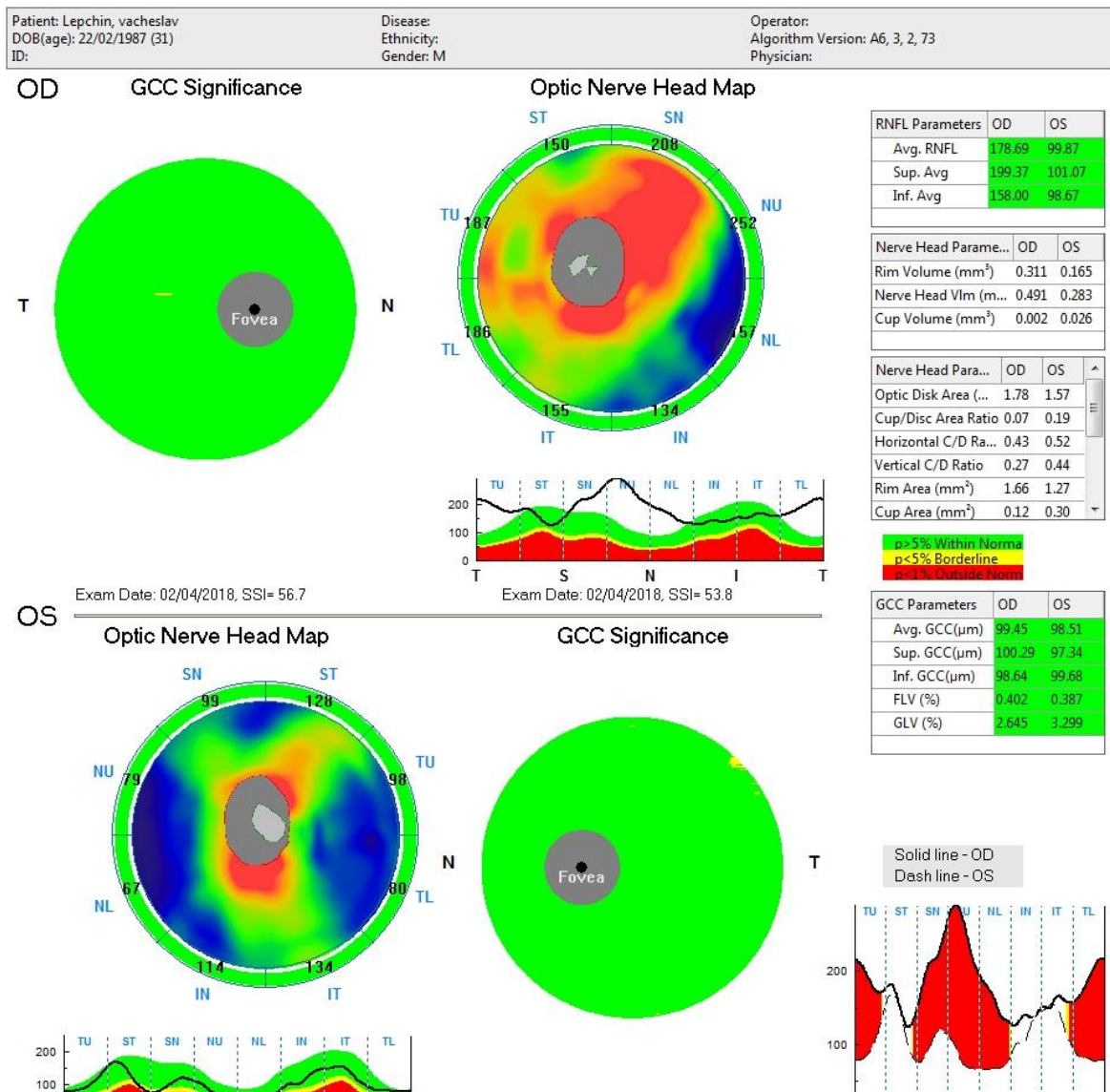


Таблица 2 - Показатели спектральной оптической когерентной томографии травмированного глаза на 1-5 день после ЗТГ (в среднем 3,14±0,23 день) (M ± m)

	Avg RNFL Средняя толщина слоя нервных волокон сетчатки, мкм	Rim volume Объем нейрорети- нального пояска, мм ³	NHV Объем диска зрительного нерва, мм ³	Cup volume Объем экскавации диска, мм ³	Optic Disk area площадь ДЗН, мм ²	Rim area площадь нейроретиналь- ного пояска, мм ²	Cup area площадь экскавации диска, мм ² .
Контроль (n = 30)	104,01 ± 1,79	0,17 ± 0,01	0,31 ± 0,01	0,11 ± 0,02	1,88 ± 0,05	1,28 ± 0,05	0,59 ± 0,06
1 степень тяжести (n=38)	106,96 ± 1,44*	0,18 ± 0,03	0,34 ± 0,01	0,10 ± 0,02	2,03 ± 0,07*	1,31 ± 0,07*	0,58 ± 0,05
2 степень тяжести (n=40)	114,04 ± 1,93*	0,19 ± 0,02*	0,37 ± 0,03*	0,08 ± 0,03*	2,06 ± 0,07*	1,44 ± 0,06*	0,56 ± 0,07
3 степень тяжести (n=19)	115,53 ± 2,04*	0,22 ± 0,04*	0,39 ± 0,04*	0,07 ± 0,02*	2,09 ± 0,08*	1,46 ± 0,08*	0,55 ± 0,08

Примечание: уровень значимости в сравнении с нормой: *p < 0,05.

Таблица 3 - Спектральная оптическая когерентная томография травмированного глаза на 10-15 день после ЗТГ (в среднем $9,12 \pm 0,48$ дней ($M \pm m$))

	Avg RNFL Средняя толщина слоя нервных волокон сетчатки, мкм	Rim volume Объем нейрорети- нального пояса, мм ³	NHV Объем диска зрительного нерва, мм ³	Cup volume Объем экскавации диска, мм ³	Optic Disk area площадь ДЗН, мм ²	Rim area площадь нейроретиналь- ного пояса, мм ²	Cup area площадь экскавации диска, мм ² .
Контроль (n = 30)	104,01 ± 1,79	0,17 ± 0,01	0,31 ± 0,01	0,11 ± 0,02	1,88 ± 0,05	1,28 ± 0,05	0,59 ± 0,06
1 степень тяжести (n=38)	109,11 ± 3,11 *	0,17 ± 0,01	0,32 ± 0,03	0,09 ± 0,03	2,08 ± 0,08	1,36 ± 0,06*	0,58 ± 0,08
2 степень тяжести (n=40)	114,20 ± 1,95 *	0,19 ± 0,02*	0,37 ± 0,02*	0,08 ± 0,03*	2,03 ± 0,07	1,37 ± 0,05*	0,57 ± 0,08
3 степень тяжести (n=19)	114,86 ± 2,87 *	0,21 ± 0,02 *	0,39 ± 0,03*	0,07 ± 0,02*	1,91 ± 0,06 *	1,37 ± 0,07 *	0,56 ± 0,08

Примечание: уровень значимости в сравнении с нормой: *p < 0,05.

Таблица 4 - Исследование комплекса ганглиозных клеток (GCC) сетчатки травмированного глаза
после закрытой травмы глаза ($M \pm m$)

	1-5 день после ЗТГ (в среднем $3,14 \pm 0,23$ день)			10-15 день после ЗТГ (в среднем $9,12 \pm 0,48$ день)		
	avg GCC (средняя толщина КГК) мкм	FLV (объем фокальных потерь) %	GLV (объем глобальных потерь) %	avg GCC (средняя толщина КГК) мкм.	FLV (объем фокальных потерь) %	GLV (объем глобальных потерь) %
Контроль (n=30)	95,64±0,87	0,39±0,33	1,02±0,55	95,64±0,87	0,39±0,33	1,02±0,55
1 степень тяжести (n=38)	95,59±2,24	1,21±1,06*	4,06±1,49*	97,73±1,42*	2,46±0,21*	4,48±0,66*
2 степень тяжести (n=40)	95,46±2,58	1,41±0,36*	5,75±1,37*	101,79±1,85*	3,49±0,14*	4,69±0,53*
3я степень (n=19)	96,16±3,07	5,77±1,79*	8,87±2,11*	102,49±1,77*	4,54±0,81*	7,51±1,21*

Примечание: уровень значимости в сравнении с нормой: * $p < 0,05$.

Проведен с помощью спектральной ОКТ анализ комплекса ганглиозных клеток (КГК) сетчатки, состоящего из слоя нервных волокон, слоя ганглиозных клеток и внутреннего плексиформного слоя. При анализе КГК в ранние сроки на 1-5 день после ЗТГ (в среднем $3,14 \pm 0,23$ день) не отмечалось увеличения средней толщины КГК (avg GCC) во всех группах, независимо от степени тяжести травмы. В то же время у пациентов с травмой 1, 2 и 3 степенями тяжести на травмированном глазу увеличен объем фокальных (FLV) и глобальных потерь (GLV) по сравнению с группой контроля (соответственно в 3,1, 3,6 и 14,7 раза).

При повторном исследовании через 10-15 дней после ЗТГ (в среднем $9,12 \pm 0,48$ день) на травмированном глазу во всех группах независимо от степени тяжести травмы уже отмечалось увеличение средней толщины (avg GCC) комплекса ганглиозных клеток (соответственно на 102,1%, 106,4% и 107,2%). Сохранился увеличенным объем фокальных и глобальных потерь КГК.

Был рассчитан морфометрический коэффициент соотношения площади нейроретинального пояска (Rim Area) к площади ДЗН (Disc Area), определяющий с достоверностью морфометрические изменения в ДЗН во всех трех группах ($p < 0,05$). Коэффициент рассчитывался по формуле:

$$C \text{ morphometric of ONH} = \text{Rim Area} / \text{Disc Area} \times 100,$$

где $C \text{ morphometric of ONH}$ – морфометрический коэффициент соотношения площади НРП к площади ДЗН,

Rim Area – площадь нейроретинального пояска,

Disc Area – площадь ДЗН.

В Таблице 5 представлены значения морфометрического коэффициента соотношения площади НРП к площади ДЗН в трех группах при различной степени тяжести травмы.

Таблица 5- Значения морфометрического коэффициента в исследуемых группах

Показатель	Группы (M±m)			
	1 степень тяжести (n=38)	2 степень тяжести (n=40)	3 степень тяжести (n=19)	контроль (n=30)
Морфометрический коэффициент соотношения площади НРП к площади ДЗН	76,47±0,3*	77,59±0,28*	78,69±0,26*	68,52±0,23

Примечание: уровень значимости в сравнении с нормой: * p< 0,05

Таким образом, проведенная спектральная ОКТ показала, что после травмы возникало утолщение перипапиллярного слоя нервных волокон сетчатки. Далее, при утяжелении степени травмы, возникало увеличение объема диска зрительного нерва (NHV), увеличение площади (rim area) и увеличение объема (rim volume) нейроретинального пояса, уменьшение объема экскавации (Cup volume). Утолщение (отек) комплекса ганглиозных клеток сетчатки (avg GCC) происходило только через 9,12±0,48 дней после травмы. При этом утолщение перипапиллярного слоя нервных волокон сетчатки (avg RNFL) начиналось непосредственно сразу после травмы.

3.2. Результаты оценки изменений зрительного нерва и сетчатки при закрытой травме глаза методом регистрации электроретинограммы

Целью данной части работы являлась изучение функционального состояния наружных и внутренних слоев сетчатки после закрытой травмы глаза различной степени тяжести.

Проведено исследование функционального состояния сетчатки с помощью регистрации электроретинограммы (ЭРГ) у 134 больных в различные сроки после травмы. Все больные были разделены на 3 группы с

различной степени тяжести. Исследования ЭРГ проведено на 1-5 день после ЗТГ (в среднем $3,14 \pm 0,23$ день) и 10-15 день после ЗТГ (в среднем $9,12 \pm 0,48$ день).

Первая группа: ЗТГ 1 степени тяжести- 38 человек (38 глаз) из них 29 мужчин, 9 женщин.

Вторая группа: ЗТГ 2 степени тяжести- 46 человек (46 глаз) из них 34 мужчин, 12 женщин.

Третья группа: ЗТГ 3 степени тяжести- 50 человек (50 глаз), 47 мужчин, 3 женщины.

Полученные результаты отражены в таблице 6. У больных с травмой 1 степени тяжести по сравнению с группой контроля через 1-5 день после ЗТГ (в среднем $3,14 \pm 0,23$ день) по сравнению с нормой отмечалось снижение амплитуды волны "b" общей ЭРГ на 104,4%, в то время как показатели латентности «а» и "b" волн ЭРГ статистически не отличались от данных контроля. При повторном исследовании через 10-15 день после ЗТГ (в среднем $9,12 \pm 0,48$ день) амплитудные и латентные характеристики волн "a" и "b" травмированного глаза статистически не отличались от показателей группы контроля.

У больных с травмой 2 степени тяжести через 1-5 день после ЗТГ (в среднем $3,14 \pm 0,23$ день) отмечалось снижение амплитуды волн "a" и "b" общей ЭРГ (соответственно на 108,3% и 112,1%), в то время как показатели латентности этих волн статистически не отличались от группы контроля. При повторном исследовании через 10-15 день после ЗТГ (в среднем $9,12 \pm 0,48$ день) амплитуда волн "a" и "b" травмированного глаза оставалась сниженной (соответственно на 107,8% и 107,7%), латентность волн "a" и "b" статистически не отличались от группы контроля.

При травме 3 степени тяжести через 1-5 день после ЗТГ (в среднем $3,14 \pm 0,23$ день) отмечалось на травмированном глазу более выраженное снижение амплитуды волн "a" и "b" ЭРГ (соответственно на 122,9% и

Таблицы 6 - Показатели общей (ганцфельд) электроретинограммы (ЭРГ) травмированного глаза после закрытой травме глаза различной степени тяжести ($M \pm m$).

	Характеристика волн ЭРГ	3,14±0,23 дня после травмы		9,12±0,48 дня после травмы	
		волна "а"	волна "b"	волна "а"	волна "b"
Контроль (n=30)	амплитуда (мкВ)	19,54 ± 2,08	131,42 ± 6,38	19,54 ± 2,08	131,42 ± 6,38
	латентность (мс)	29,79 ± 0,66	67,84 ± 1,49	29,79 ± 0,66	67,84 ± 1,49
1 степень тяжести (n=38)	амплитуда (мкВ)	19,14 ± 6,22	125,61 ± 17,21*	18,73 ± 4,63	129,45 ± 12,72
	латентность (мс)	29,42 ± 0,41	67,62 ± 0,84	29,45 ± 0,41	67,41 ± 0,91
2 степень тяжести (n=46)	амплитуда (мкВ)	17,91 ± 8,67 *	119,31 ± 27,21 *	18,01 ± 9,16*	121,23 ± 16,93*
	латентность	29,51 ± 0,66	67,8 ± 1,24	29,42 ± 0,21	67,26 ± 0,29
3 степень тяжести (n= 50)	Амплитуда (мкВ)	15,05 ± 8,72 *	105,76 ± 28,4 *	17,18 ± 9,67*	115,12 ± 13,14*
	Латентность	29,54 ± 2,71	69,01 ± 1,11	29,31 ± 0,76	67,27 ± 0,14

Примечание: *P < 0,05.

119,5%), показатели латентности этих волн не отличались от контрольной группы. При исследовании этих больных через 10-15 день после ЗТГ (в среднем $9,12 \pm 0,48$ день) амплитуда волн "a" и "b" общей ЭРГ травмированного глаза оставалась сниженной соответственно на 112,1% и 112,4% по сравнению с показателями группы контроля.

Проведенная регистрация общей (ганцфельд) электроретинограммы показала, что начиная с первых дней после травмы на поврежденном глазу идет снижение амплитуды волн "a" и "b" ЭРГ, при этом показатели латентности остаются в пределах нормы. Данное снижение амплитуды волн "a" и "b" ЭРГ сохраняется и через 10-15 дней после травмы. Это отражает изменения, происходящие в слое фоторецепторов и биполярных клетках, а так же в нейроглиальных клетках Мюллера.

Был исследован фотонегативный ответ (ФНО) ЭРГ, который происходит из ганглиозных клеток сетчатки [124,208,209]. В доступной литературе найдена только одна работа, посвященная изучению ФНО [40] при закрытой травме глаза.

При исследовании через 1-5 день после ЗТГ (в среднем $3,14 \pm 0,23$ день) достоверно ($p < 0,05$) отмечалось уменьшение амплитуды ФНО электроретинограммы при 1 степени тяжести на травмированном глазу на 121,8% по сравнению с показателями группы контроля; при 2 степени тяжести травмы - на 124,6%; при 3 степени тяжести травмы - на 136,6% (таблица 7).

