

О ЛЕЧЕБНО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЯХ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ПРИ ПЕРВИЧНОЙ ОТКРЫТОУГОЛЬНОЙ ГЛАУКОМЕ

Козина Е.В.,
Кох И.А.,
Торопов А.В.,
Кадомцева Е.М.,
Можейко Е.Ю.

ФГБОУ ВО «Красноярский
государственный медицинский
университет им. проф.
В.Ф. Войно-Ясенецкого» Минздрава
России (660022, г. Красноярск,
ул. Партизана Железняка, 1, Россия)

Автор, ответственный за переписку:
Козина Елена Владимировна,
e-mail: el.kozina@yandex.ru

РЕЗЮМЕ

В обзоре дана оценка физическим упражнениям как дополнительному нефармакологическому средству борьбы с прогрессированием первичной открытоугольной глаукомы. Офтальмогипотензивный эффект зависит от типа упражнений, их продолжительности и интенсивности. Предпочтительны аэробные нагрузки умеренной интенсивности. Среди динамических упражнений наибольшим гипотензивным эффектом обладают занятия бегом. Изометрические тренировки сотяжениями верхней части тела обеспечивают более длительное понижение офтальмотонуса. Снижение внутриглазного давления (ВГД) у больных глаукомой в несколько раз более выражено в сравнении со здоровыми людьми и происходит вне зависимости от характера проводимой местной медикаментозной гипотензивной терапии. После прекращения занятий ВГД возвращается к прежнему уровню в среднем в течение месяца. Повышение глазного перфузионного давления, ассоциированное с физической активностью, диктует целесообразность занятий физическими упражнениями для больных глаукомой псевдонормального давления. Сочетание гипотензивного, «сосудистого», нейрпротекторного эффектов физической активности с высоким уровнем физической подготовки не исключает снижения риска развития и прогрессирования первичной открытоугольной глаукомы. Сохраняет актуальность выработка показаний к использованию физических нагрузок больными глаукомой продвинутой стадий, в том числе перенесшими гипотензивные операции. Индивидуального выбора требуют вид, интенсивность, дозированность и режим выполнения рекомендуемых физических упражнений.

Ключевые слова: физическая активность, физические упражнения, первичная открытоугольная глаукома

Статья поступила: 05.07.2021
Статья принята: 27.10.2021
Статья опубликована: 28.12.2021

Для цитирования: Козина Е.В., Кох И.А., Торопов А.В., Кадомцева Е.М., Можейко Е.Ю. О лечебно-профилактических возможностях физических нагрузок при первичной открытоугольной глаукомы. *Acta biomedica scientifica*. 2021; 6(6-1): 82-95. doi: 10.29413/ABS.2021-6.6-1.10

THERAPEUTIC AND PREVENTIVE EFFECT OF PHYSICAL EXERCISES IN PRIMARY OPEN-ANGLE GLAUCOMA

**Kozina E.V.,
Kokh I.A.,
Toropov A.V.,
Kadomtseva E.M.,
Mozheyko E.Yu.**

Professor V.F. Voyno-Yasenetsky
Krasnoyarsk State Medical University
(Partizana Zheleznyaka str. 1,
Krasnoyarsk 660022, Russian
Federation)

Corresponding author:
Elena V. Kozina,
e-mail: el.kozina@yandex.ru

ABSTRACT

The review assesses physical exercises as an additional non-pharmacological mean of combating the progression of primary open-angle glaucoma. The ophthalmic hypotensive effect is determined by the type of exercise, its duration and intensity. Moderate aerobic activity is preferred. Among dynamic exercises, jogging has the greatest hypotensive effect. Upper body isometric resistance training provides a more lasting decrease in ophthalmotonus. The decrease in intraocular pressure (IOP) in patients with glaucoma is several times more pronounced in comparison with healthy people and occurs regardless of the nature of the local drug antihypertensive therapy. After the termination of classes IOP returns to the previous level on average within a month. An increase in ocular perfusion pressure associated with physical activity dictates the appropriateness of physical exercise for patients with pseudo-normal pressure glaucoma. The combination of hypotensive, vascular, neuroprotective effects of physical activity with a high level of physical fitness does not exclude a decrease in the risk of development and progression of primary open-angle glaucoma. The development of indications for the use of physical activity by patients with advanced glaucoma, including those who have undergone hypotensive surgery, remains relevant. The type, intensity, dosage and mode of performing the recommended physical exercises require an individual choice.

Key words: physical activity, physical exercises, primary open-angle glaucoma

Received: 05.07.2021
Accepted: 27.10.2021
Published: 28.12.2021

For citation: Kozina E.V., Kokh I.A., Toropov A.V., Kadomtseva E.M., Mozheyko E.Yu. Therapeutic and preventive effect of physical exercises in primary open-angle glaucoma. *Acta biomedica scientifica*. 2021; 6(6-1): 82-95. doi: 10.29413/ABS.2021-6.6-1.10

ВВЕДЕНИЕ

Первичная открытоугольная глаукома (ПОУГ) по-прежнему занимает одно из лидирующих мест среди причин слепоты и слабовидения в мире [1]. Известно, что к основным факторам её развития и прогрессирования относят повышенный уровень внутриглазного давления (ВГД) и недостаточную глазную перфузию [1, 2, 3, 4]. Помимо непрерывного поиска оптимальных медикаментозных средств, направленных на контроль данных показателей, продолжается оценка иных способов воздействия на эти параметры, в частности обсуждается целесообразность применения физических упражнений.

О влиянии физических нагрузок на ВГД и глазной кровотока известно давно, однако большинство представленных результатов были получены после обследования здоровых людей. Неопределённость влияния физической активности на глаукомный процесс, разноречивость приводимых результатов о степени её эффективности у больных глаукомой и пр. сохраняют значимость вопроса [5, 6, 7]. В связи с этим целью настоящего обзора явился анализ данных медицинской литературы, касающихся лечебно-профилактических возможностей физических нагрузок при первичной открытоугольной глаукоме, для чего проведён поиск литературных источников с использованием баз данных PubMed, Google Scholar, Web of Science, eLibrary за последние 30 лет. Поисковые термины включали: physical activity, physical exercises, primary open-angle glaucoma.

