

Дроздов В.А.¹, Сакович В.Н.¹, Сакович Е.Ф.², Янушкевич К.С.³

¹ Днепропетровская медицинская академия Министерства здравоохранения Украины, Днепр, Украина

² Днепропетровская областная клиническая больница имени И.И. Мечникова, Днепр, Украина

³ Днепропетровская клиническая больница № 4, Днепр, Украина

Drozдов V.¹, Sakovich V.¹, Sakovich Y.², Yanushkevych K.³

¹ Dnipropetrovsk Medical Academy of the Ministry of Health of Ukraine, Dnipro, Ukraine

² Dnipropetrovsk Regional Clinical Hospital named after I.I. Meshnicov, Dnipro, Ukraine

³ Dnipropetrovsk City Clinical Hospital № 4, Dnipro, Ukraine

Применение гипербарической оксигенации в лечении глазных болезней

Use of Hyperbaric Oxygenation in the Treatment of Eye Diseases

Резюме

В патогенезе различных глазных заболеваний ишемические и гемодинамические изменения приводят к гипоксии, которая трансформирует клетки в состояние парабิโอ́за. Гипоксия является одной из причин, нарушающих процессы биологического окисления, что может привести к развитию энергетической недостаточности клеток и тканей. За последнее время повысилась заинтересованность к немедикаментозным методам лечения – гипербарической оксигенации, которая существенно снижает фармакологическую нагрузку на пациента, при этом активно влияет на патологический процесс и способствует улучшению функционального состояния глаз. По данным Американского общества подводной и гипербарической медицины, использование гипербарической оксигенации рекомендуется в лечении следующих глазных заболеваний: окклюзии артерий сетчатки, декомпрессионной болезни с глазными проявлениями, газовой эмболии сосудов глаза, орбитальной клостридиальной гангрены, орбитального мукоромикоза, а также при трансплантации кожи век или периорбитальной области. Данные заболевания имеют высокий доказательный уровень безопасности и эффективности использования гипербарической оксигенации при проведении комбинированного лечения. Дальнейшие исследования комплексного применения гипербарической оксигенации в лечении других глазных болезней позволят улучшить качество и снизить длительность лечения, а также повысить качество жизни пациентов. В данной статье собран литературный обзор исследований применения гипербарической оксигенации в лечении глазных болезней.

Ключевые слова: гипербарическая оксигенация, глазные болезни, комбинированное лечение.

Abstract

In the pathogenesis of various eye diseases ischemic and hemodynamic changes leading to hypoxia, which transforms cells into a state of parabiosis. Hypoxia is one of the reasons that change the processes of biological oxidation, which can lead to the development energy deficiency of cells and tissues. Recently interest in non-drug methods of treatment like hyperbaric oxygenation has increased, because it significantly reduces the pharmacological load on the patient while actively affecting the pathological process and contributing to the improvement of the functional state of

the eye. According to the American Society of Underwater and Hyperbaric Medicine, the use of hyperbaric oxygenation is recommended in the treatment of the following eye diseases: occlusion of the retinal arteries, decompression sickness with eye manifestations, arterial gas embolism of the eye vessels, ocular and periorbital gas gangrene, orbital mucoromycosis, radiation optic neuropathy, periorbital reconstructive surgery. These diseases have a high evidence level of safety and effectiveness using hyperbaric oxygenation during combined treatment. Further studies of the integrated use of hyperbaric oxygenation in the treatment of other eye diseases should improve the quality of treatment, reduce the duration of treatment and improve the quality of life patients. This article contains a literature review of studies using hyperbaric oxygenation in the treatment of eye diseases.

Keywords: hyperbaric oxygenation, eye diseases, combined treatment.

■ ВВЕДЕНИЕ

Гипербарическая оксигенация – это метод искусственного увеличения кислородной емкости крови в результате увеличения концентрации кислорода вдыхаемой газовой смеси с повышением общего барометрического давления внешней среды [1, 2].