При повторном исследовании через 10-15 день после ЗТГ (в среднем $9,12 \pm 0,48$ день) при травме 1 степени тяжести отмечается увеличение амплитуды ФНО, но она оставалась сниженной на 110,9% по сравнению с показателями группы контроля. Несмотря на увеличение амплитуды ФНО у пациентов со 2 и 3 степенью тяжести травмы на поврежденном глазу, по сравнению с показателями группы контроля отмечается достоверное ($p < 0,05$) снижение амплитуды на 119,2% и 133,2% соответственно.

Снижение амплитуды ФНО свидетельствовало о нарастании функциональных изменений в ганглиозных клетках сетчатки вследствие ЗТГ (тип А).

Таблица 7- Показатели фотонегативного ответа (ФНО) электроретинограммы травмированного глаза после закрытой травмы глаза ($M \pm m$).

Степень тяжести травмы	Характеристика волны ФНО	1-5 день после ЗТГ (в среднем $3,14 \pm 0,23$ день)	10-15 день после ЗТГ (в среднем $9,12 \pm 0,48$ день)
Контроль (n=30)	амплитуда (мкВ)	$229,7 \pm 17,56$	
1 степень тяжести (n=38)	амплитуда	$180,3 \pm 18,8 *$	$204,5 \pm 17,6 *$
2 степень тяжести (n=46)	амплитуда	$173,1 \pm 17,1 *$	$185,6 \pm 18,2 *$
3 степень тяжести (n= 50)	амплитуда	$145,5 \pm 17,8 *$	$153,2 \pm 19,4 *$

Примечание: *P < 0,05.

Впервые после ЗТГ (тип А) были изучены осцилляторные потенциалы (ОП) ЭРГ, которые регистрировались на восходящей волне «b» ЭРГ. Источником ОП являются внутренние слои сетчатки, а точнее, в большей степени электрохимические процессы в аксонных терминалах биполярных клеток, в отростках амакриновых клеток, интерплексиформных клетках и дендритах ганглиозных клеток. Осцилляторные потенциалы являются предиктором ишемических изменений во внутренних слоях сетчатки [10]. В исследовании был рассчитан индекс осцилляторных потенциалов, который является показателем среднего арифметического амплитудных значений первых четырех положительных волн ОП.

В таблице 8 представлены данные по индексу осцилляторных потенциалов (индекс ОП)

Таблица 8 - Показатели индекса осцилляторных потенциалов травмированного глаза после закрытой травмы глаза ($M \pm m$).

Степень тяжести травмы	3,14±0,23 дня после травмы	9,12±0,48 дня после травмы
Контроль (n=30)	2,17 ± 0,14	
1 степень тяжести (n=38)	1,88 ± 0,18 *	2,01 ± 0,16*
2 степень тяжести (n=46)	1,55 ± 0,16 *	1,84 ± 0,14 *
3 степень тяжести (n= 50)	1,47 ± 0,23 *	1,75 ± 0,17 *

Примечание : *P < 0,05

Проведенное исследование показало, что индекс ОП через 1-5 дней после ЗТГ (в среднем 3,14±0,23 день) при 1,2 и 3 степени тяжести травмы меньше группы контроля соответственно на 113,3%, 128,6% и 112,2%. При повторном исследовании через 10-15 дней после ЗТГ (в среднем 9,12±0,48 день) индекс ОП оставался сниженным в зависимости от степени тяжести травмы соответственно на 107,4%, 115,2% и 119,3% по сравнению с группой контроля.

Таким образом, снижение индекса ОП отражало изменения, происходящие во внутренних слоях сетчатки, а точнее, в аксонных терминалях биполярных клеток, в отростках амакриновых клеток, интерплексиформных клетках и дендритах ганглиозных клеток.

3.3. Результаты оценка изменений зрительного нерва и сетчатки после закрытой травме глаза методом регистрации зрительных вызванных потенциалов

По описанной выше методике проведена запись и последующий анализ волны Р-100 зрительных вызванных потенциалов (ЗВП) у 134 больных с закрытой травмой глаза различной степени тяжести. Все больные были разделены на 3 группы: 134 пациентов с закрытой травмой глаза с различной степенью тяжести. Исследования волны Р-100 ЗВП проведено на 1-5 день после ЗТГ (в среднем $3,14 \pm 0,23$ день) и 10-15 день после ЗТГ (в среднем $9,12 \pm 0,48$ день).

В течение первых дней ($3,14 \pm 0,23$ день) при 1 степени тяжести травмы не отмечалось статистически достоверной разницы в амплитуде волны Р-100 травмированного глаза и показателями группы контроля. Но в то же отмечалось уменьшение амплитуды при 2 и 3 степени тяжести травмы (соответственно на 120,9% и 129,8%). В эти сроки наблюдения регистрировалось увеличение латентности волны Р-100 травмированного глаза при разных степенях тяжести травмы от 104% до 106,8% по сравнению с группой контроля (таблица 9).

При повторном исследовании на 10-15 день после ЗТГ (в среднем $9,12 \pm 0,48$ день) отмечалась нормализация латентности травмированного глаза. Но оставалось снижение амплитуды волны Р-100 при 2 и 3 степени тяжести травмы (соответственно на 110,6% и 127%).

Снижение амплитуды волны Р-100 ЗВП отражало изменения в зрительных проводящих путях, вызванные закрытой травмой глаза, а увеличение латентности в первые дни после травмы свидетельствовало о нарушении проводимости нервного импульса по аксонам зрительного нерва.

Таблица 9 - Показатели зрительных вызванных потенциалов травмированного глаза после закрытой травмы глаза ($M \pm m$)

Степень тяжести травмы	3,14±0,23 дня после травмы		9,12±0,48 дня после травмы	
	Амплитуда (мкВ)	Латентность (мСек)	Амплитуда (мкВ)	Латентность (мСек)
Контроль (n=30)	6,78±0,56	94,84±0,63	6,78±0,56	94,84±0,63
1 степень тяжести (n=38)	6,57±0,45	98,66±1,81*	6,59±0,12	94,65±0,82
2 степень тяжести (n=46)	5,36±0,46*	98,11±1,79*	6,06±0,39*	94,41±0,74
3 степень тяжести (n=50)	4,76±0,49*	101,33±3,32*	4,95±0,38*	95,23±1,32

Примечание : *P < 0,05

3.4. Результаты исследования диаметра зрительного нерва в ретробульбарном отделе методом ультразвукового исследования

Ультразвуковое исследование глаза проводили на ультразвуковом В-скане HiScan фирмы Opticon (Италия). Использовали датчик с частотой 12,5 МГц. В режиме серой шкалы осуществляли визуализацию орбитальной части зрительного нерва. Диаметр зрительного нерва в орбитальной части измеряли с помощью УЗИ в 3 мм позади глазного яблока, начиная от решетчатой пластинки. Все больные были разделены на 3 группы: 134 пациентов с закрытой травмой глаза с различной степенью тяжести.

Исследования ЭРГ проведено на 1-5 день после ЗТГ (в среднем $3,14 \pm 0,23$ день) и 10-15 день после ЗТГ (в среднем $9,12 \pm 0,48$ день).

Первая группа: ЗТГ 1 степени тяжести - 38 человек (38 глаз) из них 29 мужчин, 9 женщин.

Вторая группа: ЗТГ 2 степени тяжести - 46 человек (46 глаз) из них 34 мужчин, 12 женщин.

Третья группа: ЗТГ 3 степени тяжести - 50 человек (50 глаз), 47 мужчин, 3 женщины.

Полученные данные представлены в таблице 10.

При анализе данных выявлена следующая закономерность: на 1-5 день после ЗТГ (в среднем $3,14 \pm 0,23$ день) отмечалось при 1, 2 и 3 степени тяжести травмы увеличение диаметра зрительного нерва с оболочками на 0,11 мм, 0,14 мм, 0,39 мм соответственно по сравнению с показателями группы контроля.

При повторном исследовании через 10-15 дней после ЗТГ (в среднем $9,12 \pm 0,48$ дней) имелась тенденция к уменьшению показателей, но все же на пораженном глазу у пациентов с 1, 2 и 3 степенями тяжести травмы сохранялся увеличенный диаметр зрительного нерва с оболочками (соответственно на 0,06 мм, 0,08 мм и 0,36 мм) по сравнению с показателями группы контроля.

Таким образом, на травмированном глазу отмечалось расширение диаметра зрительного нерва с оболочками в ретробульбарном отделе, которое увеличивалось при нарастании степени тяжести травмы глаза. Односторонне увеличение ДЗНО на стороне травмированного глаза может быть связано с расширением подоболочечного пространства вследствие повышения давления в нем и нарушением баланса притока/оттока спинномозговой жидкости (22,23,121).

Таблица 10 - Оценка диаметра зрительного нерва с оболочками травмированного глаза методом УЗИ ($M \pm m$)

	ДЗНО на 1-5 день после ЗТГ (в среднем $3,14 \pm 0,23$ день), мм	ДЗНО на 10-15 день после ЗТГ (в среднем $9,12 \pm 0,48$ день), мм
Контроль (n=30) мм	$5,11 \pm 0,05$	$5,11 \pm 0,05$
1 степень тяжести (n=38)	$5,22 \pm 0,08^*$	$5,17 \pm 0,09^*$
2 степень тяжести (n=46)	$5,25 \pm 0,10^*$	$5,19 \pm 0,09^*$
3 степень тяжести (n=50)	$5,50 \pm 0,09^*$	$5,47 \pm 0,08^*$

Примечание : * $P < 0,05$

3.5. Сравнительный анализ исследования диаметра зрительного нерва с оболочками в ретробульбарном отделе методом ультразвуковых исследований и магнитно-резонансной томографии.

При проведении сравнительного анализа диаметра зрительного нерва с оболочками (ДЗНО) методами МРТ и УЗИ обследовано 20 пациентов (20 глаз) с закрытой травмой глаза 2 степени тяжести, из них 14 мужчин, 6 женщин (средний возраст $32,2 \pm 4,7$).

УЗИ и МРТ диагностика проводились на 1-5 день после ЗТГ (в среднем $3,14 \pm 0,23$ день).

УЗИ проводили на ультразвуковом В-скане HiScan фирмы Opticon (Италия). Использовали датчик с частотой 12,5 МГц. В режиме серой шкалы осуществляли визуализацию орбитальной части зрительного нерва.

Наряду с УЗИ этим пациентам проводили МРТ исследования орбиты и зрительного нерва на томографе General Elektric SIGNA INFINITI (США) на 1 Тл. Измерение диаметра зрительного нерва с оболочками при УЗИ и МРТ проводили в ретробульбарном отделе в 3 мм за решетчатой пластинкой глаза. Измерение диаметра зрительного нерва с оболочками по данным УЗИ и МРТ проводили два врача (УЗИ и МРТ специалисты) независимо друг от друга. Полученные данные статистически обработали.

Данные исследования проводились для оценки численной точности измерений диаметра зрительного с оболочками с помощью УЗИ по сравнению с показаниями, полученными с изображениями магнитно-резонансной томографии. Полученные статистические данные представлены в таблице № 11.

На 1-5 день после ЗТГ (в среднем $3,14 \pm 0,23$ день) по данным исследований МРТ и УЗИ отмечалось статистически достоверное увеличение диаметра зрительного нерва, по сравнению с показателями группы контроля. Точность определения диаметра зрительного нерва, измеренная с помощью УЗИ, сравнима с параметрами ДЗНО, измеренной с помощью МРТ. Отмечена положительная корреляция данных ДЗНО, исследованных с помощью УЗИ и МРТ ($r=0,58$, $p<0,01$).

Таблица 11- Показатели диаметра оболочек зрительного нерва в ретробульбарном отделе по данным МРТ и УЗИ (n=20, $M \pm m$)

ДЗНО, мм (n=20)		Контроль, мм (n=20)	
МРТ	УЗИ	МРТ	УЗИ
$5,64 \pm 0,17$	$5,32 \pm 0,1$	$5,39 \pm 0,21$	$5,11 \pm 0,05$

Таким образом, на травмированном глазу отмечалось расширение диаметра зрительного нерва с оболочками в ретробульбарном отделе, выявленное методами УЗИ и МРТ.

Диаметр оболочек зрительного нерва, исследуемый с помощью МРТ, несколько выше, чем по данным УЗИ. Однако эти зависимые от наблюдателя вариации приемлемы для клинического применения. Следует отметить, что метод УЗИ более простой, безопасной и финансово малозатратный, по сравнению с МРТ.

**Глава 4. ОЦЕНКА ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ЗНАЧИМОСТИ МЕТОДОВ
СПЕКТРАЛЬНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ КОГЕРЕНТНОЙ ТОМОГРАФИИ,
ЭЛЕКТРОРЕТИНОГРАММЫ И УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИССЛЕДОВАНИЯ**

РЕТРОБУЛЬБАРНОЙ ЧАСТИ ЗРИТЕЛЬНОГО НЕРВА У ПАЦИЕНТОВ С ЗАКРЫТОЙ ТРАВМОЙ ГЛАЗА МЕТОДАМИ КОРРЕЛЯЦИОННОГО И РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА

Целью данной главы явилась оценка диагностической значимости методов спектральной оптической когерентной томографии, электроретинограммы и ультразвукового исследования ретробульбарной части зрительного нерва у пациентов с закрытой травмой глаза методами корреляционного и регрессионного анализа.

Для достижения поставленной цели необходимо было провести оценку корреляционных взаимосвязей между функциональными, морфометрическими параметрами ДЗН и сетчатки после закрытой травмы глаза различной степени тяжести, определить диагностическую, дифференциально-диагностическую значимость методов спектральной оптической когерентной томографии, электроретинограммы и ультразвукового исследования ретробульбарной части зрительного нерва у пациентов с закрытой травмой глаза методом регрессионного анализа.

4.1. Оценка диагностической значимости оптической когерентной томографии, электроретинограммы и ультразвукового исследования ретробульбарной части зрительного нерва у пациентов после закрытой травмой глаза различной степени тяжести методом корреляционного анализа

В предыдущем разделе работы были выявлены изменения в морфометрических параметрах ДЗН и сетчатки после закрытой травмы глаза различной степени тяжести. В связи с этим актуальным становится вопрос, каким образом функциональные показатели связаны с морфометрическими параметрами ДЗН, параметрами нейроархитектоники сетчатки и функциональными параметрами после закрытой травмы глаза.

Выявлена положительная корреляция между амплитудой фотонегативной волны ЭРГ и средней толщиной слоя нервных волокон сетчатки ($r=0,71$) и комплекса ганглиозных клеток ($r=0,72$), и отрицательная корреляция с объемом фокальных ($r=-0,69$) и глобальных потерь ($r=-0,78$) комплекса ганглиозных клеток.

Выявлена положительная корреляция между индексом осцилляторных потенциалов ЭРГ и средней толщиной слоя нервных волокон сетчатки ($r=0,72$) и комплекса ганглиозных клеток ($r=0,73$), и отрицательная корреляция с объемом фокальных ($r=-0,7$) и глобальных потерь ($r=-0,76$) комплекса ганглиозных клеток.

Выявлена положительная корреляционная взаимосвязь между диаметром зрительного нерва с оболочками (ДЗНО) и морфометрическими параметрами диска зрительного нерва (объемом ДЗН ($r=0,75$), объемом ($r=0,74$) и площадью ($r=0,71$) нейроретинального пояса), и отрицательная корреляция между ДЗНО и объемом ($r=-0,75$) и площадью ($r=-0,72$) экскавации ДЗН.

Выявлена положительная корреляционная взаимосвязь между средней толщиной комплекса ганглиозных клеток и МКОЗ ($r=0,71$), и отрицательная корреляция между МКОЗ и объемом фокальных ($r = - 0,73$) и глобальных ($r = - 0,77$) потерь сетчатки.

4.2. Оценка диагностической значимости методов оптической когерентной томографии у пациентов с закрытой травмой глаза методом регрессионного анализа

Целью данного раздела явилось определение диагностической и дифференциально-диагностической значимости методов оптической когерентной томографии, ультразвуковых и электрофизиологических методов у пациентов с закрытой травмой глаза методом регрессионного анализа. Был проведен анализ с построением ROC кривой (receiver operating

characteristic), а качество оценивалось как площадь под этой кривой – AUC (area under curve). Метод ROC-анализа позволяет определить количественную величину достоверности различия в информативности изучаемых методов.

Наибольшей диагностической значимостью в определении степени тяжести после закрытой травмы глаза обладали комплекс параметров: средняя толщина перипапиллярного слоя нервных волокон сетчатки (СНВС), объем экскавации ДЗН, средняя толщина комплекса ганглиозных клеток (КГК), объем фокальных и глобальных потерь КГК, диаметр зрительного нерва с оболочками (ДЗНО), индекс осцилляторных потенциалов (ОП).