РАЗДЕЛ 1. ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ УПРАЖНЕНИЙ НА ВНУТРИГЛАЗНОЕ ДАВЛЕНИЕ

Результаты исследований, посвящённых изучению влияния физических нагрузок на состояние ВГД у здоровых людей, неоднозначны, но в большинстве своём демонстрируют его снижение.

Значимым гипотензивным эффектом обладают изометрические физические упражнения. В зависимости от типа выполняемого упражнения, его продолжительности и интенсивности ВГД может понижаться более чем на 2 мм рт. ст. [7, 8, 9, 10]. При этом тренировки с отягощениями верхней части тела по сравнению с нижней имеют более продолжительный гипотензивный эффект [11]. Исключением из «гипотензивного правила» являются занятия тяжёлой атлетикой и упражнения с максимальной нагрузкой [12, 13]. Кроме того, высокий уровень физической подготовки способствует сглаживанию пикового подъёма ВГД в ответ на силовые упражнения по сравнению с размахами ВГД, наблюдающимися в аналогичных условиях у людей с низким уровнем физической подготовки [14].

По сравнению с изометрическими, динамические упражнения обуславливают в 1,5–2 раза более выраженное, но быстро проходящее снижение ВГД [8]. При этом понижение ВГД напрямую связывают с интенсивностью проводимых занятий [8, 10, 15, 16, 17]. Со-

гласно имеющимся данным, наибольшим гипотензивным эффектом обладают занятия бегом. J. Hong et al. говорят о снижении ВГД на 3,82 мм рт. ст. после 15 минут бега трусцой и последовавшем через 30 минут дополнительным его снижением на 1,14 мм рт. ст. [18]. По данным V.P. Kozobolis et al., тренировка на беговой дорожке, в соответствии с протоколом Bruce, с интенсивностью в 85 % от частоты сердечных сокращений привела к снижению ВГД на 5,6 мм рт. ст., определённому через 1 минуту после окончания теста. Однако продолжительность данного эффекта не превысила 30 минут [19]. Аэробные упражнения с использованием беговой дорожки со скоростью, эквивалентной 95 % (206,1 м/мин), 65 % (135,5 м/мин) и 45 % (88,4 м/мин) максимального потребления кислорода (МПК), значительно снижают ВГД при любой из указанных интенсивностей относительно исходного уровня. Самый интенсивный бег сопровождается наибольшим гипотензивным эффектом – 25 % против 12,8 % и 8,7 % при «средней» и «минимальной» нагрузках соответственно [15].

Велэргометрический тест, проведённый среди условно здоровых обследуемых в возрасте 66–85 лет, показал снижение ВГД на 2 мм рт. ст. и более у трети участников, отсутствие изменений – у 57 %. Наибольший гипотензивный эффект определён у субъектов с более высокими значениями ВГД до тестирования: у всех обследуемых с исходным уровнем ВГД выше 22 мм рт. ст. отмечалось снижение на 4–11 мм рт. ст. При этом изменение ВГД не было связано с интенсивностью и продолжительностью нагрузочной пробы [20].

Изучая долгосрочность гипотензивного эффекта физических нагрузок, J. Vera et al. было установлено, что кратковременные спринтерские велосипедные упражнения с малым сопротивлением в сравнении с таковыми с высоким уровнем сопротивления способны обеспечить более выраженное снижение ВГД, сохраняющееся на протяжении 6 недель. В то же время последние, проводимые систематически, формируют устойчивость ВГД в ответ на «острый спринт» с тяжёлой нагрузкой [21].

В целом регулярные занятия физкультурой и спортом, высокий уровень физической подготовки ведут к более низкому индивидуальному базовому уровню ВГД по сравнению с таковым у людей, ведущих малоподвижный образ жизни, но непосредственный гипотензивный эффект упражнений у физически активных лиц существенно ниже [22]. По данным I.A. Qureshi et al., физическая подготовка с повышенным потреблением кислорода обеспечивает снижение исходного уровня ВГД примерно на 0,8 мм рт. ст., что, по мнению авторов, целесообразно принять во внимание как возможность «терапевтического применения» регулярных физических упражнений, в частности у больных глаукомой [23].

Статистически значимый гипотензивный эффект беговой дорожки отмечен и у больных ПОУГ. У 20 пациентов (средний возраст – $49,4 \pm 8,4$ года) с впервые выявленной ПОУГ, не имеющих сердечно-сосудистой патологии, непосредственно после окончания занятия определено снижение ВГД в среднем на 1,8 и 2,1 мм рт. ст., через 60 минут по окончании бега – на 1,4 и 1,1 мм рт. ст. (пра-

вый и левый глаз соответственно). Изменения ВГД у мужчин были более выраженными [24]. По данным K. Natsis et al., снижение ВГД происходит у большинства больных ПОУГ вне зависимости от характера проводимой местной гипотензивной терапии (бета-блокаторы, аналоги простагландинов, селективные α_2 -адреномиметики) [25].

Ежедневное добавление 30-минутного бега трусцой к закапываниям Тимолола снизило ВГД на 6 мм рт. ст. через 4 недели исследования у пациентов с впервые выявленной ПОУГ и исходным ВГД, не превышающим 30 мм рт. ст. [26].

Приведённые данные подтверждают выводы, сделанные I.A. Qureshi более 25 лет назад, о существенном гипотензивном влиянии ходьбы, бега трусцой и быстрого «истошающего» бега как среди условно здоровых пациентов, так и у больных глаукомой. При этом у последних данный эффект в 3 раза более выражен по сравнению с здоровыми испытуемыми. Максимальной гипотензивной активностью обладают беговые упражнения: при беге трусцой величина снижения ВГД достигает $10,86 \pm 2,12$ мм рт. ст., при быстром беге – $12,86 \pm 2,05$ мм рт. ст. [16].

У пациентов с глаукомой (возраст 18–70 лет) наблюдалось дополнительное снижение ВГД на 2,78 мм рт. ст. после 10 минут упражнений на велоэргометре с максимальной интенсивностью 20 % W_{max} и на 4,9 мм рт. ст. – после 5 минут упражнений с 60 % W_{max} на фоне инстилляций аналогов простагландинов [17].