На сегодняшний день прошло почти три с половиной века с момента создания первой гипербарической камеры [3]. Исторические факты указывают на то, что до открытия кислорода в 1660–1662 гг. английский физик Р. Бойль в книге «Новые физико-механические опыты, касающиеся упругости кислорода, и их результаты» [4] впервые описал влияние сжатого воздуха на живой организм. В то же время в 1662 г. в Лондоне Геншоу первым придумал использовать атмосферное давление как средство лечения и впервые предложил аэробаротерапию для лечения пациентов с заболеваниями легких и желудочно-кишечного тракта. Построенная им деревянная барокамера положила начало баротерапии атмосферным кислородом [2]. В 1835 г. Жюно описал положительное влияние действия кислорода под высоким давлением и сконструировал первую лечебную барокамеру [2]. Она представляла медный шар диаметром 1,5 метра, давление воздуха в которой поднималось до 4 атмосфер. За одну атмосферу было принято парциальное давление, равное 1 абсолютной атмосфере, то есть ингаляция 100%-ным кислородом при нормальном атмосферном кислороде. В этой барокамере проводили лечение пациентов с параличами, лихорадкой и заболеваниями легких [5].

Резкий рост заинтересованности в методе гипербарической оксигенации во второй половине XIX столетия способствовал быстрому распространению баротерапии по крупным городам Европы и Америки. В 1873 г. хирург А. Smith использовал лечебную рекомпрессию при кессонной болезни [2]. Однако рекомпрессионная барокамера была создана только в 1885 г. Р. Bert открыл и экспериментально доказал токсическое воздействие высокого атмосферного давления на живые организмы [6]. В последующие годы гипербарическая оксигенация была значительно распространена в лечении различных болезней, но не для всех она являлась эффективной [7]. Все это привело к тому, что в 1928 г. было принято решение Американской медицинской ассоциации об ограничении использования гипербарической оксигенации [8, 9].

■ ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Провести анализ литературных источников, касающихся применения гипербарической оксигенации в лечении глазных болезней.

Физиологические и лечебные эффекты гипербарической оксигенации

При нормальных условиях существования в клетке протекает «физиологическая» активация свободнорадикальных реакций, повреждающее действие активных форм кислорода, несбалансированное возрастание перекисного окисления липидов и многие другие процессы, связанные с перекисным окислением липидов [3]. Около 20% всего количества O_2 , образующегося в митохондриях, не успевает прореагировать с супероксиддисмутазой, и, мигрируя через мембраны, поддерживает перекисное окисление липидов на стационарном, безопасном для клетки уровне [1]. Эти процессы участвуют в поддержании активности дыхательной цепи, а также биосинтезе некоторых веществ (стероидных и тиреоидных гормонов, простагландинов, коллагена и др.). Продукты перекисного окисления липидов в концентрациях, не превышающих 10 н/моль на 1 мг липидов, играют регуляторную роль в обеспечении восстановления нервной ткани после возбуждения [10]. Активные формы кислорода и перекиси липидов могут играть роль «молекулярных фагов», способствуя деструкции микроорганизмов, фагоцитозу и очищению зоны повреждения [1, 10]. Таким образом, гипербарическая оксигенация может оказывать свое терапевтическое влияние через физиологические эффекты перекисного окисления липидов до тех пор, пока активация перекисного окисления липидов компенсируется адекватными изменениями всех звеньев антиокислительной системы.

При гипербарической оксигенации повышение интенсивности биоэнергетических процессов проявляется в виде активации окислительного фосфорилирования и усиления энергообразования в тканях [11]. При умеренной гипероксии в нормальных тканях отношение аденозинтрифосфат/аденозиндифосфат может сдвигаться до уровня, близкого к максимальному [1]. Также гипербарический кислород воздействует на процесс взаимодействия цитохромоксидазы с кислородом, что способствует повышению степени окислительного фосфорилирования. Таким образом, кислород под повышенным давлением обеспечивает высокий уровень клеточного дыхания. Гипербарический кислород мобилизует системы детоксикации организма, а именно ингибирование образования токсических метаболитов, активацию их разрушения и стимуляцию генеза малотоксических веществ и др. [10]. Гипербарическая оксигенация способна: стимулировать метаболические системы защиты нервной системы от токсического действия аммиака при изменении кровоснабжения, компенсировать превращение пирувата в лактат или аланин и др. [1].