В диагностике 1 степени тяжести закрытой травмы глаза комплекс параметров, включающий следующие показатели: средняя толщина СНВС со значением 84,19 мкм; объем экскавации ДЗН – 0,26 мм³; средняя толщина комплекса ганглиозных клеток – 79,63 мкм; объем фокальных потерь КГК – 0,58%; объем глобальных потерь КГК – 1,38%; диаметр зрительного нерва с оболочками - 4,66 мм; индекс осцилляторных потенциалов (ОП) 1,01 - обладал чувствительностью 91% и специфичностью 94% (AUC 0,93).

В диагностике 2 степени тяжести закрытой травмы глаза комплекс параметров, включающий показатели: средняя толщина перипапиллярного СНВС со значением 99,56 мкм, объем экскавации ДЗН – 0,1 мм³; средняя толщина КГК – 66,11 мкм; объем фокальных потерь КГК – 0,67%; объем глобальных потерь КГК – 1,97%; ДЗНО – 4,35 мм; индекс ОП 0,98 - обладал чувствительностью 90% и специфичностью 92% (AUC 0,95).

В диагностике 3 степени тяжести закрытой травмы глаза комплекс параметров, включающий: средняя толщина перипапиллярного СНВС со значением 106,38 мкм; объем экскавации ДЗН– 0,02 мм³; средняя толщина КГК - 64,66 мкм; объем фокальных потерь КГК – 3,2%; объем глобальных потерь КГК – 11,73%; ДЗНО 4,23 мм, индекс ОП 0,38 - обладал чувствительностью 92% и специфичностью 91% (AUC 0,94).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Одной из главных причин первичной инвалидности по зрению среди лиц трудоспособного возраста составляют травмы органа зрения, занимая в

ряде регионов удельный вес в структуре глазной инвалидности от 4,7 % до 25,6% [15,17,45,46]. При этом патология зрительного нерва за 2007-2016 г.г занимает в структуре инвалидности в Российской Федерации 3 место - 14% [52].

Среди госпитальных травм органа зрения контузия глазного яблока занимает устойчивое второе место, составляя в различных регионах от 23,19% до 40,57% среди всех стационарных больных [43,48]. При этом повреждение зрительного нерва, обусловившее потерю зрительных функций, отмечается в 1,16% - 19% случаев [48,67,73, 111].

Ранняя диагностика травматической оптической нейропатии у пациентов с минимальными клиническими проявлениями недостаточно проработана, но своевременное выявление начинающихся изменений зрительного нерва и сетчатки в раннем посттравматическом периоде играет важнейшую роль в оценке прогноза восстановления зрительных функций и своевременном назначении патогенетически ориентированной терапии.

В литературе отмечена роль оптической когерентной томографии (ОКТ) в диагностике изменений перипапиллярного слоя нервных волокон сетчатки (СНВС) после закрытой травмы глаза и комплекса ганглиозных клеток (КГК) сетчатки [73,99,163,173,198]. В то же время остаются неизученными морфометрические изменения диска зрительного нерва после закрытой травмы глаза различной степени тяжести.

Используемые в ранней диагностике посттравматических изменений структур глаза и орбиты ультразвуковые методы позволяют определить выраженность постконтузионных изменений, а также оценить состояние регионарной гемодинамики глаза [20,40]. Однако в доступной литературе отсутствуют сведения о роли современных ультразвуковых методов исследования в измерение диаметра зрительного нерва в ретробульбарном отделе у пациентов после закрытой травмы глаза (тип А).

Современные методы исследования функционального состояния сетчатки и зрительного нерва позволяют количественно оценить

выраженность и степень нарушений на протяжении всего зрительного пути, а также прогнозировать исход постконтузионного процесса и определить оптимальную тактику лечения. Исследователи широко применяют различные методы электрофизиологических исследований (электрофосфен, электроретинограмма, зрительные вызванные потенциалы) при ЗТГ [9,20,31,32,40,69]. Однако исследование активности наиболее чувствительных к ишемии внутренних слоев сетчатки, содержащих ганглиозные клетки, с помощью осцилляторных потенциалов ЭРГ, в раннем посттравматическом периоде не проводилось. Остается неизученным вопрос о взаимосвязи осцилляторных потенциалов и фотонегативного ответа колбочковой ЭРГ в ранний период после травмы, преимущественно при ЗТГ 1 степени тяжести с минимальными клиническими проявлениями.

Целью настоящего исследования было изучение структурно-функциональные изменения зрительного нерва после закрытой травмы глаза (тип А) при различной степени тяжести.

Для реализации поставленной цели были сформулированы следующие **задачи** исследования:

На основании метода спектральной оптической когерентной томографии изучить морфометрические параметры диска зрительного нерва, нейроархитектонику перипапиллярной и макулярной области сетчатки у пациентов с закрытой травмой глаза (тип А) различной степени тяжести.

На основании метода электроретинографии у пациентов с закрытой травмой глаза (тип А) различной степени тяжести изучить функциональное состояние внутренних слоев сетчатки, содержащих ганглиозные клетки.

На основании регистрации зрительных вызванных потенциалов изучить функциональное состояние зрительного нерва у пациентов с закрытой травмой глаза (тип А) различной степени тяжести.

На основании методов УЗИ и МРТ орбиты изучить изменения орбитальной части зрительного нерва у пациентов с закрытой травмой глаза (тип А) различной степени тяжести.

Оценить диагностическую значимость методов оптической когерентной томографии диска зрительного нерва, перипапиллярной и макулярной области сетчатки, ультразвукового исследования зрительного нерва и электроретинографии, регистрации зрительно вызванных потенциалов у пациентов после закрытой травмы глаза (тип А) различной степени тяжести методами многомерного, корреляционного, регрессионного анализа.

Все пациенты получали стандартное противовоспалительное и нейропротекторное лечение. Всего обследовано 164 человека (164 глаза): 134 пациента с односторонней закрытой травмой глаза различной степени тяжести и группа контроля 30 человек (30 глаз).

Все пациенты с односторонней закрытой травмой глаза были обследованы на 1-5 день после травмы (в среднем $3,14 \pm 0,23$ день) и 10-15 день после ЗТГ (в среднем $9,12 \pm 0,48$ день). Обследования были поведены в день поступления и выписки из стационара. Обследовано 134 человека (134 глаза) 110 мужчин и 24 женщины. Средний возраст пациентов с ЗТГ составил $36,67 \pm 2,56$ лет. Группа контроля 30 человек (30 глаз), включала 7 женщин и 23 мужчин в возрасте от 23 до 59 лет (средний возраст $34,2 \pm 4,7$), не имевших офтальмопатологии. Все исследуемые группы были сопоставимы по полу и возрасту. Все пациенты с ЗТГ были разделены на 3 основные группы по степеням тяжести нарушения зрительных функций (на основании Федеральных клинических рекомендаций «Травма глаза закрытая», 2020 год):

- закрытая травма глаза 1 степени тяжести: МКОЗ от 0,5 до 1,0;
- закрытая травма глаза 2 степени тяжести: МКОЗ от 0,4 до 0,2;
- закрытая травма глаза 3 степени тяжести: МКОЗ от 0,1 до 0,02.

Пациенты с 4 и 5 степенью тяжести нарушения зрительных функций (с максимально скорректированной остротой зрения ниже 0,02) не включались в данное исследование. Все пациенты с односторонней ЗТГ имели различные сочетания локализаций повреждения на поверхности глаза (наружная зона, передний сегмент, задний сегмент).

Первая группа: ЗТГ 1 степени тяжести травмы - 38 человек (38 глаз) из них 29 мужчин, 9 женщин. Вторая группа: ЗТГ 2 степени тяжести травмы - 46 человек (46 глаз) из них 34 мужчин, 12 женщин. Третья группа: ЗТГ 3 степени тяжести травмы - 50 человек (50 глаз), 47 мужчин, 3 женщины. Преобладание пациентов 2 и 3 степенью тяжести ЗТГ, обусловлено показаниями к госпитализации в стационар для больных этой группы.

Для оценки структурно-функционального состояния органа зрения были применены стандартные и дополнительные методы исследования. Стандартное офтальмологическое обследование включало: рефрактометрию на авторефрактометре KR-8900, Topcon (Япония); визометрию на приборе «Carl Zeiss» (Германия) с максимальной коррекцией аметропии; биомикроскопию на щелевой лампе «TAKAGI» (Япония) по методике Н.Б.Шульпиной; обратную офтальмоскопию с помощью диагностической линзы MaxField High Mag 78D (Ocular Instruments, США); статическая компьютерная периметрию на сферопериметре «Перигаф «Периком» (Россия); пневмотонометрию на приборе СТ-80, Topcon (Япония).

Дополнительно проводилась спектральная оптическая когерентная томография проводилась на аппарате RTVue-100 OCT (Optovue, Inc., Fremont, США). Использовались протоколы исследований: в области диска зрительного нерва (протоколы ONH и 3D Disc) и макулы (комплекс ганглиозных клеток, протокол GCC).

Ультразвуковое исследование включало анализ параметров на ультразвуковом В-скане HiScan фирмы Opticon (Италия). Использовали датчик с частотой 12,5 МГц. В режиме серой шкалы осуществляли

визуализацию орбитальной части зрительного нерва. Диаметр зрительного нерва в орбитальной части измеряли с помощью УЗИ в 3 мм позади глазного яблока, начиная от решетчатой пластинки.

Электрофизиологические исследования (ЭРГ, ЗВП) были выполнены на комплексе аппаратно-программной регистрации вызванных потенциалов «Электроретинограф» (фирма «МБН», Россия) по стандартному протоколу Международного общества клинической электрофизиологии зрения ISCEV.

Статистический анализ всех полученных результатов выполнялся с помощью пакета прикладных программ Statistica 10 производства Stat Soft Inc (USA). Сравнивались значения показателей в сформированных группах, полученных при поступлении и выписке пациентов из стационара. Данные в таблицах представлены в виде $M \pm m$, где M - средняя, m - ошибка средней. Корреляция показателей вычислялась с расчетом коэффициента корреляции Пирсона (r). Результаты логистической регрессии представляли в виде значимости (p) и отношения шансов с доверительным интервалом. Статистически значимым считали различие между сравниваемыми рядами с уровнем вероятности 95% ($p < 0,05$). Оценку качества логистической модели дополняли ROC-анализом.

Спектральную оптическую когерентную томографию (СОКТ) провели у 97 пациентов с различной степенью травмы. В эту группу не включены пациенты со снижением прозрачности оптических сред глаза (эрозии роговицы, гифема, гемофтальм). Проводили СОКТ перипапиллярного СНВС, диска зрительного нерва и комплекса ганглиозных клеток сетчатки. Использовались протоколы исследований ONH, 3D Disc, GCC.

У пациентов с 1 степенью тяжести после закрытой травмы глаза через 1-5 дней после ЗТГ (в среднем $3,14 \pm 0,23$ день) на поврежденном глазу отмечалось утолщение перипапиллярного слоя нервных волокон сетчатки (СНВС) по сравнению с группой контроля на 102,9%. У пациентов с 2 и 3 степенью тяжести травмы на пораженном глазу помимо увеличения толщины

перипапиллярного слоя нервных волокон сетчатки (соответственно на 109,6% и 111,6%), отмечалось увеличение площади (rim area) (соответственно на 112,5% и 114%) и увеличение объема (rim volume) (соответственно на 111,8% и 129,4%) нейроретинального пояска, увеличение объема диска зрительного нерва (NHV) (соответственно на 119,3% и 125,8%), уменьшение объема экскавации диска зрительного нерва (Cup volume) (соответственно на 127,2% и 136,3%).

При повторном исследовании через 10-15 дней после ЗТГ (в среднем $9,12 \pm 0,48$ день) у пациентов с 1 степенью тяжести травмы сохранялось утолщение перипапиллярного слоя нервных волокон (avg RNFL) на 104,9%. У пациентов со 2 и 3 степенью тяжести травмы, на поврежденном глазу помимо увеличения толщины avg RNFL (соответственно на 109,8% и 110,4%), сохранялось увеличение площади (соответственно на 107% и 107,1%) и увеличение объема (соответственно на 111,8% и 123,5%) нейроретинального пояска, увеличение объема диска зрительного нерва (соответственно на 119,3% и 123,5%) и уменьшение объема экскавации диска зрительного нерва (соответственно на 127,3% и 136,4%).

Проведен с помощью спектральной ОКТ анализ комплекса ганглиозных клеток (КГК) сетчатки, состоящего из слоя нервных волокон, слоя ганглиозных клеток и внутреннего плексиформного слоя. При анализе КГК в ранние сроки на 1-5 день после ЗТГ (в среднем $3,14 \pm 0,23$ день) не отмечалось увеличения средней толщины КГК (avg GCC) во всех группах, независимо от степени тяжести травмы. В то же время у пациентов с травмой 1, 2 и 3 степенями тяжести на травмированном глазу увеличен объем фокальных (FLV) и глобальных потерь (GLV) по сравнению с группой контроля (соответственно в 3,1, 3,6 и 14,7 раза).

При повторном исследовании через 10-15 дней после ЗТГ (в среднем $9,12 \pm 0,48$ день) на травмированном глазу во всех группах независимо от степени тяжести травмы уже отмечалось увеличение средней толщины (avg

GCC) комплекса ганглиозных клеток (соответственно на 102,1%, 106,4% и 107,2%). Сохранялся увеличенным объем фокальных и глобальных потерь КГК.

Таким образом, утолщение комплекса ганглиозных клеток сетчатки (avg GCC) выявлено только через 10-15 день после ЗТГ (в среднем $9,12 \pm 0,48$ день). При этом утолщение перипапиллярного слоя нервных волокон сетчатки (avg RNFL) начинается непосредственно в первые дни после закрытой травмы травмы.

При ультразвуковом исследовании ретробульбарного отдела зрительного нерва в 3 мм от заднего полюса глаза выявлено расширение диаметра зрительного нерва с оболочками на стороне пораженного глаза.

При анализе данных выявлена следующая закономерность: на 1-5 день после ЗТГ (в среднем $3,14 \pm 0,23$ день) отмечалось при 1, 2 и 3 степени тяжести травмы увеличение диаметра зрительного нерва с оболочками на 0,11 мм, 0,14 мм, 0,39 мм соответственно по сравнению с показателями группы контроля.

При повторном исследовании через 10-15 дней после ЗТГ (в среднем $9,12 \pm 0,48$ дней) имелась тенденция к уменьшению показателей, но все же на пораженном глазу у пациентов с 1, 2 и 3 степенями тяжести травмы сохранялся увеличенный диаметр зрительного нерва с оболочками (соответственно на 0,06 мм, 0,08 мм и 0,36 мм) по сравнению с показателями группы контроля.

Проведен сравнительный анализа диаметра зрительного нерва с оболочками (ДЗНО) методами МРТ и УЗИ, обследовано 20 пациентов. Установлено, что точность определения диаметра зрительного нерва, измеренная с помощью УЗИ, сравнима с параметрами ДЗНО, измеренной с помощью МРТ. Отмечена положительная корреляция данных ДЗНО, исследованных с помощью УЗИ и МРТ ($r=0,58$, $p<0,01$).

С учетом анатомо-гистологических литературных данных о строении интрабульбарного и ретробульбарного отделов зрительного нерва, можно

предполагать, что одностороннее расширение диаметра зрительного нерва с оболочками на травмированном глазу может быть связано с анатомическими предпосылками в строении ретробульбарной части субарахноидального пространства зрительного нерва, которое в этом отделе расширено и имеет множество трабекул, а так же тупиковым расположением субарахноидального пространства зрительного нерва в этом отделе. В расширении диаметра зрительного нерва на травмированном глазу принимает участие повышение внутричерепного давления и затруднение оттока спинномозговой жидкости в субарахноидальном пространстве зрительного нерва.

Проведен анализ электроретинограм. У больных с травмой 1 степени тяжести по сравнению с группой контроля через 1-5 день после ЗТГ (в среднем $3,14 \pm 0,23$ день) по сравнению с нормой отмечалось снижение амплитуды волны "b" общей ЭРГ на 104,4%, в то время как показатели латентности «a» и "b" волн ЭРГ статистически не отличались от данных контроля. При повторном исследовании через 10-15 день после ЗТГ (в среднем $9,12 \pm 0,48$ день) амплитудные и латентные характеристики волн "a" и "b" травмированного глаза статистически не отличались от показателей группы контроля.

У больных с травмой 2 степени тяжести через 1-5 день после ЗТГ (в среднем $3,14 \pm 0,23$ день) отмечалось снижение амплитуды волн "a" и "b" общей ЭРГ (соответственно на 108,3% и 112,1%), в то время как показатели латентности этих волн статистически не отличались от группы контроля. При повторном исследовании через 10-15 день после ЗТГ (в среднем $9,12 \pm 0,48$ день) амплитуда волн "a" и "b" травмированного глаза оставалась сниженной (соответственно на 107,8% и 107,7%), латентность волн "a" и "b" статистически не отличались от группы контроля.