Говоря о продолжительности гипотензивного эффекта нагрузок у больных с нарушениями гидродинамики, следует отметить, что после прекращения занятий значения ВГД возвращаются к прежнему уровню в среднем в течение месяца. Достигнутое в течение 3 месяцев занятий на велоэргометре снижение ВГД на $4,6 \pm 0,4$ мм рт. ст. (на 20 %) на фоне повышения МПК на 30 % среди лиц с подозрением на глаукому вернулось к исходному уровню через 3 недели после прекращения занятий [27].

I. Necht et al. указывают на возможность снижения ВГД на 3,0 мм рт. ст. при помощи аэробных упражнений умеренной интенсивности, что, по мнению авторов, самостоятельного влияния на течение ПОУГ оказать не может, но в то же время совокупный эффект традиционной гипотензивной терапии с рядом изменений в образе жизни, в том числе с повышением физической активности больного, может быть значительным с точки зрения замедления прогрессирования заболевания [28].

Y. Yang et al. установили более выраженное снижение ВГД, вызванное физической велэргометрической нагрузкой, среди больных ПОУГ с миопией высокой степени по сравнению с пациентами, имеющими другие виды рефракции. Предположительно структурные и функциональные изменения в глазах большего размера, например, недостаточная перфузия сосудистой оболочки и сетчатки, могут привести к нарушению ауторегуляторной реакции и более значительным колебаниям ВГД после тренировки [17].

J. Vera et al., установив положительную связь между мощностно-силовыми характеристиками верхней части

тела у здоровых мужчин с их уровнем ВГД, предполагают существенное значение этой зависимости для контроля офтальмотонуса [29]. В пользу данного предположения свидетельствуют результаты, полученные группой египетских исследователей: сочетание силовых упражнений для верхних конечностей в режиме 3 раза в неделю в течение месяца с местной медикаментозной терапией позволяет получить дополнительный гипотензивный эффект, в 10 раз превышающий таковой у пациентов, получающих традиционную инстилляционную терапию, – 13,5 % на правом глазу и 16,45 % на левом глазу против соответственно 0,95 % и 1,7 % в группе сравнения после 1 месяца терапии [30].

До настоящего времени механизмы, обуславливающие гипотензивный эффект физических нагрузок, не ясны. Считается, что при динамических упражнениях триада изменений, способных приводить к снижению ВГД, включает в себя повышение осмолярности плазмы крови, нарастающее содержание лактата крови и понижение её pH. При этом кислотный сдвиг и его корреляция с уровнем ВГД характерны лишь для анаэробных упражнений [7]. Некоторые авторы не исключают связь гипотензивного процесса с повышением коллоидно-осмотического давления крови вследствие обезвоживания, но теория гиперосмолярности для всех динамических упражнений по-прежнему пользуется наибольшей поддержкой [31].

В то же время стимуляция симпатической нервной системы в ожидании и во время стресса физической нагрузкой может сопровождаться выработкой значительного количества адреналина и норадреналина. Высвобождение этих медиаторов способствует снижению ВГД за счёт уменьшения сопротивления оттоку и, более того, за счёт понижения скорости образования внутриглазной жидкости [32].

Гипотензивный эффект изометрических нагрузок прочно связывают с состоянием гипокании. Вместе с тем существует предположение о пока неизвестном самостоятельном факторе гипервентиляции, также участвующем в снижении ВГД в условиях статического напряжения [7].

Одно из возможных объяснений гипотензивного эффекта физических упражнений может быть связано с увеличением размерных характеристик шлеммова канала в послетренировочном периоде. Y. Yuan et al. после получасовой аэробной тренировки на беговой дорожке методом SS-ОСТ определили увеличение площади поперечного сечения синуса у здоровых испытуемых с $151,84 \pm 52,76$ до $198,23 \pm 53,70$ пикселей, у больных ПОУГ – с $80,48 \pm 59,54$ до $99,20 \pm 54,87$ пикселей. Данные изменения были ассоциированы с статистически значимым снижением ВГД и не зависели от применения местной медикаментозной гипотензивной терапии [33].

Однако существуют работы, отражающие противоположный гипотензивному эффект физической активности либо отсутствие её влияния. Чаще всего это связано с определёнными видами спорта и/или характером выполняемых упражнений, формами ПОУГ [14, 34, 35, 36].

Установлено, что различные упражнения (игра в баскетбол, беговая дорожка, бег трусцой) вызывают повышение ВГД у пациентов с пигментной формой глаукомы

или синдромом пигментной дисперсии ввиду западения радужки, индуцированного нагрузкой, и последующего её трения о волокна цинновой связки с высвобождением пигмента, блокирующего дренажную систему глаза. Известны рекомендации проведения лазерной иридэктомии или инстилляций пилокарпина перед упражнениями, способные предотвратить повышение ВГД [10, 37].

Не безупречными с точки зрения влияния на ВГД являются занятия йогой. Если йогическая пранаяма (управление жизненной энергией) с диафрагмальным дыханием считаются потенциальными вспомогательными методами лечения пациентов с глаукомой (ежедневные занятия в течение полугода позволяют снизить ВГД на 6 мм рт. ст. за счёт стимуляции гипометаболического состояния и парасимпатического доминирования) [38], то положение стойки на голове повышает ВГД примерно в 2 раза и в процессе выполнения упражнения, и после его окончания, что характерно, в том числе, для больных глаукомой [10]. По данным J.V. Jasien et al., положения йоги Adho Mukha Svanasana (поза «собака мордой вниз»), Uttanasana (поза интенсивного вытяжения), Halasana (поза «плуга») и Viparita Karani (поза «перевернутой свечи») провоцируют подъём ВГД как среди условно здоровых лиц, так и среди больных глаукомой от 6 до 11 мм рт. ст. При этом ВГД повышается в течение первой минуты после принятия положения тела в упражнении йоги, а возвращается к значениям, близким к базовым, после принятия сидячего положения и через 10 последующих минут пребывания в таковом. Наибольший подъём ВГД наблюдается после принятия позы Adho Mukha Svanasana – с 17 [12; 23] до 28 [19; 38] мм рт. ст. – и является сопоставимым в обеих группах. Развитие офтальмогипертензии авторы объясняют повышением давления в орбитальных, эписклеральных, хориоидальных венах, а также увеличением толщины и объёма сосудистой оболочки, связанным с повышением внутричерепного давления вследствие происходящего изменения положения тела [34].