Физиологические особенности глазного яблока в гипербарических условиях

Для определения роли гипербарической оксигенации при глазных болезнях необходимо рассмотреть роль гипероксигенации для здорового глазного яблока [11]. Кислород при атмосферном давлении,

равном одной атмосфере, имеет парциальное давление 0,21 атмосферы, что создает парциальное давление в артериях, равное 100 мм рт. ст., у здоровых молодых людей. При этом парциальном давлении кислорода сатурация гемоглобина приближается к 100%, а оксигемоглобин в свою очередь транспортирует связанную фракцию для тканей организма (примерно 20% от объема). Содержание растворимого кислорода в плазме обычно составляет примерно 0,31%, но эта доля может варьировать в зависимости от парциального давления кислорода во вдыхаемом воздухе. При увеличении концентрации растворенного кислорода в плазме до 5% транспортером кислорода становится плазма крови, а оксигенация может достигать до частично окклюзированных капилляров, где диаметр свободной от окклюзии части меньше молекулы гемоглобина [6].

Физиологический эффект от гипербарической оксигенации в глазном яблоке проявляется: нормализацией перекисного окисления липидов, активацией биосинтетических процессов, предупреждением образования токсичных метаболитов, иммуномодулирующей функцией, подавлением жизнедеятельности микроорганизмов и др. [12].

Отличительной особенностью доставки кислорода сетчатке глаза является то, что она получает его из системы центральной артерии сетчатки и хориоидеи. Исследование Ландреса на коте и обезьяне по временной окклюзии центральной артерии сетчатки подтверждает, что сетчатка может полностью обеспечить потребности в кислороде из системы хориоидальных артерий. В этом исследовании показано, что при окклюзии центральной артерии сетчатки при проведении гипербарической оксигенации газом со 100%-ной концентрацией кислорода при давлении в 1 атмосферу, а парциальном давлении кислорода в артериальной крови от 375 до 475 мм рт. ст., во внутренних слоях сетчатки определялось нормальное или повышенное напряжение кислорода [13].

Жанполь Л.М. доказал, что при проведении нормобарической оксигенации повышается парциальное давление кислорода в передней камере с 63,5 до 139,5 мм рт. ст. При давлении в 2 атмосферы парциальное давление кислорода в передней камере повышается до 295,2 мм рт. ст. [14].

При исследовании уровня внутриглазного давления после проведения нормобарической оксигенации газом со 100%-ной концентрации кислорода определено снижение до 2,1 мм рт. ст. [15].

Такой разнообразный физиологический эффект гипербарической оксигенации привел к ее широкому применению в офтальмологической практике.

Противопоказания для проведения гипербарической оксигенации

Применение гипербарической оксигенации в практике врача-офтальмолога может быть ограничено общим состоянием пациента, а именно клаустрофобией, эпилепсией и другими судорожными состояниями, психическими расстройствами, острыми респираторными заболеваниями, пневмонией, нарушением сердечного ритма, артериальной гипертензией (более 150/90 мм рт. ст.) или гипотонией (снижение артериального давления более чем на 20% от исходного или менее

90/60 мм рт. ст.), злокачественными новообразованиями, нарушением проходимости евстахиевых труб и каналов, соединяющих придаточные пазухи носа с внешней средой, гипертермией более 38 °С [16].

Офтальмологические показания для проведения гипербарической оксигенации

На сегодняшний день применение гипербарической оксигенации в комбинированном лечении глазных болезней рекомендовано при: окклюзии центральной артерии сетчатки, декомпрессионной болезни с глазными проявлениями, газовой эмболии глазных сосудов, орбитально-кlostридиальной гангрене, орбитальном мукоморомикозе, радиационно-оптической нейропатии/ретинопатии, трансплантации кожи век и периорбитальной области [16]. Включение гипербарической оксигенации в комбинированное лечение других глазных заболеваний нуждается в дополнительном исследовании.