При травме 3 степени тяжести через 1-5 день после ЗТГ (в среднем $3,14 \pm 0,23$ день) отмечалось на травмированном глазу более выраженное снижение амплитуды волн "a" и "b" ЭРГ (соответственно на 122,9% и

119,5%), показатели латентности этих волн не отличались от контрольной группы. При исследовании этих больных через 10-15 день после ЗТГ (в среднем $9,12 \pm 0,48$ день) амплитуда волн "а" и "b" общей ЭРГ травмированного глаза оставалась сниженной соответственно на 112,1% и 112,4% по сравнению с показателями группы контроля.

Был исследован фотонегативный ответ (ФНО) ЭРГ, который происходит из ганглиозных клеток сетчатки. При исследовании через 1-5 день после ЗТГ (в среднем $3,14 \pm 0,23$ день) достоверно ($p < 0,05$) отмечалось уменьшение амплитуды ФНО электроретинограммы при 1 степени тяжести на травмированном глазу на 121,8% по сравнению с показателями группы контроля; при 2 степени тяжести травмы - на 124,6%; при 3 степени тяжести травмы - на 136,6%.

При повторном исследовании через 10-15 день после ЗТГ (в среднем $9,12 \pm 0,48$ день) при травме 1 степени тяжести отмечается увеличение амплитуды ФНО, но она оставалась сниженной на 110,9% по сравнению с показателями группы контроля. Несмотря на увеличение амплитуды ФНО у пациентов со 2 и 3 степенью тяжести травмы на поврежденном глазу, по сравнению с показателями группы контроля отмечается достоверное ($p < 0,05$) снижение амплитуды на 119,2% и 133,2% соответственно.

Снижение амплитуды ФНО свидетельствовало о нарастании функциональных изменений в ганглиозных клетках сетчатки вследствие ЗТГ (тип А).

Впервые были изучены осцилляторные потенциалы (ОП) ЭРГ, которые регистрировались на восходящей волне «b» ЭРГ у пациентов с после ЗТГ (тип А). Проведенное исследование показало, что индекс ОП через 1-5 дней после ЗТГ (в среднем $3,14 \pm 0,23$ день) при 1, 2 и 3 степени тяжести травмы меньше группы контроля соответственно на 113,3%, 128,6% и 112,2%. При повторном исследовании через 10-15 дней после ЗТГ (в среднем $9,12 \pm 0,48$ день) индекс ОП оставался сниженным в зависимости от степени тяжести травмы соответственно на 107,4%, 115,2% и 119,3% по сравнению с группой контроля.

Таким образом, снижение индекса ОП отражало изменения, происходящие во внутренних слоях сетчатки, а точнее, в аксонных терминалях биполярных клеток, в отростках амакриновых клеток, интерплексиформных клетках и дендритах ганглиозных клеток.

При корреляционном анализе не отмечено достоверной корреляции между индексом осцилляторных потенциалов и амплитудой фотонегативного ответа ЭРГ. По-видимому, это отражает сложные процессы электрогенеза во внутренних слоях сетчатки.

При регистрации зрительных вызванных потенциалов (ЗВП) в течение первых дней ($3,14 \pm 0,23$ день) при 1 степени тяжести травмы не отмечалось статистически достоверной разницы в амплитуде волны P-100 травмированного глаза и показателями группы контроля. Но в то же отмечалось уменьшение амплитуды при 2 и 3 степени тяжести травмы (соответственно на 120,9% и 129,8%). В эти сроки наблюдения регистрировалось увеличение латентности волны P-100 травмированного глаза при разных степенях тяжести травмы от 104% до 106,8% по сравнению с группой контроля.

При повторном исследовании на 10-15 день после ЗТГ (в среднем $9,12 \pm 0,48$ день) отмечалась нормализация латентности травмированного глаза. Но оставалось снижение амплитуды волны P-100 при 2 и 3 степени тяжести травмы (соответственно на 110,6% и 127%).

Снижение амплитуды волны P-100 ЗВП отражало изменения в зрительных проводящих путях, вызванные закрытой травмой глаза, а увеличение латентности в первые дни после травмы свидетельствовало о нарушении проводимости нервного импульса по аксонам зрительного нерва.

При оценке корреляционных взаимосвязей выявлена положительная корреляция между амплитудой фотонегативной волны ЭРГ и средней толщиной слоя нервных волокон сетчатки ($r=0,71$) и комплекса ганглиозных клеток ($r=0,72$), и отрицательная корреляция с объемом фокальных ($r=-0,69$) и глобальных потерь ($r=-0,78$) комплекса ганглиозных клеток.

Выявлена положительная корреляция между индексом осцилляторных потенциалов ЭРГ и средней толщиной слоя нервных волокон сетчатки ($r=0,72$) и комплекса ганглиозных клеток ($r=0,73$), и отрицательная корреляция с объемом фокальных ($r=-0,7$) и глобальных потерь ($r=-0,76$) комплекса ганглиозных клеток.

Выявлена положительная корреляционная взаимосвязь между диаметром зрительного нерва с оболочками (ДЗНО) и морфометрическими параметрами диска зрительного нерва (с объемом ДЗН ($r=0,75$), объемом ($r=0,74$) и площадью ($r=0,71$) нейроретинального пояса), и отрицательная корреляция между ДЗНО и объемом ($r=-0,75$) и площадью ($r=-0,72$) экскавации ДЗН.

Выявлена положительная корреляционная взаимосвязь между средней толщиной комплекса ганглиозных клеток и МКОЗ ($r=0,71$), и отрицательная корреляция между МКОЗ и объемом фокальных ($r = - 0,73$) и глобальных ($r = - 0,77$) потерь сетчатки.

Методом регрессионного анализа определены наиболее значимые диагностические комплексы параметров при закрытой травме глаза различной степени тяжести. Наибольшей диагностической значимостью в определении степени тяжести после закрытой травмы глаза обладали комплекс параметров: средняя толщина перипапиллярного слоя нервных волокон сетчатки (СНВС), объем экскавации ДЗН, средняя толщина комплекса ганглиозных клеток (КГК), объем фокальных и глобальных потерь КГК, диаметр зрительного нерва с оболочками (ДЗНО), индекс осцилляторных потенциалов (ОП).

В диагностике 1 степени тяжести закрытой травмы глаза комплекс параметров, включающий следующие показатели: средняя толщина СНВС со значением 84,19 мкм; объем экскавации ДЗН – 0,26 мм³; средняя толщина комплекса ганглиозных клеток – 79,63 мкм; объем фокальных потерь КГК – 0,58%; объем глобальных потерь КГК – 1,38%; диаметр зрительного нерва с оболочками - 4,66 мм; индекс осцилляторных

потенциалов (ОП) 1,01 - обладал чувствительностью 91% и специфичностью 94% (AUC 0,93).

В диагностике 2 степени тяжести закрытой травмы глаза комплекс параметров, включающий показатели: средняя толщина перипапиллярного СНВС со значением 99,56 мкм, объем экскавации ДЗН – 0,1 мм³; средняя толщина КГК – 66,11 мкм; объем фокальных потерь КГК – 0,67%; объем глобальных потерь КГК – 1,97%; ДЗНО – 4,35 мм; индекс ОП 0,98 - обладал чувствительностью 90% и специфичностью 92% (AUC 0,95).

В диагностике 3 степени тяжести закрытой травмы глаза комплекс параметров, включающий: средняя толщина перипапиллярного СНВС со значением 106,38 мкм; объем экскавации ДЗН– 0,02 мм³; средняя толщина КГК - 64,66 мкм; объем фокальных потерь КГК – 3,2%; объем глобальных потерь КГК – 11,73%; ДЗНО 4,23 мм, индекс ОП 0,38 - обладал чувствительностью 92% и специфичностью 91% (AUC 0,94).

Таким образом, в результате проведенного методами спектрального ОКТ, ультразвукового исследования ретробульбарной части зрительного нерва, регистрации электроретинограммы и зрительных вызванных потенциалов было установлено, что структурно-функциональные изменения зрительного нерва после закрытой травмы глаза выявляются при любой степени тяжести травмы и имеется прямая корреляционная зависимость структурно-функциональных изменений в зависимости от степени тяжести травмы. Была выявлена повторяемость методов МРТ и УЗИ при измерении ретробульбарной части зрительного нерва, что говорит о их взаимозаменяемости.

Определен методами корреляционного и регрессионного анализа комплекс структурно-функциональных критериев, обеспечивающий высокую диагностическую значимость спектральной оптической когерентной томографии (средняя толщина перипапиллярного СНВС; объем экскавации ДЗН; средняя толщина КГК; объем фокальных и глобальных потерь), индекса осцилляторных потенциалов электроретинограммы, ультразвукового

исследования ретробульбарного отдела зрительного нерва в диагностике повреждения зрительного нерва после закрытой травмы глаза различной степени тяжести.

Выводы

1. На основании метода спектральной оптической когерентной томографии у пациентов при всех степенях тяжести закрытой травмы глаза (тип А) определено достоверное ($p < 0,05$) увеличение толщины перипапиллярного слоя нервных волокон сетчатки, увеличение объема диска зрительного нерва, уменьшение объема экскавации диска зрительного нерва, увеличение площади и объема нейроретинального пояса, увеличение объема фокальных и глобальных потерь в комплексе ганглиозных клеток сетчатки и его утолщение.
2. Определены клинически значимые ($p < 0,05$) показатели электроретинограммы после закрытой травмы глаза (тип А) различной степени тяжести: снижение индекса осцилляторных потенциалов и снижение амплитуды фотонегативного ответа ЭРГ, что свидетельствует о вовлечении в патологический процесс внутренних слоев сетчатки и дисфункции ганглиозных клеток.
3. Методом регистрации зрительных вызванных потенциалов в ранний период после закрытой травмы глаза (тип А) различной степени тяжести отмечено снижение амплитуды и увеличение латентности волны Р-100 ЗВП, что указывает на вовлечение в патологический процесс ганглиозных клеток сетчатки и их аксонов, образующих зрительный нерв.
4. На основании метода ультразвукового исследования орбитальной части зрительного нерва выявлено увеличение диаметра зрительного нерва с оболочками в ретробульбарном отделе, которое имеет корреляционную зависимость от степени тяжести травмы.
5. Методами многомерного, корреляционного и регрессионного анализа выявлены корреляционные зависимости структурных и функциональных показателей изменений зрительного нерва после закрытой травмы глаза (тип А); определен комплекс параметров, обладающий наибольшей диагностической значимостью при различных степенях тяжести ЗТГ

глаза: средняя толщина перипапиллярного СНВС, объём и площадь экскавации ДЗН, объём и площадь нейроретинального пояска, средняя толщина комплекса ганглиозных клеток, объём глобальных и фокальных потерь КГК, диаметр зрительного нерва с оболочками, индекс осцилляторных потенциалов и амплитуда волны Р-100 ЗВП.

Практические рекомендации

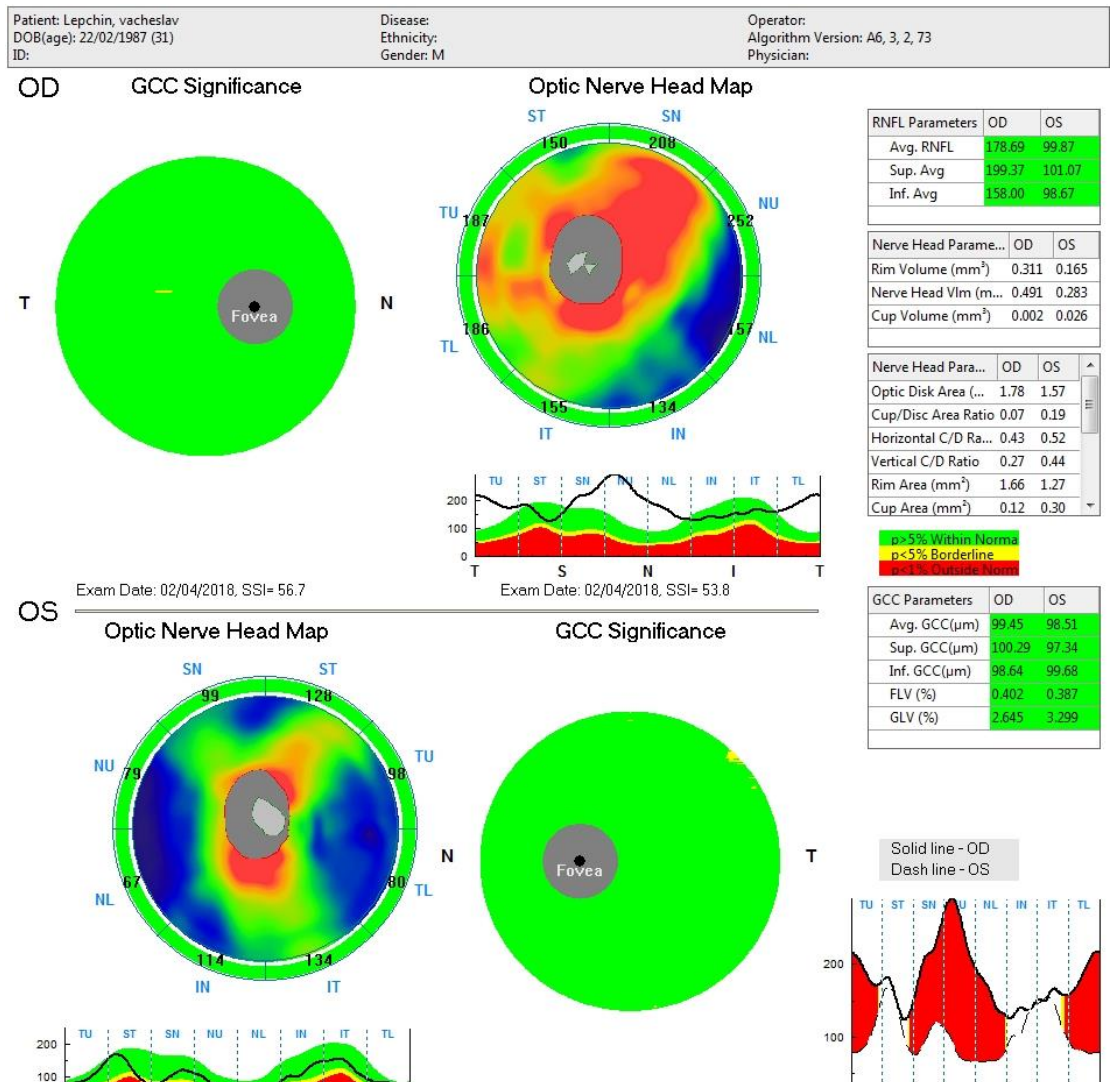
1. Для выявления изменений в зрительном нерве после закрытой травмы глаза (тип А) различной степени тяжести при прозрачных оптических средах необходимо проведение ОСТ, значимыми диагностическими критериями являются комплекс морфометрических параметров диска зрительного нерва, перипапиллярной и макулярной области сетчатки: средняя толщина перипапиллярного СНВС, объем экскавации ДЗН, средняя толщина комплекса ганглиозных клеток, объём фокальных и глобальных потерь КГК.
2. Для определения изменений в зрительном нерве после закрытой травмы глаза (тип А) различной степени тяжести с помощью ультразвукового исследования ретробульбарного отдела зрительного нерва наиболее значимым диагностическим критерием является диаметр зрительного нерва с оболочками (ДЗНО), измеренный в 3 мм от решетчатой пластинки. Точность определения ДЗНО, измеренная с помощью УЗИ, была аналогична параметрам ДЗНО, измеренной с помощью МРТ. Для оценки состояния зрительного нерва в ретробульбарном отделе после закрытой травмы глаза (тип А) различной степени тяжести необходимо проведение УЗИ зрительного нерва, как наиболее простой, безопасный и малозатратный метод, чем МРТ.
3. Для выявления изменений в зрительном нерве после закрытой травмы глаза (тип А) различной степени тяжести с помощью зрительных вызванных потенциалов и электроретинограммы, значимым диагностическим критерием является индекс осцилляторных потенциалов.

Клинический пример 1

Пациент Л., 31 год, 5 день после травмы (удар гаечным ключом). Острота зрения 0,02. На глазном дне субретинальное кровоизлияние у диска зрительного нерва. На травмированном правом глазу отмечается выраженное увеличение толщины перипапиллярного слоя нервных волокон (avg RNFL); увеличение площади (rim area) и объема (rim volume) нейроретинального пояса; увеличение площади диска зрительного нерва (Optic Disk Area); увеличение объема головки зрительного нерва (NHV); уменьшение площади (cup area) и объема экскавации (cup volume) диска. При исследовании комплекса ганглиозных клеток сетчатки (avg GCC) отмечается незначительное увеличение толщины слоя avg GCC.