Известны подъёмы ВГД у занимающихся тяжёлой атлетикой или у лиц, испытывающих иные максимальные физические нагрузки. В частности, у тяжелоатлетов, по сути выполняющих манёвр Вальсальвы, возможен прирост ВГД до 15 мм рт. ст., что авторы объясняют повышением внутричерепного давления, в итоге препятствующего глазному венозному оттоку [7, 12, 13]. Захваты рук, приседания также могут сопровождаться подъёмом ВГД на 31–46 % и 18–35 % соответственно [10, 35]. Прогрессивное повышение ВГД во время изометрических усилий, сочетающихся с задержкой дыхания, наблюдали и другие исследователи. «25-секундная Вальсальва» (2 цикла, состоящих из 25 секунд манёвра Вальсальвы и 5 секунд нормального дыхания) демонстрировала более высокий прирост ВГД в сравнении с «10-секундной Вальсальвой» (3 цикла, состоящих из 10-секундной задержки дыхания и 10 секунд нормального дыхания) [39].

J. Vera et al. при оценке влияния на ВГД приседаний, военного жима, сгибания бицепсов и подъёмов на носки (10 повторений) во время их выполнения установили прогрессивное повышение ВГД ($p < 0,001$; $\eta^2 = 0,531$), зависящее от типа упражнения ($p = 0,020$; $\eta^2 = 0,125$). У здо-

ровых молодых людей приседания отличались наиболее высоким приростом ВГД по сравнению с другими упражнениями, а подъёмы на носки приводили к минимальному увеличению ВГД в сравнении с военным жимом и сгибанием бицепсов [36, 40].

Влияние плавательных упражнений на состояние ВГД разноречиво. Как правило, обычное плавание не провоцирует острых подъёмов ВГД. У 12 хорошо подготовленных спортсменов-любителей после 500-километрового эстафетного плавания прирост ВГД в среднем составил 1,1 мм рт. ст. ($p > 0,05$) при отсутствии статистически значимой корреляции с кардиореспираторной аэробной подготовкой, определяемой с помощью показателя МПК и метаболического эквивалента (МЕТ). У четверти пациентов отмечена тенденция к снижению ВГД, в половине случаев ВГД оставалось стабильным [41].

Потенциально опасными для больных глаукомой могут быть занятия плаванием с использованием плавательных очков, так как последние могут существенно повышать ВГД и уменьшать приток крови к головке зрительного нерва [37, 42, 43]. А.Р. Paula et al. отметили рост ВГД у 35 здоровых добровольцев на 10 мм рт. ст. через 2 минуты заплыва [43].

Кроме того, определённую осторожность необходимо проявлять страдающим глаукомой и практикующим подводное плавание с аквалангом и прыжки с тарзанки [10].

Работа D. Janicijevic et al., проведённая в рамках профилактических мероприятий против COVID-19, демонстрирует безопасность использования как хирургических масок, так и масок FFP2/N95 больными ПОУГ в состоянии покоя. Однако из-за повышения ВГД, наблюдаемого при ходьбе с маской FFP2/N95, пациентам с ПОУГ во время их физической активности следует считать приоритетным использование хирургических масок [44].

Кроме того, привычно считающиеся полезными занятия на велоэргометре, при 20-минутной субмаксимальной нагрузке способствовали появлению ночных пиков ВГД у 6 из 12 пациентов в возрасте 45–65 лет, страдающих ПОУГ, в то время как в процессе тренировки и сразу по её окончании заметных изменений ВГД выявлено не было [45].

В 2016 г. С.W. McMonnies в развитие вопроса о противопоказаниях к физической активности при ПОУГ опубликовал литературный обзор, в котором основное внимание уделил объективизации ограничений для занятий определёнными упражнениями пациентам из группы риска по глаукоме. Однако в своём заключении он отмечает недостаточность доказательной базы по данному вопросу и предлагает проведение тонометрической оценки и других исследований, контролирующих уровень гидратации глаза, в частности в ходе выполнения динамических упражнений [5].

РАЗДЕЛ 2. ФИЗИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ И ИНТРАОКУЛЯРНАЯ ГЕМОДИНАМИКА

Несмотря на сложность патогенетических механизмов глаукомного процесса, роль нарушений глазно-

го кровотока не вызывает сомнений как для его развития, так и для прогрессирования. Проанализировав работы, посвящённые влиянию физических упражнений на глазную гемодинамику, D. Risner et al. отмечают непостоянное и кратковременное увеличение перфузии глаза после их окончания [7]. При этом её увеличению способствуют как изометрические, так и динамические упражнения. В целом у здоровых людей вследствие сохранённых ауторегуляторных механизмов глазная перфузия остаётся относительно стабильной. Устойчивость перфузии обуславливается сужением интраокулярных сосудов, повышением сопротивления хориоидального русла [46] и при изометрических упражнениях не коррелирует с содержанием углекислого газа в крови [7]. Вместе с тем срыв механизмов ауторегуляции отмечается при повышении перфузионного давления более чем на 67–70 % от исходного уровня [7]. Постоянство глазной перфузии в большей мере характерно для тренированных людей. По данным J. Vera et al., 5 минут периода восстановления недостаточно для достижения исходных значений как давления перфузии глаза, так и ВГД лишь нетренированным испытуемым, проходящим максимальный тест на тредмиле [47].

Считается, что сосудистая ауторегуляция, вызванная физическими нагрузками, зависит от взаимодействия вазодилататоров (оксид азота) и вазоконстрикторов (эндотелин-1). В качестве доказательной базы авторы приводят данные о повышении концентрации метаболитов оксида азота после двойного двухступенчатого теста, о минимальном изменении диаметра ретинальных вен в ответ на введение ингибитора оксида азота в ходе 6-минутного сжатия руки, об увеличении кровотока в головке зрительного нерва на фоне ингибирования рецепторов эндотелина-1 типа А антагонистом ET-1 BQ-123 [10].

Учитывая повышающий глазной кровотока эффект антиоксидантов [48] и присущие физическим нагрузкам антиоксидантные свойства [49], можно говорить о дополнительном механизме положительного влияния физической активности на интраокулярную гемодинамику.