В медицинской литературе использование гипербарической оксигенации при окклюзии центральной артерии сетчатки имеет значительное количество публикаций с высоким доказательным уровнем [17]. Максимальную эффективность и безопасность гипербарическая оксигенация имеет при назначении в первые 8 часов от начала снижения зрения [18]. Также хорошие результаты были отмечены при проведении гипербарической оксигенации в течение 24 часов [19] или при окклюзии центральной артерии сетчатки без развития симптома «вишневой косточки» [20].

Основной целью лечения окклюзии центральной артерии сетчатки с помощью гипербарической оксигенации является подача кислорода к внешним слоям сетчатки до тех пор, пока восстановится кровоток через центральную артерию сетчатки. Наряду с традиционными методами неотложного лечения окклюзии центральной артерии сетчатки (ингаляция смеси 95%-го кислорода и 5%-го углекислого газа, внутривенные капельницы с маннитолом и ацеталамидом, снижение внутриглазного давления, проведение парацентеза передней камеры, массаж глаза или другие мероприятия), назначение гипербарической оксигенации становится более частым [21].

Согласно рекомендациям Американского общества гипербарической и подводной медицины 13-го издания, протокол проведения гипербарической оксигенации для лечения окклюзии центральной артерии сетчатки выглядит следующим образом:

- проведение гипербарической оксигенации начинают с давления в 2 атмосферы;
- при улучшении зрения при давлении в 2 атмосферы сеанс продлевают до 90 минут;
- при отсутствии улучшения зрения после сеанса гипербарической оксигенации продолжительностью 30 минут под давлением в 2 атмосферы повышают давление до 2,4 атмосферы и корректируют длительность;
- при отсутствии эффекта после смены режимов давления переходят на гипербарическую оксигенацию под давлением в 1,5 атмосферы.

Суммарно рекомендовано проведение 20 сеансов гипербарической оксигенации продолжительностью 120 минут под давлением 2 атмосферы при окклюзии центральной артерии сетчатки. Такой же режим

проведения гипербарической оксигенации рекомендован при окклюзии цилиоретинальной артерии сетчатки [22].

Декомпрессионная, или кессонная, болезнь – это состояние, вызванное попаданием окружающих газов с легких в кровь в виде самостоятельных пузырьков, которые начинают блокировать кровоток. Встречается декомпрессионная болезнь у глубоководных дайверов или у людей, летающих в самолетах без необходимой герметизации кабины. Гипербарическая оксигенация используется при этом состоянии для рекомпрессии. Глазными проявлениями декомпрессионной болезни являются: нистагм, изменение реакции зрачка, нарушение аккомодации и конвергенции, появление дефектов полей зрения и др. [23]. Проведение гипербарической оксигенации является абсолютным показанием при данной патологии.

Газовая эмболия артерий глаз имеет общепринятую форму терапии, а именно гипербарическую оксигенацию. Кислород во время проведения гипербарической оксигенации при этих состояниях уменьшает размер пузырьков газа, из-за которых происходит эмболия, позволяя им проходить дальше и рассасываться. Это также повышает адсорбцию азота путем повышения парциального давления кислорода [24].

Орбитальная клостридиальная гангрена является редкой патологией и встречается преимущественно в слаборазвитых странах. Лучшие результаты в лечении данной патологии были получены при использовании хирургической обработки тканей, назначении противомикробных препаратов и гипербарической оксигенации [25].