Рис. 2

Спектральная
ОКТ



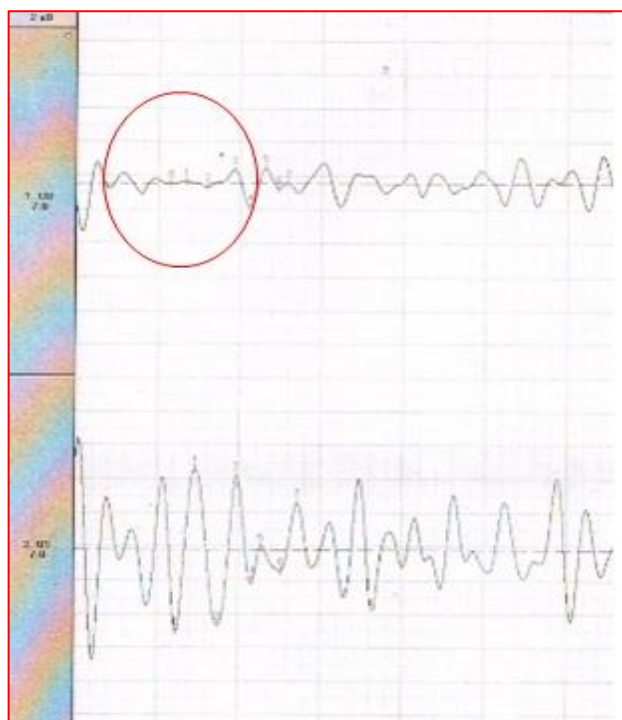


Рис. 3 Индекс Осцилляторных потенциалов на правом травмированном глазу выражено уменьшен (0,97), по сравнению с левым глазом (6,19).

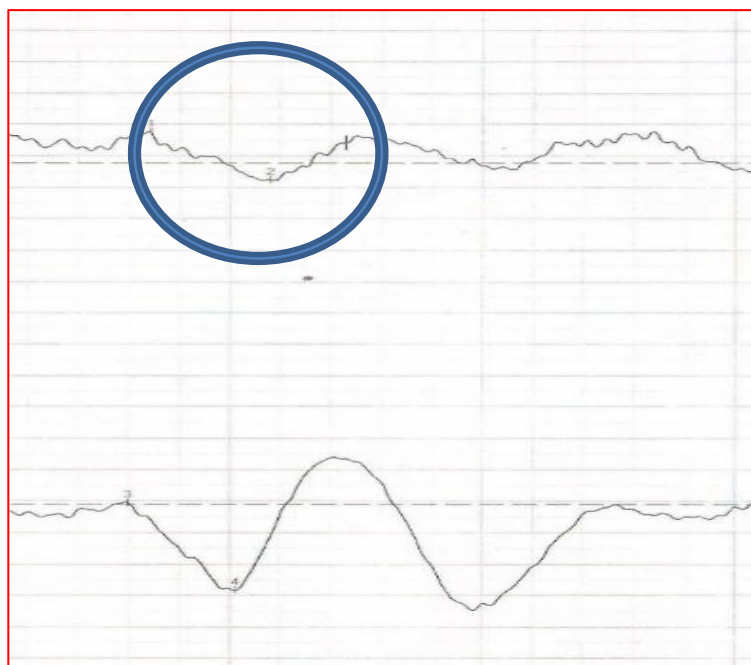


Рис. 4

Волна P-100 ЗВП на правом травмированном глазу: уменьшена амплитуда (4,51 мкВ) и увеличена латентность (116 мСек). Левый глаз: амплитуда 8,36 мкВ, латентность 102 мСек.

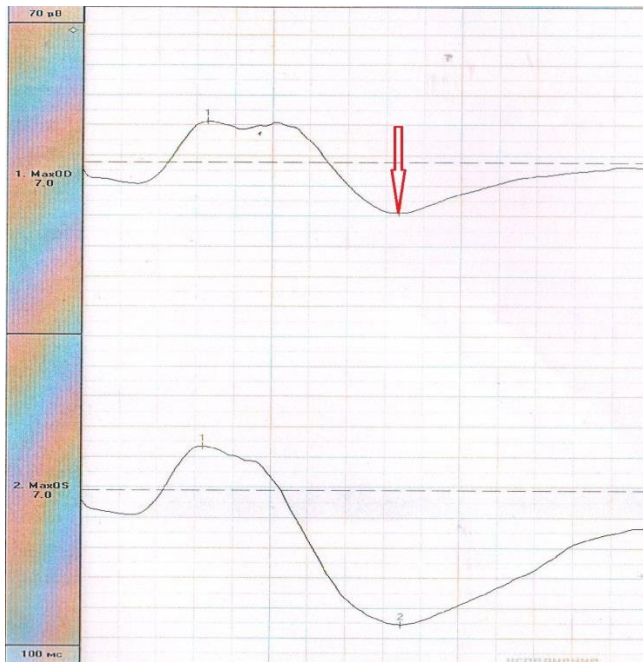


Рис. 5 ЭРГ: на травмированном правом глазу уменьшена амплитуда фотонегативного ответа (216 мкВ), по сравнению с левым глазом (418 мкВ).

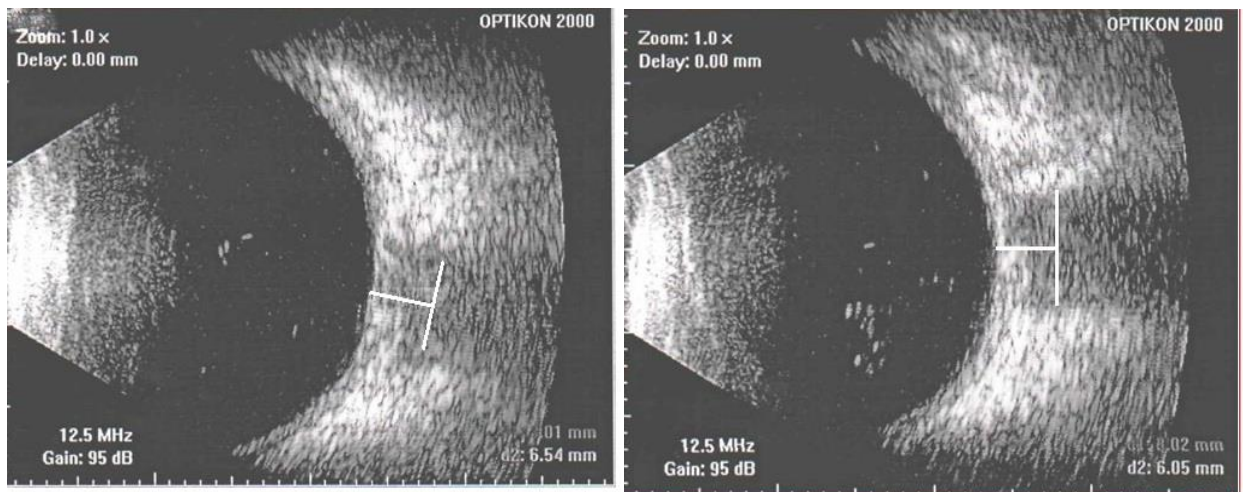


Рис. 6 Данные УЗИ ретробульбарного отдела зрительного нерва : диаметр зрительного нерва травмированного правого глаза 6,54 мм и парного левого 6,05 мм. Пятый день после травмы.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- АЗН – атрофия зрительного нерва
- ГКС – ганглиозные клетки сетчатки
- ДЗН – диск зрительного нерва
- ЗВП – зрительные вызванные потенциалы
- ЗН – зрительный нерв
- ЗТГ – закрытая травма глаза
- КГК – комплекс ганглиозных клеток
- КТ – компьютерная томография
- МКОЗ – максимальная корригированная острота зрения
- МРТ – магнитно-резонансная томография
- ОКТ- оптическая когерентная томография
- ОП - осцилляторные потенциалы
- СНВС – слой нервных волокон сетчатки
- СОКТ-спектральная оптическая когерентная томография
- ТОН- травматическая оптическая нейропатия
- УЗИ – ультразвуковое исследование
- ФНО - фотонегативный ответ
- ЧАЗН – частичная атрофия зрительного нерва
- ЭРГ– электроретинография
- RNFL (retinal nerve fiber layer) – слой нервных волокон сетчатки
- NHV (nerve head volume) – объем диска зрительного нерва
- Cup area - площадь экскавации диска
- Rim area - площадь нейроретинального пояска
- Cup volume - объем экскавации
- Rim volume - объем нейроретинального пояска
- Optic Disk area - площадь диска зрительного нерва

Литература.

1. Александрова, Г.А. Социально значимые заболевания населения России в 2018 году (Статистические материалы) / Г.А. Александрова, Н.А. Голубев, Е.М. Тюрина [и др.].- Текст: непосредственный // Сборник статистических материалов Минздрава РФ.- Москва, 2019.- С. 63
2. Алексеева, Г.Ф. Оценка постконтузионных внутриглазных трофических нарушений / Г.Ф. Алексеева.- Текст: непосредственный // Клинико-инструментальные и физические методы диагностики и лечения посттравматических изменений органа зрения. – М.,1998. – С. 22.
3. Аринова, Г.П. Клинико-статистический анализ травм глаза / Г.П. Аринова.- Текст: непосредственный // Медицина и экология.- 2010.- № 2 .- с. 125-126.
4. Бенделик, Е.К. Контузии глаза: клинико-биохимические исследования, аспекты патогенеза: автореф. дис. ... д-ра мед. наук / Е.К. Бенделик.– текст: непосредственный // М., 1998.- 42 с.
5. Белякова, Н.С. Офтальмологические аспекты топологии острого периода сочетанной краниоорбитальной травмы / Н.С. Белякова, Е.Ф. Власова, А.Л. Зайцев, М.А. Прокопьев.- Текст: непосредственный // Невские горизонты-2012. Мат-лы научной конференции офтальмологов.- С-Петербург.- 2012.- С. 331-333
6. Бессмертный, М.З. К механизму возникновения застойного диска зрительного нерва в остром периоде закрытой черепно-мозговой травмы / М.З. Бессмертный.- Текст: непосредственный // Вестник офтальмологии.- 2000.- Т. 116.- № 1.- С. 36-38.
7. Бойко, Э.В. Оценка открытой травмы глаза при бинокулярных повреждениях в ходе медицинского обеспечения контртеррористической операции на Северном Кавказе / Э.В. Бойко, С.В. Чурашов, С.Н. Николаев, Т.А. Леонгардт. - Текст: непосредственный // Вестник Российской Военно-Медицинской Академии.- 2011.- №2.- С.188-191.

8. Бурцева, М.С. Клинико-функциональная характеристика глазной патологии при закрытой черепно-мозговой травме легкой и средней степени тяжести и возможности ее коррекции: автореф. дис. ... канд. мед. наук / М.С. Бурцева.- Текст: непосредственный // Ростов-на-Дону, 2007. – 19 с.

9. Валькова, И.В. Тупая травма глаза / И.В. Валькова.- Текст: непосредственный // Рига: Изд. Рижского мед. ин-та.- 1988.- 93 с.

10. Важенков, С.Н. Происхождение осцилляторных потенциалов и их роль в диагностике глазных болезней / С.Н. Важенков.- Текст: непосредственный // РМЖ. Клиническая офтальмология.- 2008.- №2 .- С. 71.

11. Вериге Е.Н. Характеристика современной механической травмы глаза / Е.Н. Вериге, Е.В. Ченцова.- Текст: непосредственный // IX Российский общенациональный офтальмологический форум. Сборник научных трудов научно-практической конференции с международным участием. – 2016.- т. 1.- С. 15-20.

12. Вит, В.В. Строение зрительной системы человека / В.В.Вит.- Текст: непосредственный //.- Одесса: Астропринт,2003.- 664 с.

13. Владимирова, Н.А. О межоболочечных пространствах зрительного нерва / Н.А. Владимирова.- Текст: непосредственный // Вопросы нейрохирургии.-1972.- №3.- С. 41- 45.

14. Владимирова, Н.А. Застойные диски зрительных нервов при опухолях головного мозга / Н.А. Владимирова.- Текст: непосредственный // Материалы IV Московской научно-практической нейроофтальмологической конференции «Современные аспекты нейроофтальмологии». – М., 2000. – С. 11-13.

15. Воронова, И.А. Первичная инвалидность по глазной патологии в Вологодской области за 2001-2003 г.г. / И.А. Воронова.- Текст: непосредственный // Материалы I конференции офтальмологов Русского Севера.- Вологда, 2004 .- С. 12-13.

16. Выдров, А.С., Анализ структуры и динамики офтальмотравматизма в Амурской области / А.С. Выдров, Е.Н. Комаровских.- Текст: непосредственный // Российский офтальмологический журнал.- 2014.- №1.- С.10–13.

17. Голева, Т.Н. Распространенность слепоты, связанной с патологией сетчатки, и пути ее ликвидации в Воронежской области / Т.Н. Голева.- Текст: непосредственный // Материалы V Российского межрегионального симпозиума «Ликвидация устранимой слепоты: всемирная инициатива ВОЗ. Ликвидация устранимой слепоты, связанной с патологией сетчатки и зрительного нерва.- Москва, 2011.- С. 53-59.

18. Гундорова, Р.А. Приоритетные направления в проблеме глазного травматизма / Р.А.Гундорова, Л.К.Мошетова, И.Б.Максимов.- Текст: непосредственный // Тезисы докладов VII съезда офтальмологов России.- Москва, 2000.- 55-60

19. Гундорова, Р.А. Травмы глаза / под редакцией Р.А. Гундорова, В.В. Нероев, В.В. Кашников.- Текст: непосредственный // М.: ГЭОТАР-Медиа, 2009.- С.447-463.

20. Гундорова, Р.А. Диагностика изменений гемодинамических показателей при контузии глазного яблока / Р.А. Гундорова, Т.Н. Киселева, А.Н. Бедретдинов, Д.С. Беляев.- Текст: непосредственный // Сборник научных трудов Международной науч.-практ. конференции по офтальмохирургии «Восток–Запад». – Уфа, 2011. – С. 465–466.

21. Гундорова, Р.А. Травматическая оптическая нейропатия / Р.А. Гундорова, Т.Н. Киселева, А.Н. Бедретдинов.- Текст: непосредственный // Российский офтальмологический журнал. – 2013. – № 1. – С. 103–105.

22. Елисеева, Н.М. К патогенезу зрительных нарушений при застойных дисках зрительных нервов / Н.М. Елисеева, Н.К. Серова, В.А. Шахнович .- Текст: непосредственный // Материалы VII съезда офтальмологов России.- М., 2000.- С. 175-176.

23. Елисеева, Н.М. Клинические аспекты и патогенетические механизмы развития застойных дисков зрительных нервов / Н.М. Елисеева, Н.К. Серова, Н.В. Арутюнов.- Текст: непосредственный // Материалы VI Московской научно-практической конференции «Современные аспекты нейроофтальмологии».- Москва, 2002.- С.43.

24. Елисеева, Н.М. Магнитно-резонансная томография орбитального отрезка зрительного нерва при различных стадиях застойного диска зрительного нерва / Н.М. Елисеева, Н.К. Серова, Н.В. Арутюнов.- Текст: непосредственный // Вестник офтальмологии.- 2005.- № 6.- С. 5-9.

25. Елисеева, Н.М. Ультразвуковое исследование зрительных нервов при внутричерепной гипертензии / Н.М. Елисеева, Н.К. Серова, М.А. Шифрин.- Текст: непосредственный // Вестник офтальмологии.- 2008.- №6.- С. 29-33.

26. Еолчиян, С.А. Черепно-мозговая травма сопровождающаяся повреждением зрительного нерва: автореф. дис. ... канд. мед. наук / С.А. Еолчиян.- Текст: непосредственный // М., 1996. – 38 с.

27. Ермаков, А.А. Структура глазного травматизма в крупном промышленном городе / А.А. Ермаков.- Текст: непосредственный // Вестник Совета молодых ученых и специалистов Челябинской области.- 2014.- т.3.- №3.- С.9-11.

28. Жабоедов, Г.Д. Поражения зрительного нерва / Г.Д. Жабоедов, Р.Л. Скрипник.- Текст: непосредственный // Киев: изд. Здоров'я.- 2006.- С. 253-360

29. Загидуллина, А. Ш. Повреждение зрительного нерва при черепно-мозговой травме (диагностика, лечение, исходы): автореф. дис. ... канд. мед. наук /А.Ш. Загидуллина.- Текст: непосредственный // М., 2010.- 22 с.

30. Зеленцов, С.Н. Клинико-функциональное состояние сетчатки и зрительного нерва при контузии глазного яблока: автореф. дис. ... канд. мед. наук / С.Н. Зеленцов.- Текст: непосредственный // М., 1995.- 20 с.

31. Зуева, М.В. Ранние изменения биоэлектрической активности сетчатки после контузии глазного яблока / М.В. Зуева, И.В. Цапенко, Р.А. Гундорова [и др.].- Текст: непосредственный // Вестн офтальмол.- 2000.- № 1.- с. 20-23.

32. Зуева, М.В. Классификация окуло-окулярных реакций при тяжелой механической травме глаза по данным электрофизиологических и иммунологических исследований / М.В. Зуева, О.С. Слепова, Р.А Гундорова [и др.].- Текст: непосредственный // Рефракционная хирургия и офтальмология. – 2007. – Т. 7.- № 1. – С. 35–41.