Морфометрически «сосудистый эффект» физических нагрузок у здоровых молодых людей проявляется увеличением толщины и объёма хориоидальной оболочки в субфовеальной области, 3-миллиметровой носовой и 6-миллиметровой верхней зонах через 3 минуты после выполнения аэробных физических упражнений и уменьшением значений обоих показателей во всех исследуемых областях в последующие 7 минут [50].

ЭПИК-Норфолкское исследование на основании результатов изучения взаимосвязи между общей физической активностью индивида и имеющимся на момент исследования глазным перфузионным и системным диастолическим артериальным давлением среди 5650 участников в возрасте от 48 до 90 лет установило прямую связь между низким уровнем глазного перфузионного давления и малой физической активностью. При этом связь между физической активностью и перфузионным давлением не зависела от ВГД, но в значи-

тельной степени опосредовалась диастолическим артериальным давлением [51].

N. Portmann et al., проанализировав реакцию хориоидального кровотока в «субмакулярной зоне» на изометрическую нагрузку с помощью вигориметра Мартина у нелеченных пациентов с глаукомой и глазной гипертензией, определили более высокий уровень кровотока в исходном состоянии в здоровых глазах по сравнению с другими группами (5126 ± 1487 , 4186 ± 1011 и 4437 ± 1372 произвольных единиц; $p = 0,003$). Гемодинамическая реакция на физическую нагрузку была в 2 раза выше у больных ПОУГ в сравнении со здоровыми людьми ($+8,1 \pm 8,0$ % против $+3,7 \pm 6,7$ %; $p = 0,007$) и погранично выше, чем у больных с офтальмогипертензией ($+5,0 \pm 8,0$ %; $p = 0,051$). Более выраженное увеличение глазного кровотока у пациентов с ПОУГ на фоне индуцированного физической нагрузкой повышения артериального давления, которое было исходно более низким в группах с глаукомой и офтальмогипертензией, авторы связывают с менее активной регуляторной способностью у пациентов с глаукомой [52].

Сравнивая аномальную ауторегуляцию кровотока в головке зрительного нерва с помощью лазерной доплеровской флоуметрии у 40 пациентов с глаукомой и 40 здоровых людей во время трёх периодов изометрических упражнений, каждый из которых состоял из 2-минутного захвата, A.M. Bata et al. установили повышение глазного перфузионного давления во все периоды захвата рук в обеих группах. При этом у 4 пациентов с глаукомой отмечалось последовательное увеличение кровотока более чем на 10 %, в то время как у здоровых людей подобного эффекта не наблюдалось ($p = 0,035$) [53].

Вместе с тем глазная перфузия продемонстрировала своё значительное снижение в случаях приседаний и упражнений на жим, приводящих к мышечной недостаточности ($p = 0,001$; $\eta^2 = 0,364$) [36].

Оценка вызванных 40-минутной циклоэргометрией изменений параметров глазного кровотока у пациентов с ПОУГ, получающих местное гипотензивное лечение, продемонстрировала значительное, но кратковременное увеличение параметров глазного кровотока. В среднем амплитуда глазного пульса и глазное перфузионное давление повысились на 58,8 % и 21,7 % соответственно. В течение 30 минут после тренировки значения данных показателей сохранялись выше исходного уровня. Согласно результатам регрессионного анализа, статистически значимых ассоциаций с ВГД, средним АД, возрастом пациентов у глазного перфузионного давления не выявлено [54].

Полученные результаты ставят вопросы либо о полезности физических упражнений для больных глаукомой и возможном их влиянии на прогрессирование заболевания, либо лишь о безвредности воздействия на течение глаукомного процесса ввиду кратковременности положительного «сосудистого эффекта». Однако ввиду малочисленности работ данной направленности ответить на него в настоящее время не представляется возможным.

РАЗДЕЛ 3. НЕЙРОПРОТЕКТОРНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ФИЗИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

В последние годы множится количество исследований, посвящённых нейропротекторным возможностям физических нагрузок. В свете рассматриваемого вопроса данный эффект прежде всего связывают с их гипотензивным воздействием [55].

Помимо этого, установлено, что защитная роль физических упражнений опосредуется усиленной экспрессией в сетчатке BDNF [56, 57] – нейротрофического фактора головного мозга, тормозящего потерю ретинальных ганглиозных клеток, – в условиях экспериментальной хронической глаукомы и острой офтальмогипертензии [58]. Доказательной базой послужило электроретинографически подкреплённое купирование изменений ганглиозных клеток сетчатки (ГКС), вызванных острой офтальмогипертензией (до 50 мм рт. ст.) вследствие ежедневных 60-минутных занятий плаванием [56, 57].

Другие нейротрофины, включая нейротрофический фактор роста (NGF) и инсулиноподобный фактор роста-1 (IGF-1), также продемонстрировали нейропротекторные эффекты относительно ГКС, однако их роль в нейрозащите, опосредованной физической нагрузкой, не определена [59].

Кроме того, в эксперименте установлено, что упражнения способны снижать степень митохондриальной дисфункции, препятствовать окислительному стрессу структур сетчатки, что предполагает их эффективность в отношении сохранения ГКС и предотвращения утраты зрительных функций вследствие ПОУГ [60].

Косвенным подтверждением данного предположения является благоприятное воздействие физических упражнений при лечении болезни Альцгеймера, одного из видов митохондриальной патологии, вместе с ПОУГ входящей в группу нейродегенеративных заболеваний головного мозга [61, 62, 63, 64].

РАЗДЕЛ 4. ФИЗИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ КАК ФАКТОР РИСКА/АНТИРИСКА РАЗВИТИЯ И ПРОГРЕССИРОВАНИЯ ПЕРВИЧНОЙ ОТКРЫТОУГОЛЬНОЙ ГЛАУКОМЫ

S.C. Lin et al., обследовав 11 246 человек в возрасте 40 лет и старше в рамках Национального обследования здоровья и питания в Корее за 2008–2011 гг., в том числе 336 (2,7 %) больных глаукомой, определили более высокую вероятность развития ПОУГ у субъектов, активно использующих физические нагрузки 7 дней в неделю, по сравнению с теми, кто тренировался трижды в неделю (отношение шансов (ОШ) – 3,33; 95%-й доверительный интервал (ДИ): 1,16–9,54). По сравнению с умеренной интенсивностью упражнений, их высокая степень (согласно классификации Американского колледжа спортивной медицины) также ассоциирована с большей распространённостью глаукомы. При этом связь частоты и высокой интенсивности упражнений с заболеванием глаукомой у мужчин обнаруживалась в 6 раз чаще, чем у женщин [65].