Орбитальный мукоромикоз – это редкое поражение мягких тканей орбиты, которое имеет высокую смертность, составляющую примерно 35–70%. При поражении головного мозга летальность увеличивается до 99%. Большое количество исследований получили позитивные результаты при включении гипербарической оксигенации с хирургической обработкой тканей и противогрибковой терапией, особенно у пациентов с ослабленным иммунитетом [26]. Механизм противогрибкового действия гипербарической оксигенации в данном случае имеет следующие особенности:

- гипероксические условия имеют прямое противогрибковое действие, наблюдаемое *in vitro* при давлении в 2 атмосферы за счет увеличения выработки свободных радикалов кислорода;
- гипербарическая оксигенация способна убивать мутантные грибы, в которых отсутствует антиоксидантная система;
- оксигенация в гипербарических условиях имеет ряд косвенных противогрибковых свойств, таких как изменение роста, стимулирование лактатацидоза, восстановление активности фагоцитоза;
- усиливает противогрибковое действие амфотерицина В.

Радиационно-оптическая нейропатия или ретинопатия могут быть результатом лечения новообразований головы и шеи. Частота вышеупомянутых поражений, по статистическим данным, варьирует от 3 до 20%. Гипербарическая оксигенация при этом рекомендована как дополнительное средство при лечении для улучшения оксигенации и сенсibilизации гипоксических клеток [27].

Применение гипербарической оксигенации при трансплантации кожи век и периорбитальной области показали, что на 29% улучшается приживаемость трансплантата [28].

Роговица глаза является уникальной мишенью для воздействия гипербарической оксигенации, потому что ее внешняя часть получает кислород из атмосферного воздуха и влаги передней камеры. При лечении заболеваний роговицы гипербарическая оксигенация имеет не только системный, но и местный эффект. Использование гипербарической оксигенации описано при различных поражениях роговицы: химических ожогах, травматических кератитах, вирусных и бактериальных кератитах, грибковых кератитах [29, 30]. Отдельное внимание уделяется использованию гипербарической оксигенации после кератопластики [31]. Результатом использования гипербарической оксигенации при кератитах и химических ожогах являются уменьшение жалоб пациента, более быстрая эпителизация роговицы, скорейшее рассасывание инфильтратов роговицы, уменьшение признаков воспалительного процесса и срока лечения [29, 30].

Исследование влияния комбинированной терапии с использованием гипербарической оксигенации и традиционной терапии первичной открытоугольной глаукомы позволило авторам сделать вывод о целесообразности включения оксигенации в план лечения. Было установлено, что содержание малонового диальдегида в слезе и крови возрастает в зависимости от стадии глаукомы – максимальный уровень малонового диальдегида зафиксирован у пациентов с III стадией первичной глаукомы; традиционное лечение во всех случаях не приводит к нормализации системы перекисного окисления липидов и антиоксидантной защиты; комбинированная терапия с применением гипербарической оксигенации лучше влияет на систему перекисного окисления липидов и антиоксидантной защиты; максимальное влияние на систему перекисного окисления липидов и антиоксидантной защиты наблюдается при комбинированной терапии с применением гипербарической оксигенации и антиоксидантов; улучшение зрительных функций по данным клинического осмотра и функциональных методов диагностики; стабилизации этих функций в течение 6 месяцев [32].

Исследование включения гипербарической оксигенации в лечение гемофтальма, причиной которого в 80% были травматические повреждения глаза (контузия глазного яблока), также определило положительную динамику. Исследователи придерживались следующих условий лечения с применением гипербарической оксигенации: срок сеанса – 30 минут, режим изопрессии 1,25 ата, 5 сеансов. Перед сеансами назначали антиоксиданты (альфа-токоферол и ретинол в дозе 1,0 внутримышечно, а также эмоксипин 0,5 мл парабульбарно). После проведенной терапии острота зрения в обеих группах (основная – комплексное лечение с применением гипербарической оксигенацией, и контрольная – традиционное лечение) повышалась соответственно на 0,44 и 0,30. При применении курса оксигенации более выраженный клинический эффект получен в виде расширения границ поля зрения. Включение в терапию гемофтальма гипербарической оксигенации в сочетании с антиоксидантами способствовало нормализации биохимических показателей в слезной жидкости и в крови (малонового диальдегида, каталазы), в то время как после курса традиционного лечения соответствующие показатели продолжали ухудшаться [33].