33. Ильенков, С.С. Офтальмотравматологическая помощь в Красноярском крае / С.С. Ильенков, В.В. Лазаренко В.В., О.Е. Лудченко.- Текст: непосредственный // IX Российский общенациональный офтальмологический форум. Сборник научных трудов научно-практической конференции с международным участием.- 2016.- т.1.- С. 41- 45.

34. Иойлева, Е.Э. Видеоофтальмографический метод анализа головки зрительного нерва в диагностике и лечении частичной атрофии зрительного нерва различной этиологии: автореф. дис. ... канд. мед. наук / Е.Э. Иойлева.- Текст: непосредственный // М., 1994.- 21 с.

35. Каменских, Т.Г. Экспериментально-клиническое обоснование комплексной терапии больных частичной атрофией зрительного нерва: автореф. дис. ... доктора мед. наук / Т.Г. Каменских.- Текст: непосредственный // Саратов, 2007. – 54 с.

36. Касымова, М.С. Анатомические особенности диска зрительного нерва / М.С.Касымова.- Текст: непосредственный // РМЖ. Клиническая офтальмология.- 2001. - №3.- С. 111-113

37. Кацнельсон, Л.А. Сосудистые заболевания глаза / Л.А. Кацнельсон, Т.И. Форфонова, А.Я. Бунин.- Текст: непосредственный // Москва: Медицина, 1990.- 269 с.

38. Кашников, В.В. Контузионная травма глаза / В.В. Кашников.- Текст: непосредственный // – Новосибирск: Ливест.- 2007.- 196 с.

39. Кириллова, М.О. Электрофизиологические маркеры доклинической диагностики глаукомной оптической нейропатии / М.О. Кириллова, М.В. Зуева, И.В. Цапенко, А.Н. Журавлева.- Текст: непосредственный // Российский офтальмологический журнал.- 2021.- т.14.- №1.- С. 35-41.
40. Киселева, Т.Н. Изменения кровотока и функционального состояния сетчатки и зрительного нерва при закрытой травме глаза / Т.Н. Киселева, И.В. Цапенко, М.В. Зуева, А.Н.Бедретдинов.- Текст: непосредственный // Российский офтальмологический журнал.- 2016.- № 1.- С. 32–38
41. Кочергин, С.А. Качество жизни пациентов после механической травмы глаза: современный взгляд на проблему / С.А. Кочергин, Н.Д. Сергеева.- Текст: непосредственный // IV Российский общенациональный офтальмологический форум: сб. науч. трудов.Том 1.- М., 2011.- С. 97—105.
42. Кузнецов, С.Л. Эпидемиология обращаемости больных с травмами и острыми заболеваниями глаз и придаточного аппарата по данным кабинета неотложной офтальмологической помощи ГБУЗ «Пензенская областная офтальмологическая больница» / С.Л. Кузнецов, О.В. Шалдыбина, Р.С. Галеев [и др.].- Текст: непосредственный // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2016.- т.21.- №4.- С.1597-1606
43. Курбанова, Н.Ф. Клинические особенности больных с травмой глаза в условиях специализированного отделения / Н.Ф. Курбанова.- Текст: непосредственный // Вестник офтальмол.- 2003.- №3.- С. 41-43
44. Куликов, А.Н. Структура, особенности и исходы современной боевой травмы глаза / А.Н. Куликов, С.В. Чурашов, А.А. Михин.- Текст: непосредственный // XII Российский общенациональный офтальмологический форум: сб. научных трудов. Том 2.- М.,2019.- С. 491-494

45. Либман, Е.С. Слепота и инвалидность вследствие патологии органа зрения в России / Е.С. Либман.- Текст: непосредственный // Вестник офтальмол.- 2006.- №1.- С. 35-37

46. Лопатина, Т.И. Анализ первичной инвалидности по зрению в Красноярском крае / Т.И. Лопатина, В.В. Соловьев.- Текст: непосредственный // Актуальные проблемы офтальмологии: Материалы науч. практич. конференции офтальмологов, посв. 100 летию со дня рождения проф. М.А.Дмитриева. Красноярск,1997.- с.219-224.

47. Мосин, И.М. Исследование состояния зрительного нерва при травмах глазницы у детей / И.М. Мосин, М.Р. Гусева, Л.И. Фильчикова [и др.].- Текст: непосредственный // Вестник офтальмологии.-1990.- №5.- С. 23-27.

48. Мошетова, Л.К. Контузии глаза, клиническая характеристика и исходы / Л.К. Мошетова, Е.К. Бенделик, И.Б. Алексеев [и др.].- Текст: непосредственный // Вестник офтальмол.- 1999.- №3.- С.10-13.

49. Мошетова, Л.К. Офтальмологическая диагностика и лечение краниоорбитальных повреждений в остром периоде черепно–мозговой травмы / Л.К. Мошетова, С.А. Кочергин, Н.Ю. Кутровская [и др.].- Текст: непосредственный // РМЖ. Клиническая офтальмология. – 2009.- № 3.- С. 89-92.

50. Мошетова, Л.К. Офтальмологическая диагностика и лечение краниоорбитальных повреждений в остром периоде черепно–мозговой травмы / Л.К. Мошетова, С.А. Кочергин, Н.Ю. Кутровская [и др.].- Текст: непосредственный // РМЖ. Клиническая офтальмология.- 2009.- №3.- С. 89-96.

51. Мошетова, Л.К. Травма орбиты: судебно-медицинская оценка ее исходов / Л.К. Мошетова, П.О. Ромодановский, А.В. Андрианова [и др.].- Текст: непосредственный // Журнал им. Н.В. Склифосовского «Неотложная медицинская помощь».- 2016.- №1.- С.30-32.

52. Назарян, М.Г. Комплексное исследование инвалидности вследствие болезней глаза и его придаточного аппарата и совершенствование системы мер по медико-социальной реабилитации: автореф. дис. ... доктора мед. наук /М.Г. Назарян.- Текст: непосредственный // Москва, 2020. - 40 с.

53. Никифоров, А.С. Нейроофтальмология / А.С. Никифоров, М.Р. Гусева.- Текст: непосредственный // Москва:ГЭОТАР-Медиа.- 2008. - 624 с.

54. Петраевский, А.В. Анализ глазного травматизма взрослого населения Волгоградской области за 2013—2015 гг. / А.В. Петраевский, И.А. Гндоян, К.С. Тришкин [и др.].- Текст: непосредственный // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. - 2016.- т. 60.- С. 78-81.

55. Петраевский А. В. Глазной травматизм в Российской Федерации / А.В. Петраевский, И.А. Гндоян, К.С. Тришкин [и др.].- Текст: непосредственный // Вестник офтальмологии.- 2018.- т. 134.- №4.- С. 80-83.

56. Петропавловская, Г.А. // Контузии глазного яблока. Клинико-физиологическое и экспериментальное исследование / Г.А. Петропавловская, А.И. Богословский.- Текст: непосредственный // Вестник офтальмол.- 1966.- № 5.- С. 34 – 40

57. Разумовская, А.М. Медико-социальный прогноз больных и инвалидов пожилого и старческого возраста с последствиями повреждения органа зрения: автореферат дис. ... канд. мед. наук / А.М Разумовская.- Текст: непосредственный // СПб., 2003.- 20 с.

58. Разумовский, М.И. Динамика первичной инвалидности вследствие офтальмопатологии в Санкт-Петербурге, Ленинградской области и некоторых регионах России за период с 2002-2008 гг. / М.И. Разумовский, Ю.А. Коровянский, М.С. Якунин, А.Г. Шевага.- Текст: непосредственный // Офтальмологические ведомости.- 2010.- т. III.- №4.- С. 4-15.

59. Разумовский, М.И. Состояние первичной детской инвалидности вследствие офтальмопатологии в Санкт-Петербурге и некоторых регионах РФ за период 2008-2011 гг. / М.И. Разумовский, А.М. Разумовская, Ю.А. Коровянский [и др.].- Текст: непосредственный // Невские горизонты-2012. Мат-лы научной конференции офтальмологов .- СПб, 2012.- С. 26-30.

60. Сахарова, С.В. Эпидемиологические особенности глазного травматизма среди госпитальной травмы в Тюменской области за десять лет / С.В. Сахарова, Л.В. Климина, А. Бесфатер.- Текст: непосредственный // Университетская медицина Урала.- 2018.- № 3.- С. 33-35.

61. Севостьянов, А.Е. Структура глазного травматизма по Рязанской области за 3 года / А.Е. Севостьянов, А.А. Федотов, Ю.В. Соколов.- Текст: непосредственный // IX Российский общенациональный офтальмологический форум. Сборник научных трудов научно-практической конференции с международным участием.- т.1.- 2016.- С. 70-73.

62. Сергеева, Л.А. Офтальмологическая симптоматика краниоорбитальной травмы: автореф. дис. ... канд. мед. наук / Л.А. Сергеева.- Текст: непосредственный // М., 2012.- 27 с.

63. Сефич, М. Влияние уровня и длительности повышения внутриглазного давления на изменения в диске зрительного нерва / М. Сефич, А. Пиштелич.- Текст: непосредственный // Офтальмол. журнал.- 1983.-№3.- С. 179-180

64. Степанов, А.В. Контузии глаза / А.В. Степанов, С.Н. Зеленцов. .- Текст: непосредственный // СПб.: Левша.- 2004. - 104 с.

65. Судакевич, Д.И. Архитектоника системы внутриглазного кровоснабжения / Д. И. Судакевич.- Текст: непосредственный //М.: Медицина,1971.- 110 с.

66. Тимофеева, А. В. Травматическая оптическая нейропатия при травме орбиты у детей / А.В.Тимофеева, А.В. Мельников, Б.З. Чельдиев [и др.].- Текст: непосредственный // Лечащий врач.- 2018.- №9.- С. 65-73

67. Ченцова, Е.В. Эпидемиология современной закрытой травмы органа зрения по данным специализированного стационара / Е.В. Ченцова, И.Б. Алексеева, А.Н. Иванов.- Текст: непосредственный // Евразийский Союз Ученых. Медицинские науки.- 2020.- т.70.- №1.- С.46-49.

68. Ченцова, Е.В. Травма глаза закрытая: Клинические рекомендации / Е.В. Ченцова, И.Б. Алексеева, Э.В. Бойко [и др.]- Текст: непосредственный // 2020. – 34 с.

69. Шамшинова, А.М. Электроретинография в офтальмологии / А.М. Шамшинова.- Текст: непосредственный // М.: Медицина, МБН, 2009. - 304 с.

70. Шеремет, Н.Л. Травматическая оптическая нейропатия / Н.Л. Шеремет, О.К. Воробьева.- Текст: непосредственный // X Научно-практическая нейроофтальмологическая конференция «Актуальные вопросы нейроофтальмологии». - М., 2008.- С.31-35.

71. Шеремет, Н.Л. Современные методы исследования зрительного нерва в оценке оптических нейропатий различного генеза / Н.Л. Шеремет, И.А. Ронзина, Н.С. Галоян, Э.Э. Казарян.- Текст: непосредственный // Вестн. офтальмол. - 2011. - №2. - С.15-18.

72. Шеремет, Н.Л. Компьютерная периметрия при оптической нейропатии. Значение метода в дифференциальной диагностике и оценке эффективности лечения / Н.Л. Шеремет.- Текст: непосредственный // Сб. материалов научно-практической конференции «Актуальные вопросы офтальмологии». - М., 2011. - С.5-11

73. Шеремет, Н.Л. Диагностика оптических нейропатий различного генеза : автореферат дис. ... доктора мед. наук / Н.Л. Шеремет.- Текст: непосредственный // М., 2015.- 40 с.

74. Шпак, А.А. Исследование зрительных вызванных потенциалов в офтальмологии и офтальмохирургии / А.А. Шпак.- Текст: непосредственный // М.: МНТК "Микрохирургия глаза".- 1993.- 192 с.

75. Шпак, А.А. Ошибки классической и спектральной оптической когерентной томографии при измерении слоя нервных волокон сетчатки у

здоровых лиц / А.А. Шпак, С.Н. Огородникова.- Текст: непосредственный // Вестн. офтальмол.- 2010.- № 5.- С.19-21

76. Agoumi, Y. Lamellar and prelaminar tissue displacement during intraocular pressure elevation in glaucoma patients and healthy controls / Y. Agoumi, G. Sharpe, D. Hutchison [et al.].- Text: immediate // Ophthalmology.- 2011.- Vol. 118.- №1.- P. 52-59

77. Anderson, D. Effect of intraocular pressure on rapid axoplasmic transport in monkey optic nerve / D. Anderson, A. Hendrickson.- Text: immediate // Invest Ophthalmol Vis Sci.- 1974.- Vol.13.- P. 771–783.

78. Ashton, N. The eye in malignant hypertension / N. Ashton.- Text: immediate // Trans. Am. Acad. Ophthalmol. Otolaryngol. - 1972. - Vol. 76.- № 1. - P. 17-40.

79. Al-Qurainy, I. The characteristics of midfacial fractures and the association with ocular injury: a prospective study / I. Al-Qurainy, L. Stassen, G. Dutton [et al.].- Text: immediate // Br J Oral Maxillofac Surg.- 1991.- Vol. 9.- №5.- P. 291-301

80. AlMahmoud, T. Epidemiology of eye injuries in a high-income developing country: An observational study / T. AlMahmoud, S. AlHadhrani, M. Elhanan [et al.].- Text: immediate // Medicine (Baltimore).- 2019.- Vol. 98.- № 26.- P. e16083.

81. Ansari, M.H. Blindness after facial fractures: a 19-year retrospective study /M.H. Ansari.- Text: immediate // J Oral Maxillofac Surg.- 2005.- Vol.63.- №2.- P. 229-237.

82. Ashar, A. Blindness associated with midfacial fractures / A. Ashar, A. Kovacs, S. Khan, J. Hakim.- Text: immediate // J Oral Maxillofac Surg.- 1998.- Vol. 56.- № 10.- P.1146-1150.

83. Agarwal, A. Visual outcome in optic nerve injury patients without initial light perception / A. Agarwal, A. Mahapatra.- Text: immediate // Indian J Ophthalmol. – 1999.- Vol. 47.- P. 233-236.

84. Band, L.R. Intracellular flow in optic nerve axons: a mechanism for cell death in glaucoma / Band, L.R., Hall, C.L., Richardson, G. [et al.].- Text: immediate // Invest Ophthalmol Vis Sci.- 2009.- Vol. 50.- №8.- P. 3750-3758.

85. Bedi, S. Industrial ocular trauma - a clinical and epidemiological profile / S.Bedi.- Text: immediate // J Evidence Based Medicine Healthcare.- 2017.- № 4.- P. 2190-2193.

86. Bellezza, A.J. Deformation of the lamina cribrosa and anterior scleral canal wall in early experimental glaucoma /A.J. Bellezza, C.J. Rintalan, H.W. Thompson [et al.].- Text: immediate // Invest Ophthalmol Vis Sci.- 2003.- Vol. 44.- №2.- P.623-637.

87. Bhattacharjee, H. Indirect optic nerve injury in two-wheeler riders in northeast India / H. Bhattacharjee, K. Bhattacharjee, L. Jain [et al.].- Text: immediate // Indian J Ophthalmol.- 2008.- Vol. 56.- P.475–480.

88. Bhogal, G. Penetrating ocular injuries in the home / G. Bhogal, P. Tomlins, P. Murray // J Public Health (Oxf).- 2007.- Vol. 29.- P. 72–74.

89. Bodanapally, U. Traumatic Optic Neuropathy Prediction after Blunt Facial Trauma: Derivation of a Risk Score Based on Facial CT Findings at Admission / U. Bodanapally, G. Van der Byl, K. Shanmuganathan [et al.].- Text: immediate // Radiology.- 2014.- Vol. 272.- № 3.- P.824-831.

90. Bonavolontà, G. Postoperative blindness following orbital surgery / G. Bonavolontà.- Text: immediate // Orbit.- 2005.- Vol.24.- N 3.- P.195–200

91. Bricker-Anthony, C. Exacerbation of blast-induced ocular trauma by an immune response / C. Bricker-Anthony, J. Hines-Beard, L. D'Surney, T. Rex.- Text: immediate // J Neuroinflammation.- 2014.- Vol. 11.- P. 192.

92. Buchwald, H.J. Contusion of the optic nerve after minor blunt ocular trauma: case report and literature review / H.J. Buchwald, W.E. Weingärtner, C.W. Spraul [et al.].- Text: immediate // Ophthalmologe.- 1999.- Vol.96.- №8.- P.529-533.

93. Buchwald, H.J. Optic nerve evulsion: Metaanalysis / H.J. Buchwald, C.W. Spraul, P. Wagner, G. Lang.- Text: immediate // *Klin Monbl Augenheilkd.*- 2001.- Vol. 218.- №10.- P. 635-644.