Изнурительные упражнения связаны с накоплением свободных радикалов, вызывающих структурные повреждения или воспалительные реакции, чем отчасти можно объяснить приведённые результаты, принимая во внимание роль окислительного стресса в патогенезе ПОУГ [14].

В относительное противоречие вступают результаты исследования, проведённого в Японии. Увеличение частоты физических нагрузок (количества раз в неделю) и продолжительности упражнений (количества минут в неделю) статистически значимо связано со снижением ВГД после корректировки на возраст, пол, систолическое артериальное давление, наличие диабета, содержание холестерина фракций крови, значения индекса массы тела, привычку к курению, потребление алкоголя и пр., что может служить фактором антириска развития глаукомного процесса [66].

О предполагаемом положительном влиянии физических нагрузок на течение глаукомного процесса сообщают C.I. Perez et al., K. Barton et al. и др. [6, 67].

H. Olszewska et al. утверждают, что недостаточная физическая активность является важным и недооценённым фактором, предрасполагающим к прогрессированию ПОУГ. Вывод сделан на основании результатов оценки анамнестической досуговой и текущей семидневной физической активности: продолжительность текущей активности с интенсивностью 4 МЕТ была статистически значимо короче у больных ПОУГ. Анамнестическая активность была также значительно ниже среди больных глаукомой и не зависела от половой принадлежности пациентов [68].

N.F. Meier et al. при изучении ассоциаций физической активности и кардиореспираторного фитнеса с риском развития глаукомы среди 9519 испытуемых диагностировали развитие глаукомы в 128 случаях (средний период наблюдения – $5,7 \pm 4,3$ года). При этом значительно более низкий риск развития глаукомы (отношение рисков (ОР) – 0,53; 95% ДИ: 0,35–0,79) был определён у лиц, уровень физической активности которых, оцениваемый по самооценке занятий в свободное время, составлял ≥ 500 метаболических эквивалентов минут (МЕТ-мин) в неделю по сравнению с неактивными людьми (0 МЕТ-мин в неделю). Пациенты с высоким уровнем физической подготовки, согласно тесту с максимальной нагрузкой на беговой дорожке, также имели значительно более низкий риск развития глаукомы (ОР = 0,60; 95% ДИ: 0,38–0,95). При сочетании высоких уровней физической активности и физической подготовки определялся самый низкий риск развития глаукомы (ОР = 0,49; 95% ДИ: 0,31–0,79) [69].

Согласно Роттердамским критериям, у обследуемых с активным образом жизни по сравнению с физически пассивными людьми шансы развития глаукомы снижены на 58 % (ОШ = 0,42; 95% ДИ: 0,25–0,70). При оценке по изображениям диска зрительного нерва у лиц с умеренными объёмами активной деятельности шансы развития глаукомы снижаются на 95 % (ОШ = 0,05; 95% ДИ: 0,01–0,56) [70].

Диагностировав в течение года ПОУГ у 303 из 27 051 человек, R. Kawakami et al. установили обратную зависимость

между частотой глаукомы и величиной индекса мышечной работоспособности, рассчитанного с использованием суммированного z-показателя, зависящего от возраста и пола, силы хвата, вертикального прыжка, баланса на одной ноге, переднего наклона и времени реакции всего тела (WBSRT, whole body simple reaction time), измеренного с помощью чувствительного к давлению мата. Тестами, определяющими высокий риск развития ПОУГ, являются вертикальный прыжок и WBSRT [71].

Целесообразность вечерних прогулок при ПОУГ, рекомендуемых отечественными офтальмологами на протяжении нескольких десятилетий [2], косвенно подтверждают китайские исследователи. Контролируя в течение недели суточную физическую активность у пациентов, носящих акселерометр на правом запястье в течение более чем 10 часов ежедневного бодрствования, X. Pan et al. предположили снижение вероятности прогрессирования ПОУГ у тех больных, которые привычно использовали активные физические упражнения в вечернее время (с 18.00 до 20.00). Именно у этих пациентов отмечена минимальная отрицательная динамика состояния периферического зрения [72]. S. Yokota et al. также указывают на более медленное прогрессирование ПОУГ среди пациентов, ведущих активный физический образ жизни. По их данным, динамика значений показателя MD составляет $+0,20 \pm 0,20$ дБ/год в группе физически активных лиц против $-0,53 \pm 0,18$ дБ/год в группе малоподвижных пациентов ($p = 0,01$) [73].

Положительный периметрический эффект ежедневной ходьбы у больных глаукомой отмечают американские исследователи: замедление потери светочувствительности в среднем на 10 % ассоциируется с дополнительными 5000 ежедневными шагами или 2,6 часа иных активных двигательных нагрузок [74].

Учитывая известный дисбаланс между ВГД и внутричерепным давлением при глаукоме псевдонормального давления, D.S.C. Lam et al. говорят о важности физических упражнений, прежде всего для этой группы пациентов [75]. О необходимости занятий аэробными видами спорта всеми больными ПОУГ сообщают J. Moreno-Montañés et al. [76]. Об этом свидетельствуют результаты анкетирования 287 пациентов, в том числе 190 больных ПОУГ, среди которых физически активных лиц было в 1,3 раза больше в сравнении с группой контроля. Полученные данные авторы объясняют желанием «глаукомных пациентов» позитивно повлиять на течение заболевания после его выявления [77].

Вместе с тем, результаты проведенного Y.X. Wang et al. многофакторного анализа свидетельствуют об отсутствии какой-либо связи уровня физической активности и открытоугольной глаукомы, в отличие от известного положительного альянса физических нагрузок с распространенностью и течением диабетической ретинопатии [78, 79, 80].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, несмотря на более чем полувековую историю вопроса о взаимоотношениях физической ак-

тивности и ПОУГ, окончательного его решения не произошло. Нередко проводимые исследования, в том числе работы последних лет, демонстрируют противоположные выводы.

Сочетание гипотензивного, сосудистого, нейропротекторного эффектов физических нагрузок позволяет рассматривать их как одно из нефармакологических средств борьбы с прогрессированием глаукомного процесса.