Широкое распространение сахарного диабета и устойчивая тенденция увеличения заболеваемости выводят диабетическую ретинопатию

на ведущее место среди причин снижения зрения и слепоты в мире [34, 35]. В основе поражения органов зрения при сахарном диабете лежит хроническая гипергликемия, изменение метаболизма глюкозы, хроническая тканевая гипоксия, нарушения гематоретинального барьера и другие осложнения [36]. В частности, сосудистое русло возле зон ишемии при диабетической ретинопатии является местом синтеза различных факторов роста сосудов [37]. Накопление последних является причиной развития пролиферативных процессов с возникновением новообразованных сосудов, осложняющихся гемофтальмом, что приводит к развитию фиброглияльных тяжей, тракционной отслойке сетчатки, неоваскулярной глаукоме и др. [38]. Основным принципом современных методов лечения осложнений сахарного диабета является максимальная компенсация нарушенных обменных процессов. Гипербарическая оксигенация обеспечивает общий и местный эффекты. Местный эффект выражается в виде уменьшения зон гипоксии, уменьшения количества геморрагий, рассасывания «ватообразных» экссудатов, уменьшения «твердых» экссудатов и др. [36].

При изучении влияния гипербарической оксигенации в комбинированном лечении возрастной макулярной дегенерации было установлено, что наиболее высокая эффективность комплексного лечения отмечена у пациентов с «сухой» или неэкссудативной формой. В возрастной группе пациентов (моложе 60 лет) такой вариант лечения обеспечивает улучшение зрительных функций в 75,3% случаев. В возрастной группе старше 60 лет метод эффективен в 68,2% случаев [39].

Анализ данных, полученных в результате исследования пациентов с передней ишемической оптикопатией, свидетельствует об актуальности включения гипербарической оксигенации в лечение этой патологии. Во время исследования в крови пациентов отмечалось снижение уровня каталазы и уровня аденозиндезаминазы, что является неблагоприятным фактором и свидетельствует об усилении процессов перекисного окисления липидов. Проведение гипербарической оксигенации способствовало снижению содержания малонового диальдегида в слезе и в крови до уровня нормы, а также нормализации активности аденозиндезаминазы и каталазы. Анализ клинических данных, полученных в результате обследования пациентов с хронической сосудистой оптикопатией, выявил достоверное повышение остроты зрения, уменьшение парацентральных скотом [40].

■ ВЫВОДЫ

1. Применение гипербарической оксигенации в офтальмологической практике снижает проявления гипоксии и улучшает результаты медикаментозного лечения.
2. Эффективность комбинированного лечения с применением гипербарической оксигенации зависит от степени обратимости патологического процесса и роли гипоксии в генезе данной патологии.
3. Гипербарическая оксигенация является дополнительным физиотерапевтическим методом лечения в офтальмологической практике и может широко применяться в лечении глазных заболеваний.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