94. Bui, B.V. Ganglion cell contributions to the rat full-field electroretinogram / B.V. Bui, B. Fortune.- Text: immediate // *J Physiol.*- 2004.- Vol. 555.- P. 153–173.

95. Burgoyne, C.F. The optic nerve head as a biomechanical structure: a new paradigm for understanding the role of IOP-related stress and strain in the pathophysiology of glaucomatous optic nerve head damage / C.F. Burgoyne, J.C. Downs, A.J. Bellezza [et al.].- Text: immediate // *Prog Retin Eye Res.*- 2005.- Vol.24.- P.39–73.

96. Cao, H. Epidemiology of patients hospitalized for ocular trauma in the Chaoshan region of China, 2001-2010 / H. Cao, L. Li, M. Zhang.- Text: immediate // *PloS One.*- 2012.- Vol. 7.- №10.- P. e48377

97. Carta, A. Visual prognosis after indirect traumatic optic neuropathy / Фю Карта, L. Ferrigno, M. Salvo [et al.].- Text: immediate // *J Neurol Neurosurg Psychiatry.*- 2003.- Vol.74.- P. 246–248.

98. Cennamo, G., Forte, R., Reibaldi, M. et al. Evaluation of retinal nerve fiber layer and ganglion cell complex thickness after ocular blunt trauma / G. Cennamo, R. Forte, M. Reibaldi [et al.].- Text: immediate // *Eye (Lond).*- 2013.- Vol. 27.- № 12.- P.1382-1387.

99. Cunha, L.P. Comparison between retinal nerve fiber layer and macular thickness measured with OCT detecting progressive axonal loss following traumatic optic neuropathy / L.P. Cunha, L.V. Costa-Cunha, R.F. Malta, M.I. Monteiro.- Text: immediate // *Arq. Brasileira Oftalmologia.*- 2009.- Vol.72.- P. 5.

100. Costa E.P. Epidemiological profile and visual outcome of ocular trauma in a referral center in northeastern Brazil / E.P. Costa, T.M. Gomes, T.A. Mendes [et al.].- Text: immediate // *Revista Brasileira Oftalmologia.*- 2019.- Vol.78.- № 5.-P. 310-314.

101. Cruz, A.A. Blindness after Le Fort I osteotomy: a possible complication associated with pterygomaxillary separation / A. Cruz, A. dos Santos.- Text: immediate // J Craniomaxillofac Surg.- 2006.- Vol.34.- № 4.- P.210–216.

102. Dancey, A. Blindness after blunt facial trauma: are there any clinical clues to early recognition? / A. Dancey, M. Perry, D. Silva.- Text: immediate // J Trauma. – 2005.- Vol. 58.- №2.- P.328–335.

103. Drasdo, N. // Electrophysiology of the human visual system / N. Drasdo.- Text: immediate // Ophthalmol. Physiol. Optics.- 1983.- Vol.3.- №3.- P.321-329

104. Downs, J. The Mechanical Environment of the Optic Nerve Head in Glaucoma / J. Downs, M. Roberts, C. Burgoyne.- Text: immediate // Optom Vis Sci.- 2008.- Vol. 85.- №6.- P. 425–435.

105. Erdmann, D. A retrospective analysis of facial fracture etiologies / D. Erdmann, K. Follmar, M. Debruijn [et al.].- Text: immediate // Ann Plast Surg.- 2008.- Vol.60.- P.398–403.

106. Fahy, E.T. Mini-Review: Impaired Axonal Transport and Glaucoma / E.T. Fahy, V. Chrysostomou, J. Crowston.- Text: immediate // Curr Eye Res.- 2016.- Vol.41.- №3.- P. 273-283.

107. Foster, A. IAPB: VISION 2020 - The Right to Sight / A. Foster, C. Gilbert.- Text: immediate // British J Visual Impairment.- 2000.- Vol.18.- №3.- P.126–128.

108. Fortune, B. Deformation of the rodent optic nerve head and peripapillary structures during acute intraocular pressure elevation / B. Fortune, T. Choe, J. Reynaud [et al.].- Text: immediate // Invest Ophthalmol Vis Sci.- 2011.- Vol.52.- № 9.- P.6651-6661.

109. Frishman, L. ISCEV extended protocol for the photopic negative response (PhNR) of the full-field electroretinogram / L. Frishman, M. Sustar, J.

Kremers [et al.].- Text: immediate // Doc Ophthalmol.- 2018.- Vol. 136.- №3.- P. 207–211.

110. Frenkel, S. Histological measurement of retinal nerve fibre layer thickness / S. Frenkel, J. Morgan, E. Blumenthal.- Text: immediate // Eye.- 2005.- Vol.19.- №5.- 491-498.

111. Gise, R. Visual Pathway Injuries in Pediatric Ocular Trauma-A Survey of the National Trauma Data Bank From 2008 to 2014 / R. Gise, T. Truong, A. Parsikia [et al.] .- Text: immediate // Pediatr Neurol.- 2018.- Vol.85.- P. 43-50.

112. Gise, R. A comparison of pediatric ocular injuries based on intention in patients admitted with trauma / R. Gise, T. Truong, A. Parsikia [et al.] .- Text: immediate // BMC Ophthalmol.- 2019.- Vol.19.- P. 37

113. Gotoh, Y. Selective loss of photopic negative response in patients with optic nerve atrophy / Y. Gotoh, S. Machida, Y. Tazawa.- Text: immediate // Arch Ophthalmology. – 2004.- Vol.122.- P. 341–346.

114. Gupta, S. Ultrasound-measured optic nerve sheath diameter correlates well with cerebrospinal fluid pressure / S. Gupta, A. Pachisia.- Text: immediate // Neurol India. – 2019.- Vol.67.- №3.-P.772-776.

115. Geeraerts, T. Ultrasonography of the optic nerve sheath may be useful for detecting raised intracranial pressure after severe brain injury / T. Geeraerts, Y. Launey, L. Martin [et al.] .- Text: immediate // Intensive Care Med.- 2007.- Vol. 33.- P.1704–1711

116. Goldenberg-Cohen, N. Traumatic optic neuropathy in children and adolescents / N. Goldenberg-Cohen, N. Miller, M. Repka.- Text: immediate // J AAPOS.- 2004.- Vol.8 .- №1.- P.20–27

117. Hayreh, S. S. The Ophthalmic Artery / S.S. Hayreh.- Text: immediate // Brit. J. Ophthalmol.- 1962.- Vol.46.- P.212-246.

118. Hayreh, S.S. Pathogenesis of oedema of the optic disc (papilloedema). A preliminary report / S.S. Hayreh.- Text: immediate // Br J Ophthalmol. – 1964.- Vol. 48.- P. 522–543.

119. Hayreh, S.S. Blood supply of the optic head and its role in optic atrophy, glaucoma and edema of the optic disc / S. S. Hayreh.- Text: immediate // Br. J. Ophthalmol. - 1969. - Vol. 53.- №11. - P. 721-748.

120. Hayreh S.S. Anatomy and physiology of the optic nerve head / S.S. Hayreh.- Text: immediate // Tr. Am. Acad. Ophth. & Otol.- 1974.- Vol. 78.- P. 240- 251

121. Hayreh, S.S. Pathogenesis of optic disc edema in raised intracranial pressure / S.S. Hayreh.- Text: immediate // Prog Retin Eye Res.- 2016.- Vol.50.- P.108-44

122. Holt, G. R. Incidence of eye injuries in facial fractures: an analysis of 727 cases / G.R. Holt , J.E. Holt.- Text: immediate // Otolaryngol Head Neck Surg.- 1983.- Vol. 91.- P. 276–279.

123. Hetzer, S.M. Traumatic Optic Neuropathy Is Associated with Visual Impairment, Neurodegeneration, and Endoplasmic Reticulum Stress in Adolescent Mice / S.M. Hetzer, F. Guilhaume-Correa, D. Day [et al.].- Text: immediate // Cells.- 2021.- Vol.10.- P. 996.

124. Hayasaka, A. Change of the full-field cone and multifocal ERGs after retinal peripapillary cauterization in cats / A. Hayasaka, S. Machida, T. Ishibe [et al.].- Text: immediate // J Iwate Medical Association.- 2005.- Vol.57.- P. 367–382.

125. Isayama, Y. Posterior Ischemic Optic Neuropathy / Y. Isayama, T. Takahashi.- Text: immediate // Ophtalmologica.- 1983.- Vol.187.- P. 10-17.

126. Kanamori, A. Longitudinal study of retinal nerve fiber layer thickness and ganglion cell complex in traumatic optic neuropathy / A. Kanamori, M. Nakamura, Y. Yamada, A. Negi.- Text: immediate // Arch Ophthalmol. – 2012.- Vol.130.- №8.- P. 1067–1069.

127. Kallela, I. Blindness after maxillofacial blunt trauma / I. Kallela, T. Hyrkas, P. Paukku [et al.].- Text: immediate // J Oral Maxillofac Surg.- 1994.- Vol. 22.- P. 220–225.

128. Kang, S. Using Image to Evaluate Optic Disc Pallor in Traumatic Optic Neuropathy / S. Kang, U. Kim.- Text: immediate // Korean J Ophthalmol.- 2014.- Vol. 28.- №2.- P. 164–169.

129. Kelley, P. Two hundred ninety-four consecutive facial fractures in an urban trauma center: lessons learned / P. Kelley, M. Crawford, S. Higuera, L. Hollier.- Text: immediate // Plast Reconstr Surg. – 2005.- Vol. 116.- P. 42–49.

130. Kim, J.Y. Optic nerve injury secondary to endoscopic sinus surgery: an analysis of three cases / J.Y. Kim, H.J. Kim, C.H. Kim [et al.]- Text: immediate // Yonsei Med J.- 2005.- Vol.46.- № 2.- P. 300–304.

131. Kim, J.W. Cranial nerve injury after Le Fort I osteotomy / J.W. Kim, B.R. Chin, H.S. Park [et al.]- Text: immediate // Int J Oral Maxillofac Surg.- 2011.- Vol.40.- №3.- P.327–329.

132. Kim, K.H. Efficacy of N95 amplitude of pattern electroretinogram measured from baseline to N95 trough in the traumatic optic neuropathy / K.H. Kim, U.S. Kim.- Text: immediate // Jpn J Ophthalmol.- 2019.- Vol. 63.- №3.- 284-288.

133. Kim, N.R. Structure-function relationship and diagnostic value of macular ganglion cell complex measurement using Fourier-domain OCT in glaucoma / N.R.Kim, E.S. Lee, G.J. Seong [et al.]- Text: immediate // Invest Ophthalmol Vis Sci.- 2010.- Vol. 51.- P. 4646–4651.

134. Kimberly, H.H. Correlation of optic nerve sheath diameter with direct measurement of intracranial pressure / H.H. Kimberly, S. Shah, K. Marill, V. Noble.- Text: immediate // Acad. Emerg. Med.- 2008.- Vol.15.- P. 201–204.

135. Kline, L.B. Indirect injury of the optic nerve / L.B. Kline, R.B. Morawetz, S.N. Swaid.- Text: immediate // Neurosurgery.- 1984.- Vol.14.- P. 756–64

136. Knox, D.L. Optic nerve hydropic axonal degeneration and blocked retrograde axoplasmic transport: histopathologic features in human high-pressure secondary glaucoma / D.L. Knox, R.C. Eagle, W.R. Green.- Text: immediate // Arch Ophthalmol.- 2007.- Vol.125.- № 3.- P. 347-53.

137. Koryczan, P. Reduction in visual acuity and intraocular injuries in orbital floor fracture / P. Koryczan, J. Zapała, G. Wyszynska-Pawelec.- Text: immediate // *Folia medica Cracoviensia*.- 2015.- Vol. 55.- №3.- P. 49-56
138. Kovacic, M. Indirect Traumatic Optic Neuropathy-Two Case Reports / M. Kovacic, T. Gracner, B. Gracner.- Text: immediate // *Coll Antropol*.- 2001.- Vol. 25.- P. 57–61.
139. Kyncl, M. Traumatic optic neuropathy-a contralateral finding: A case report / M. Kyncl, J. Lestak, J. Tintera, P. Haninec.- Text: immediate // *Experimental and Therapeutic Medicine*.- 2019.- №3.- P. 4244-4248.
140. Kuhn, F. The Birmingham eye trauma terminology system (BETT) / F. Kuhn, R. Morris, C. Witherspoon [et al.].- Text: immediate // *J Fr Ophthalmol*.- 2004.- Vol.27.-№2.- P. 206-210.
141. Le, P.V. Regional correlation among ganglion cell complex, nerve fiber layer, and visual field loss in glaucoma / P.V. Le, O. Tan, V. Chopra [et al.].- Text: immediate // *Invest Ophthalmol Vis Sci*.- 2013.- Vol.54.- P. 4287–4295.
142. Lee, H.J. CT of orbital trauma / H.J. Lee, M. Jilani, L. Frohman, S. Baker.- Text: immediate // *Emerg Radiol*.- 2004.- Vol.10.- P. 168–172.
143. Lee, J.Y. Analysis of Retinal Layer Thicknesses and Their Clinical Correlation in Patients with Traumatic Optic Neuropathy / J.Y. Lee, K. Cho, K.A. Park, S.Y. Oh.- Text: immediate // *PLoS One*.- 2016.- Vol.11.- №6.- e0157388.
144. Lee, V. Surveillance of traumatic optic neuropathy in the UK / V. Lee, R. Ford, W. Xing [et al.].- Text: immediate // *Eye (Lond)*.- 2010.- Vol.24 .- № 2.- p.240–250.
145. Levin, L.A. The treatment of traumatic optic neuropathy—the International Optic Nerve Trauma Study / L.A. Levin, R.W. Beck, M.P. Joseph [et al.].- Text: immediate // *Ophthalmology*.- 1999.- Vol.106.- P.1268–1277.
146. Machida, S. Photopic ERG negative response from amacrine cell signaling in RCS rat retinal degeneration / S. Machida, D. Raz-Prag, R. Fariss [et al.].- Text: immediate // *Invest Ophthalmol Vis Sci*.- 2008.- Vol.49.- №1.- P. 442–452.

147. Machida, S. Clinical applications of the photopic negative response to optic nerve and retinal diseases / S. Machida.- Text: immediate // J ophthalmol.- 2012.- №1.- P. 397-408

148. MacKinnon, C.A. Blindness and severe visual impairment in facial fractures: An 11 year review / C.A. MacKinnon, D.J. David, R.D. Cooter.- Text: immediate // Br J Plast Surg.- 2002.- Vol. 55.- №1.- P.1-7.

149. Magarakis, M. Ocular injury, visual impairment, and blindness associated with facial fractures: a systematic literature review / M. Magarakis, G. Mundinger, J. Kelamis [et al.].- Text: immediate // Plast Reconstr Surg.- 2012.- Vol.129.- №1.- P. 227-233.

150. Manfredi, S.J. Computerized tomographic scan findings in facial fractures associated with blindness / S.J. Manfredi, M.R. Raji, P.M. Sprinkle [et al.].- Text: immediate // Plast Reconstr Surg.- 1981.- Vol. 68.- P. 479-490.

151. McGwin G. The rate of eye injury in the United States / G. McGwin, A. Xie, C. Owsley.- Text: immediate // Arch Ophthalmol.- 2005.- Vol. 123.- №7.- P. 970-976.

152. McGwin G. Trends in Eye Injury in the United States, 1992-2001 / G. McGwin, T.A. Hall, A. Xie, C. Owsley.- Text: immediate // Invest Ophthalmol Vis Sci.- 2006.- Vol. 47.- P. 521-527.

153. Medeiros, F. Axonal loss after traumatic optic neuropathy documented by optical coherence tomography / F. Medeiros, F. Moura, R. Vessani, R. Susanna.- Text: immediate // Am J Ophthalmol.- 2003.- Vol. 135.- P. 406-408.

154. Medeiros, F. Comparison of the GDx VCC scanning laser polarimeter, HRT II confocal scanning laser ophthalmoscope, and stratus OCT optical coherence tomograph for the detection of glaucoma / F. Medeiros, L. Zangwill, C. Bowd [et al.].- Text: immediate // Arch. Ophthalmol.- 2004.- Vol. 122.- P. 827-837.

155. Mehravaran, R. Evaluation of the relationship between the pattern of midfacial fractures and amaurosis in patients with facial trauma / R. Mehravaran,

G. Akbarian, C. Nezhad [et al.].- Text: immediate // J Oral Maxillofac Surg.- 2013.- Vol.71.- № 6.- P.1059-1062.

156. Meier, F. Axonal loss from acute optic neuropathy documented by scanning laser polarimetry / F. Meier, P. Bernasconi, J. Stürmer [et al.].- Text: immediate // Br J Ophthalmol.- 2002.- Vol. 86.- P. 285–287

157. Mellema, P.A. Incidence of ocular injury in visually asymptomatic orbital fractures / P.A. Mellema, M.A, Dewan, M.S. Lee [et al.].- Text: immediate // Ophthal Plast Reconstr Surg.- 2009.- Vol.25.- P. 306–308.