По всей вероятности, не будучи альтернативой традиционной антиглаукоматозной терапии, физическая активность может быть эффективным её дополнением, прежде всего у молодых пациентов с начальными проявлениями ПОУГ. Ограничение, усиление физической активности либо поддержание её привычного уровня у пациентов с продвинутыми стадиями ПОУГ представляется целесообразным рекомендовать с учётом возраста, коморбидной сердечно-сосудистой патологии, состояния зрительных функций и пр. каждого конкретного пациента. Недостаточная осведомлённость о влиянии физических упражнений на офтальмологический статус больных, оперированных по поводу ПОУГ, затрудняет принятие решения о показаниях к их применению в данной группе пациентов.

В целом индивидуального рассмотрения требуют вид рекомендуемых упражнений, их интенсивность, дозированность и режим выполнения. Желательна стандартизация комплекса диагностических обследований, что позволит повысить качество интерпретации полученных функциональных и морфометрических результатов, укрепит доказательную базу влияния физических нагрузок на глаукоматозный процесс.

По нашему мнению, чтобы ответить на данные и иные вопросы, касающиеся обсуждаемой темы, требуется проведение более масштабных и долгосрочных исследований с привлечением офтальмологов, врачей-интернистов, специалистов по лечебной физкультуре и спортивной медицине.

Финансирование

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Конфликт интересов

Авторы данной статьи заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Егоров Е.А., Алексеев В.Н. *Патогенез и лечение периферической открытоугольной глаукомы*. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2017.
2. Нестеров А.П. *Глаукомы*. М.: МИА; 2008.
3. Caprioli J, Coleman AL. Blood flow in glaucoma discussion. Blood pressure, perfusion pressure and glaucoma. *Am J Ophthalmol*. 2010; 149(5): 704-712. doi: 10.1016/j.ajo.2010.01.018
4. Cherecheanu AP, Garhofer G, Schmidl D, Werkmeister R, Schmetterer L. Ocular perfusion pressure and ocular blood flow in glaucoma. *Curr Opin Pharmacol*. 2013; 13(1): 36-42. doi: 10.1016/j.coph.2012.09.003

5. McMonnies CW. Intraocular pressure and glaucoma: Is physical exercise beneficial or a risk? *J Optom.* 2016; 9(3): 139-147. doi: 10.1016/j.optom.2015.12.001
6. Perez CI, Singh K, Lin S. Relationship of lifestyle, exercise, and nutrition with glaucoma. *Curr Opin Ophthalmol.* 2019; 30(2): 82-88. doi: 10.1097/ICU.0000000000000553
7. Risner D, Ehrlich R, Kheradiya NS, Siesky B, McCranor L, Harris A. Effects of exercise on intraocular pressure and ocular blood flow: A review. *J Glaucoma.* 2009; 18(6): 429-436. doi: 10.1097/IJG.0b013e31818fa5f3
8. Avunduk AM, Yilmaz B, Sahin N, Kapicioglu Z, Dayanir V. The comparison of intraocular pressure reductions after isometric and isokinetic exercises in normal individuals. *Ophthalmologica.* 1999; 213(5): 290-294. doi: 10.1159/000027441
9. Ezhilnila S, Brinda S, Meena A, Samuel PJ. Effect of isometric handgrip exercise on intraocular pressure among healthy adult males. *Comp Exerc Physiol.* 2021; 17(2): 137-141. doi: 10.3920/CEP200048
10. Zhu MM, Lai JSM, Choy BNK, Shum JWH, Lo ACY, Ng ALK, et al. Physical exercise and glaucoma: a review on the roles of physical exercise on intraocular pressure control, ocular blood flow regulation, neuroprotection and glaucoma-related mental health. *Acta Ophthalmol.* 2018; 96(6): e676-e691. doi: 10.1111/aos.13661
11. Chromiak JA, Abadie BR, Braswell RA, Koh YS, Chitek DR. Resistance training exercises acutely reduce intraocular pressure in physically active men and women. *J Strength Cond Res.* 2003; 17(4): 715-720. doi: 10.1519/1533-4287(2003)017<0715:rteari>2.0.co;2
12. Brody S, Erb C, Veit R, Rau H. Intraocular pressure changes: The influence of psychological stress and the Valsalva maneuver. *Biol Psychol.* 1999; 51(1): 43-57. doi: 10.1016/s0301-0511(99)00012-5
13. Dickerman RD, Smith GH, Langham-Roof L, McConathy WJ, East JW, Smith AB. Intraocular pressure changes during maximal isometric contraction: Does this reflect intra-cranial pressure or retinal venous pressure? *Neurol Res.* 1999; 21(3): 243-246. doi: 10.1080/01616412.1999.11740925
14. Vera J, Jiménez R, Redondo B, Cárdenas D, García-Ramos A. Fitness level modulates intraocular pressure responses to strength exercises. *Curr Eye Res.* 2018; 43(6): 740-746. doi: 10.1080/02713683.2018.1431289
15. Bulson R, Henry S, Houser R, Tang C. Effect of aerobic exercise of three different intensities on intraocular pressure. *Optom Vis Perf.* 2020; 8(1): 7-14.
16. Qureshi IA. The effects of mild, moderate, and severe exercise on intraocular pressure in glaucoma patients. *Jpn J Physiol.* 1995; 45(4): 561-569. doi: 10.2170/jjphysiol.45.561.16
17. Yang Y, Li Z, Wang N, Wu L, Zhen Y, Wang T, et al. Intraocular pressure fluctuation in patients with primary open-angle glaucoma combined with high myopia. *J Glaucoma.* 2014; 23(1): 19-22. doi: 10.1097/IJG.0b013e31825afc9d
18. Hong J, Zhang H, Kuo DS, Wang H, Huo Y, Yang D, et al. The short-term effects of exercise on intraocular pressure, choroidal thickness and axial length. *PLoS One.* 2014; 9(8): e104294. doi: 10.1371/journal.pone.0104294
19. Kozobolis VP, Detorakis ET, Konstas AG, Achtopoulos AK, Diamandides ED. Retrobulbar blood flow and ophthalmic perfusion in maximum dynamic exercise. *Clin Exp Ophthalmol.* 2008; 36(2): 123-129. doi: 10.1111/j.1442-9071.2007.01646.x
20. Era P, Pärssinen O, Kallinen M, Suominen H. Effect of bicycle ergometer test on intraocular pressure in elderly athletes and controls. *Acta Ophthalmol (Copenh).* 1993; 71(3): 301-307. doi: 10.1111/j.1755-3768.1993.tb07139.x
21. Vera J, García-Ramos A, Redondo B, Cárdenas D, De Moraes CG, Jiménez R. Effect of a short-term cycle ergometer sprint training against heavy and light resistances on intraocular pressure responses. *J Glaucoma.* 2018; 27(4): 315-321. doi: 10.1097/IJG.0000000000000893
22. Qureshi IA. Effects of exercise on intraocular pressure in physically fit subjects. *Clin Exp Pharmacol Physiol.* 1996; 23(8): 648-652. doi: 10.1111/j.1440-1681.1996.tb01751.x
23. Qureshi IA, Xi XR, Huang YB, Wu XD. Magnitude of decrease in intraocular pressure depends upon intensity of exercise. *Korean J Ophthalmol.* 1996; 10(2): 109-115. doi: 10.3341/kjo.1996.10.2.109
24. Umoh IC, Olawoye OO, Baiyeroju AM. Changes in intraocular pressure after exercise in newly diagnosed glaucoma patients and normal subjects – A pilot study. *Afr J Biomed Res.* 2020; 23(SE1): 43-46.
25. Natsis K, Asouhidou I, Nousios G, Chatzibalas T, Vlasis K, Karabatakis V. Aerobic exercise and intraocular pressure in normotensive and glaucoma patients. *BMC Ophthalmol.* 2009; 9: 6. doi: 10.1186/1471-2415-9-6
26. Agrawal A. A prospective study to compare safety and efficacy of various anti-glaucoma agents and evaluate the effect of aerobic exercise on intra-ocular pressure in newly diagnosed primary open angle glaucoma patients in a tertiary care hospital. *Value Health J Int Soc Pharmacoeconomics Outcome Res.* 2015; 18(7): A415. doi: 10.1016/j.jval.2015.09.1003
27. Passo MS, Goldberg L, Elliot DL, Van Buskirk EM. Exercise training reduces intraocular pressure among subjects suspected of having glaucoma. *Arch Ophthalmol.* 1991; 109(8): 1096-1098. doi: 10.1001/archoph.1991.01080080056027
28. Hecht I, Achiron A, Man V, Burgansky-Eliash Z. Modifiable factors in the management of glaucoma: A systematic review of current evidence. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2017; 255(4): 789-796. doi: 10.1007/s00417-016-3518-4
29. Vera J, Jiménez R, García-Ramos A, Cárdenas D. Muscular strength is associated with higher intraocular pressure in physically active males. *Optom Vis Sci.* 2018; 95(2): 143-149. doi: 10.1097/OPX.0000000000001169
30. Zizi M. Resisted exercises for modulation of intraocular pressure in patients with primary open-angle glaucoma: A randomized clinical trial. *J Clin Anal Med.* 2019; 10(2): 225-229. doi: 10.4328/JCAM.6061
31. Martin B, Harris A, Hammel T, Malinovsky V. Mechanism of exercise induced ocular hypotension. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1999; 40(5): 1011-1015.
32. Esfahani MA, Gharipour M, Fesharakinia H. Changes in intraocular pressure after exercise test. *Oman J Ophthalmol.* 2017; 10(1): 17-20. doi: 10.4103/0974-620X.200689
33. Yuan Y, Lin TPH, Gao K, Zhou R, Radke NV, Lam DSC, et al. Aerobic exercise reduces intraocular pressure and expands Schlemm's canal dimensions in healthy and primary open-angle glaucoma eyes. *Indian J Ophthalmol.* 2021; 69(5): 1127-1134. doi: 10.4103/ijo.IJO_2858_20
34. Jasien JV, Jonas JB, de Moraes CG, Ritch R. Intraocular pressure rise in subjects with and without glaucoma during four common yoga positions. *PLoS One.* 2015; 10(12): e0144505. doi: 10.1371/journal.pone.0144505