■ ЛИТЕРАТУРА

- Kuleshov V. (2006) Obshchefiziologicheskoye deystviye giperbaricheskogo kisloroda [General physiological effect of hyperbaric oxygen]. *Giperbaricheskaya fiziol i meditsina*, vol. 3, pp. 21–27.
- Mathieu D. (2009) *Giperbaricheskaya meditsina* [Hyperbaric medicine]. Moscow: Laboratoriya znaniy. (in Russian)
- Kholden D., Pristli D. (1937) *Dykhaniye* [Breath]. Moscow: Biomedgiz. (in Russian)
- Robert B. (1662) *New experiments, physico-mechanical, touching the spring of the Air and its effects, made in the most part in a new pneumatical engine*. Oxford.
- Baydin S., Gromenitskiy A., Rubinchik B. (2008) *Rukovodstvo po giperbaricheskoy meditsine* [Hyperbaric Medicine Guide]. Moscow: Meditsina. (in Russian)
- Boerema I. (1965) The use of hyperbaric oxygen. *American Heart Journal*, vol. 69, no 3, pp. 289–292.
- Cunningham O. (1927) Oxygen therapy by means of compressed air. *Anesthesia & analgesia journal*, no 6, pp. 64–67.
- Moon R., Camporesi E., (1999) Hyperbaric oxygen therapy: from the nineteenth to the twenty-first century. *Respiratory care clinics of north america journal*, no 5, pp. 1–5.
- UHMS (2003) *The hyperbaric oxygen therapy committee report*. Florida: UHMS.
- Efuni S. (1986) *Rukovodstvo po giperbaricheskoy oksigenacii* [Hyperbaric oxygenation guide]. Moscow: Medicina. (in Russian)
- Piantadosi C. (1999) Physiology of hyperbaric hyperoxia. *Respiratory care clinics of north america journal*, vol. 93, no 5, pp. 7–19.
- Ahmadyarova B.S. (2014) Giperbaricheskaya oksigenatsiya, perspektivy primeneniya v oftalmologii [Hyperbaric oxygenation, prospects for application in ophthalmology]. *Science and world*, vol. 3, no 2, pp. 119–122.
- Landers M. (1978) Retinal oxygenation via the choroidal circulation. *Transactions of american ophthalmology society*, vol. 76, pp. 528–556.
- Jampol L., Orlin C., Cohen S., Zanetti G., Lehman E., Goldberg M. (1988) Hyperbaric and transcorneal delivery of oxygen to the rabbit and monkey anterior segment. *Archives of Ophthalmology*, vol. 106, pp. 825–829.
- Gallin-Cohen P., Podos S., Yablonski M. (1980) Oxygen lowers intraocular pressure. *Investigative ophthalmology & visual science journal*, vol. 19, pp. 43–8.
- Butler F., Hagan C., Murphy-Lavoie H. (2008) Hyperbaric Oxygen Therapy and the Eye. *Undersea and hyperbaric medical journal*, vol. 35, no 5, pp. 333–387.
- Soares A., Gomes N., Mendonça L., Ferreira C. (2017) The efficacy of hyperbaric oxygen therapy in the treatment of central retinal artery occlusion. *British medical journal case report*, vol. 359, pp. 128–135. doi:10.1136/bcr-2017-220113
- Beiran I., Goldenberg I., Adir Y., Tamir A., Shupak A., Miller B. (2001) Early hyperbaric oxygen therapy for retinal artery occlusion. *European journal of ophthalmology*, vol. 11, pp. 345–350.
- Menzel-Severing J., Siekmann U., Weinberger A., Roessler G., Walter P., Mazinani B. (2012) Early hyperbaric oxygen treatment for nonarteritic central retinal artery obstruction. *American journal of ophthalmology*, vol. 153, pp. 454–459.
- Hadanny A., Maliar A., Fishlev G., Bechor Y., Bergan J., Friedman M., Avni I., Efrati S. (2016) Reversibility of retinal ischemia due to central retinal artery occlusion by hyperbaric oxygen. *Clinical ophthalmology journal*, vol. 11, pp. 115–125.
- Atebara N., Brown G., Cater J. (1995) Efficacy of anterior chamber paracentesis and carbogen in treating acute nonarteritic central retinal artery occlusion. *Ophthalmology journal*, vol. 102, pp. 2029–2034.
- Aktas S., Uyar O., Ozer E., Aktas H., Eltutar K. (2016) Idiopathic isolated cilioretinal artery occlusion treated with hyperbaric oxygen therapy. *Turkish journal of ophthalmology*, vol. 46, no 5, pp. 244–247. doi:10.4274/tjo.87513