158. Mieler W. Overview of ocular trauma. In: Albert D, Jakobiec F, eds. Principles and practice of ophthalmology. 2nd edn. Philadelphia: WB Saunders Co. / W. Mieler.- Text: immediate // 2001.- p. 5179.

159. Milanez M. Epidemiological and occupational profile of eye trauma at a referral center in Espírito Santo, Brazil / M. Milanez, P. Saraiva, N. Barcellos, F. Saraiva.-Text: immediate // Revista Brasileira Oftalmologia.- 2017.- Vol.76.- №1.- P. 7-10.

160. Minckler, D.S. Orthograde and retrograde axoplasmic transport during acute ocular hypertension in the monkey / D. Minckler, A. Bunt, G. Johanson.-Text: immediate // Invest Ophthalmol Vis Sci.- 1977.- Vol. 16.- P. 426–441.

161. Mittal, G. A prospective study on ophthalmic injuries related to maxillofacial trauma in Indian population / G. Mittal, N. Singh, S. Suvarana, S. Mittal.-Text: immediate // Natl J Maxillofac Surg.- 2012.- Vol.3.- № 2.- P. 152-158.

162. Miyahara, T. Alterations in retinal nerve fiber layer thickness following indirect traumatic optic neuropathy detected by nerve fiber analyz / T. Miyahara, Y. Kurimoto, T. Kurokawa, T. [et al.] .-Text: immediate // Am J Ophthalmol.- 2003.- Vol.136.- P. 361–364.

163. Mumcuoglu, T. Functional and structural analysis of partial optic nerve avulsion due to blunt trauma: Case report / T. Mumcuoglu, H. Durukan, C. Erdurman [et al.].-Text: immediate // Indian J Ophthalmol.- 2010.- Vol.58.- P. 524-526.

164. Nagase, D. Facial fractures – association with ocular injuries: A 13-year review of one practice in a tertiary care centre / D. Nagase, D. Courtemanche, D. Peters D. .- Text: immediate // *Can J Plast Surg.*- 2006.- Vol.14.- №3.- P. 167–171.
165. Negrel, A.D. The global impact of eye injuries / A.D. Negrel, B. Thylefors.- Text: immediate // *Ophthalmic Epidemiol.*- 1998.- № 5.- P.143–169.
166. Obenchain, T.G. Indirect injury of the optic nerves and chiasm with closed head injury. Report of three cases / T.G. Obenchain, F.A. Killeffer, W.E. Stern.- Text: immediate // *Bull Los Angeles Neurol Soc.*- 1973.- Vol.38.- P.13–20.
167. Odebode, T.O. Ocular and visual complications of head injury / T.O. Odebode, D.S. Ademola-Popoola, T.A. Ojo, A.A. Ayanniyi.- Text: immediate // *Eye.*- 2005.- Vol. 19.- P. 561–566.
168. Ogden, T.E. Nerve fiber layer of the primate retina: thickness and glial content / T.E. Ogden.- Text: immediate // *Vision Res.*- 1983.- Vol.23.- P.581–587.
169. Ostri, C. Optical coherence tomography documenting retinal nerve fiber loss in traumatic optic chiasmal syndrome / C. Ostri, B. Damgaard, S. Hamann.- Text: immediate // *Acta Ophthalmol.*- 2012.- Vol. 90.- P. 792–794.
170. Patel, N. The relationship between retinal nerve fiber layer thickness and optic nerve head neuroretinal rim tissue in glaucoma / N. Patel, M. Sullivan-Mee, R. Harwerth.- Text: immediate // *Invest Ophthalmol Vis Sci.*- 2014 .- Vol. 55.- P. 713–743.
171. Patil, S. Ophthalmological Evaluation by a Maxillofacial Surgeon and an Ophthalmologist in Assessing the Damage to the Orbital Contents in Midfacial Fractures: A Prospective Study / S. Patil, I. Kotwal, U. Joshi [et al.] .- Text: immediate // *J Maxillofac Oral Surg.*- 2016.- Vol.15.- №3 .- P.328-335
172. Pirouzmand, F. Epidemiological trends of traumatic optic nerve injuries in the largest Canadian adult trauma center / F. Pirouzmand.- Text: immediate // *J Craniofac Surg.*- 2012.- Vol.23.- №2.- P. 516–520.

173. Priluck, J.C. Traumatic Optic Neuropathy in a 17-Year-Old Football Player / J.C. Priluck, A.J. Locastro.- Text: immediate // J Pediatric Ophthalmology and Strabismus.- 2011.- Vol.48.- № 2.- P.124-126.

174. Purvin, V. Evidence of orbital deformation in indirect optic nerve injury. Weight lifter's optic neuropathy / V. Purvin.- Text: immediate // J Clin Neuroophthalmol.- 1988.- № 8.- P.9–11.

175. Quigley, H.A. The dynamics and location of axonal transport blockade by acute intraocular pressure elevation in primate optic nerve / H.A. Quigley, D.R. Anderson.- Text: immediate // Invest Ophthalmol Vis Sci.- 1976.- Vol. 15.- P.606–616.

176. Quigley, H.A. The mechanism of optic nerve damage in experimental acute intraocular pressure elevation / H.A. Quigley, R. Flower, E. Addicks, D. McLeod.- Text: immediate // Invest Ophthalmol Vis Sci.- 1980.- Vol.19.- № 5.- P.505-517.

177. Rajajee, V. Optic nerve ultrasound for the detection of raised intracranial pressure / V. Rajajee, P. Vanaman, J. Fletcher, T. Jacobs.- Text: immediate // Neurocrit Care.- 2011.- Vol. 15.- P. 506–515

178. Rangaswamy, N. Photopic ERGs in Patients with Optic Neuropathies: Comparison with Primate ERGs after Pharmacologic Blockade of Inner Retina / N. Rangaswamy, L. Frishman, E. Dorotheo [et al.].- Text: immediate // Invest Ophthalmol Vis Sci.- 2004.- Vol. 45.- P. 3827-3837.

179. Raymond S. Hospital-admitted eye injury in Victoria, Australia / S. Raymond, M. Jenkins, I. Favilla, D. Rajeswaran.- Text: immediate // Clinical and Experimental Ophthalmology.- 2010.- Vol. 38.- P. 566–571.

180. Renuka, S. Traumatic Optic Neuropathy - A Review / S. Renuka, S. Chaitra.- Text: immediate // Kerala Journal of Ophthalmology.- 2008.- Vol. 20.- № 1.- P. 10-17

181. Roccia, F. Role of the maxillofacial surgeon in the management of severe ocular injuries after maxillofacial fractures / F. Roccia, P. Boffano, V.

Guglielmi [et al.].- Text: immediate // J Emerg Trauma Shock.- 2011.- Vol. 4.- № 2.- P.188–193.

182. Saeed A. Ocular injury requiring hospitalisation in the South East of Ireland: 2001–2007 / A. Saeed, I. Khan, O. Dunne [et al.].- Text: immediate // Injury.- 2010.- Vol. 41.- P. 87–88.

183. Scherer M. An analysis of 1423 facial fractures in 788 patients at an urban trauma center / M. Scherer, W. Sullivan, D. Smith [et al.].- Text: immediate // J Trauma.- 1989.- Vol. 29.- P. 388–390.

184. Segal, N. Therapeutic failures in indirect injuries to the optic nerve / N. Segal, L. Spineanu, I. Drăgan, M. Coroiu.- Text: immediate // Oftalmologia.- 1993.- Vol. 37.- P. 42–45.

185. Seibold, L.K. Comparison of retinal nerve fiber layer thickness in normal eyes using time-domain and spectral-domain optical coherence tomography / L.K. Seibold, N. Mandava, M.Y. Kahook.- Text: immediate // Am J Ophthalmol.- 2010.- Vol.150.- P. 807–814.

186. Shere J.L. An analysis of 3599 midfacial and 1141 orbital blowout fractures among 4426 United States army soldiers, 1998–2000 / J.L. Shere, J.R. Boole, M.R. Holtel, P.J. Amoroso.- Text: immediate // Otolaryngol Head Neck Surg.- 2004.- Vol.130.- P.164–70.

187. Schutta, H.S. Fine structure observations on experimental papilledema in the rhesus monkey / H. S. Schutta, T. R. Hedges.- Text: immediate // J. Neurol. Sci. - 1971. - Vol. 12, № 1. - P. 1-14.

188. Shibuya, T. Visual risks of facial fracture repair in the setting of traumatic optic neuropathy / T. Shibuya, S. Feinberg, R. Mathog [et al.] .- Text: immediate // Arch Otolaryngol Head Neck Surg.- 2006.- Vol.132.- № 3.- P. 258–264.

189. Sigal, I.A. Factors influencing optic nerve head biomechanics . Invest Ophthalmol / I.A. Sigal, J.G. Flanagan, C.R. Ethier.- Text: immediate // Vis Sci.- 2005.- Vol. 46.- №11.- P. 4189-4199.

190. Singman, E. Indirect traumatic optic neuropathy / E. Singman, N. Daphalapurkar, H. White [et al.].- Text: immediate // Mil Med Res.- 2016.- № 3.- P. 2.

191. Smith, A.R. Epidemiology of open- and closed-globe trauma presenting to Cairns Base Hospital, Queensland / A.R. Smith, S.B. O'Hagan, G.A. Gole.- Text: immediate // Clin Experiment Ophthalmol.- 2006.- Vol. 34.- P. 252-259.

192. Steinsapir, K.D. Traumatic optic neuropathy / K.D. Steinsapir.- Text: immediate // Curr. Opin. Ophthalmol.- 1999.- Vol.10.- № 5.- P. 340-342.

193. Steinsapir, K.D. Traumatic optic neuropathy: a critical update / K.D. Steinsapir, R.A. Goldberg.- Text: immediate // Compr Ophthalmol Update.- 2005.- Vol.6.- №1.- P.11-21.

194. Strouthidis, N.G. Effect of acute intraocular pressure elevation on the monkey optic nerve head as detected by spectral domain optical coherence tomography / N.G Strouthidis, B. Fortune, H. Yang [et al.].- Text: immediate // Invest Ophthalmol Vis Sci.- 2011.- Vol. 52.- №13.- P. 9431-9437.

195. Strumwasser, A. Sonographic optic nerve sheath diameter as an estimate of intracranial pressure in adult trauma / A. Strumwasser, R. Kwan, L. Yeung [et al.].- Text: immediate // J Surg Res.- 2011.- Vol. 170.- №2.- P. 265-271.

196. Syal E. To study the epidemiological and clinical profile of ocular trauma at a tertiary health-care facility / E. Syal, M. Dhawan, S. Singh.- Text: immediate // Delta J Ophthalmol.- 2018.- Vol. 19.- P. 259-267.

197. Tabatabaei, S. Predictive value of visual evoked potentials, relative afferent pupillary defect, and orbital fractures in patients with traumatic optic neuropathy / S. Tabatabaei, M. Soleimani, M. Alizadeh [et al.].- Text: immediate // Clin Ophthalmol.- 2011.- № 5.- P. 1021–1026.

198. Tan, O. Detection of macular ganglion cell loss in glaucoma by Fourier-domain optical coherence tomography / O. Tan, V. Chopra, A. Lu [et al.].- Text: immediate // Ophthalmology.- 2009.- Vol.116.- P. 2305–2314.
199. Thylefors, B. Epidemiological patterns of ocular trauma / B. Thylefors.- Text: immediate // Austr N Z J Ophthalmol.- 1992.- Vol. 20.- P. 95–98.
200. Tielsch, J.M. Time trends in the incidence of hospitalized ocular trauma / J.M. Tielsch, L. Parver, B. Shankar.- Text: immediate // Arch Ophthalmol.- 1989.- Vol.107.- № 4.- P. 519-523.
201. Tso, M.O. Optic disc edema in raised intracranial pressure. IV. Axoplasmic transport in experimental papilledema / M.O. Tso, S.S. Hayreh.- Text: immediate // Arch. Ophthalmol. - 1977. - Vol. 95, № 8. - P. 1458-1462
202. Ugboko, V. Zygomatic complex fractures in a suburban Nigerian population / V. Ugboko, C. Udoeye, K. Ndukwe [et al.].- Text: immediate // Dent Traumatol. - 2005.- Vol. 21.- №2.- P.70–75.
203. Van Stavern, G. Neuro-ophthalmic manifestations of head trauma / G. Van Stavern, V. Biousse, M. Lynn [et al.].- Text: immediate // J Neuroophthalmol.- 2001.- Vol. 21.- P.112–17.
204. Varela, H. Astrocyte responses in human optic nerve head with primary open angle glaucoma / H. Varela, M. Hernandez.- Text: immediate // J Glaucoma.- 1997.- № 6.- P. 303– 313.
205. Vásquez, L. Permanent blindness after endoscopic sinus surgery / L. Vásquez, M. González-Candial.- Text: immediate // Orbit.- 2011.- Vol. 30.- № 2.- P.108–110.
206. Venable, H. Total blindness after trivial frontal head trauma: bilateral indirect optic nerve injury / H. Venable, S. Wilson, W. Allan, A. Prensky.- Text: immediate // Neurology.- 1978.- Vol.28.- P.1066–1068.
207. Vessani, R. Progressive macular thinning after indirect traumatic optic neuropathy documented by optical coherence tomography / R. Vessani, L. Cunha, M. Monteiro.- Text: immediate // Br. J. Ophthalmol.- 2007.- Vol. 91.- №5.- P. 697–698.

208. Viswanathan, S. The photopic negative response of the macaque electroretinogram: reduction by experimental glaucoma / S. Viswanathan, L. Frishman, J. Robson [et al.].- Text: immediate // Invest Ophthalmol Vis Sci.- 1999.- Vol. 40.- №6.- P.1124–1136.

209. Viswanathan, S. The photopic negative response of the flash electroretinogram in primary open angle glaucoma / S. Viswanathan, L. Frishman, J. Robson, J. Walters.- Text: immediate // Invest Ophthalmol Vis Sci.- 2001.- Vol.42.- № 2.- P. 514–522.

210. Weed, M. Dramatic Visual Recovery in Untreated Indirect Traumatic Optic Neuropathy / M.Weed, E.Shriver, R.Longmuir.- Text: immediate // EyeRounds.org. 2014; <http://EyeRounds.org/cases/183-traumatic-optic-neuropathy.htm>

211. Yan, D. Study of regional deformation of the optic nerve head using scanning laser tomography / D. Yan, J. Flanagan, T. Farra [et al.].- Text: immediate // Current Eye Research.- 1998.- Vol. 17.- P. 903–916.

212. Yang, H. Deformation of the normal monkey optic nerve head connective tissue after acute IOP elevation within 3-D histomorphometric reconstructions /H. Yang, J. Downs, I. Sigal [et al.].- Text: immediate // Invest Ophthalmol Vis Sci.- 2009.- Vol. 50.- №12.- P. 5785-5799.

213. Yang, H. Deformation of the Early Glaucomatous Monkey Optic Nerve Head Connective Tissue after Acute IOP Elevation in 3-D Histomorphometric Reconstructions / H. Yang, H. Thompson, M. Roberts [et al.].- Text: immediate // Invest Ophthalmol Vis Sci.- 2011.- Vol. 52.- №1.- P. 345–63.

214. Ye, C. Impact of segmentation errors and retinal blood vessels on retinal nerve fibre layer measurements using spectral-domain optical coherence tomography / C. Ye, M. Yu, C. Leung.- Text: immediate // Acta Ophthalmol. - 2016.- Vol. 94.- P. 211–219.

215. Yu-Wai-Man, P. Traumatic optic neuropathy-Clinical features and management issues / P. Yu-Wai-Man.- Text: immediate // Taiwan J Ophthalmol.- 2015.- Vol. 5.- №1.- P. 3-8.

216. Zhao, Q. Effect of elevated intraocular pressure on the thickness changes of cat laminar and prelaminar tissue using optical coherence tomography / Q. Zhao, X. Qian, L. Li [et al.].- Text: immediate // Biomed Mater Eng.- 2014.- Vol. 24.- №6 .- P. 2349-2360.

217. Zheng, Z. Axonal Transport in the Rat Optic Nerve Following Short-Term Reduction in Cerebrospinal Fluid Pressure or Elevation in Intraocular Pressure / Z. Zheng, L. Danli, B. Jost [et al.]. // Invest Ophthalmol Vis Sci.- 2015.- Vol. 56.- № 8.- P. 4257- 4266.

218. Zungu, T. Characteristics and visual outcome of ocular trauma patients at Queen Elizabeth Central Hospital in Malawi / T. Zungu, S. Mdala, C. Manda [et al.]. // PloS One.- 2021.- Vol.16.- №3.- e0246155.