- Micheal E. (1982) Accommodative and convergence insufficiency after decompression sickness. *Archives of ophthalmology*, vol. 99, pp. 453–56.
- Moon R. (2014) Hyperbaric oxygen treatment for air or gas embolism. *Undersea and hyperbaric medical journal*, vol. 41, pp. 159–66.
- Fielden M., Martinovic E., Ells A. (2002) Hyperbaric oxygen therapy in the treatment of orbital gas gangrene. *Journal of american association of pediatric ophthalmology and strabismus*, vol. 6, pp. 252–254. doi:10.1067/mpa.2002.123654
- Tragiannidis A., Groll A. (2009) Hyperbaric oxygen therapy and other adjunctive treatments for zygomycosis. *Clinical microbiology and infection journal*, vol. 15, no 5, pp. 82–86. doi:10.1111/j.1469-0691.2009.02986.x
- Borruat F., Schatz N., Glaser J., Feun L., Matos L. (1993) Visual recovery from radiation-induced optic neuropathy. The role of hyperbaric oxygen therapy. *Journal Clinical Neuroophthalmology*, vol. 3, pp. 98–101.
- Thom S. (2011) Hyperbaric oxygen: its mechanisms and efficacy. *Plastic and reconstructive surgery*, vol. 127, pp. 1315–1415. doi:10.1097/PRS.0b013e3181f8e2bf
- Sakovych V., Ostrikova T. (2013) Klinichna otsinka efektyvnosti zastosuvannya oksyhenatsiyi v lskuvanni travmatychnykh keratytov [Clinical assessment of the oxygenation application in the treatment of traumatic keratitis]. *Actualni problemi suchasnoi medecyny: visnik medichnoi stomatologichnoi akademii*, vol. 18, no 3, pp. 54–57.
- Saracco J. (1970) Hyperbaric oxygenotherapy and corneal pathology. *L'Annee therapeutique et clinique en ophtalmologi*, vol. 21, pp. 11–20.
- Laskarzhevskii I. (1987) Results of using hyperbaric oxygenation as an immunodepressant agent in total keratoplasty in an experiment. *Oftalmologicheskii zhurnal*, vol. 7, pp. 406–408.
- Shusterov Y., Elisheeva E., Magzumova D. (2009) *Hyperbaric oxygenation in the treatment of ocular pathology*. Paper presented at the *Fedorovskie chteniya conference*. Moscow, 1–3 May, 2009.
- Shusterov Y., Yeliseyeva Y., Magzumova D. (2011) Giperbaricheskaya oksigenatsiya v lechenii gemoftalma [Hyperbaric oxygenation in the treatment of hemophthalmus]. *Russian ophthalmological journal*, vol. 3, no 4, pp. 66–69.
- IDF (2017) *Diabeticheskii atlas 8 izdaniya* [Diabetes atlas eighth edition]. Brussels: IDF.
- Skrypnyk R., Skripnichenko I. (2019) *Osobennosti povrezhdeniya zritel'nogo nerva pri sakharom diabete* [Features of damage to the optic nerve in diabetes]. Paper presented at *Filatov Memorial Lectures – 2019*. Odesa, Ukraine, 23–24 may 2019.
- Isakova Z. (2002) *Kompleksnoye lechenie neproliferativnoi diabeticheskoi retinopatii* [Complex treatment of non-proliferative diabetic retinopathy]. (PhD Thesis). Moscow: Moscow regional research clinical institute named after M.F. Vladimirov.
- Pasechnikova N., Suk S., Kuznetsova T., Parkhomenko O. (2010) *Diabeticheskaya makulopatya sovremennyye aspekty patogeneza, kliniki, diagnostika, lecheniye* [Diabetic maculopathy modern aspects of pathogenesis, clinics, diagnosis, treatment]. Kiev: Karbon. (in Russian)
- Naumenko V. (2010) *Systema dyferentsynohno pidkholu do rannoyi diahnozyky ta likuvannya patolohiyi orhana zoru pry tsukrovomu diabete* [The system of a differentiated approach to early diagnosis and treatment of pathology of the organ of vision in diabetes]. (PhD Thesis). Kiev: National medical university named after A.A. Bogomolets.
- Weiss J. (2010) Hyperbaric oxygen therapy and age-related macular degeneration. *Undersea and hyperbaric medical journal*, vol. 37, pp. 101–105.
- Olver J., Spalton D., McCartney A. (1990) Microvascular study of the retrolaminar optic nerve in man: the possible significance in anterior ischaemic optic neuropathy. *Eye journal*, vol. 4, pp. 7–24.

Поступила/Received: 23.12.2019

Контакты/Contacts: vladimirandco@gmail.com