35. Vera J, García-Ramos A, Jiménez R, Cárdenas D. The acute effect of strength exercises at different intensities on intraocular pressure. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2017; 255(11): 2211-2217. doi: 10.1007/s00417-017-3735-5
36. Vera J, Jiménez R, Redondo B, Torrejón A, De Moraes CG, García-Ramos A. Effect of the level of effort during resistance training on intraocular pressure. *Eur J Sport Sci*. 2019; 19(3): 394-401. doi: 10.1080/17461391.2018.1505959
37. Flammer J. *Glaucoma: A guide for patients, an introduction for care-providers, a quick reference*. Bern: Hogrefe & Huber Publ.; 2006.
38. Udenia H, Mittal S, Agrawal A, Singh A, Singh A, Mittal SK. Yogic pranayama and diaphragmatic breathing: Adjunct therapy for intraocular pressure in patients with primary open-angle glaucoma: A randomized controlled trial. *J Glaucoma*. 2021; 30(2): 115-123. doi: 10.1097/IJG.0000000000001697
39. Vera J, Redondo B, Perez-Castilla A, Koulieris GA, Jiménez R, Garcia-Ramos A. The intraocular pressure response to lower-body and upper-body isometric exercises is affected by the breathing pattern. *Eur J Sport Sci*. 2021; 21(6): 879-886. doi: 10.1080/17461391.2020.1790670
40. Vera J, Redondo B, Koulieris G, Torrejón A, Jiménez R, Garcia-Ramos A. Intraocular pressure responses to four different isometric exercises in men and women. *Optom Vis Sci*. 2020; 97(8): 648-653. doi: 10.1097/OPX.0000000000001545
41. Nowak M, Gajda R, Drygas W, Rębowska E, Dzikowska-Zaborszczyk E, Kwaśniewska M. Effect of repeated endurance exercise on intraocular pressure in healthy subjects: A prospective pilot study based on a 500-km swim relay. *Klinika Oczna/Acta Ophthalmologica Polonica*. 2020; 122(2): 54-59. doi: 10.5114/ko.2020.96557
42. Jiménez R, Molina R, García JA, Redondo B, Vera J. Wearing swimming goggles reduces central corneal thickness and anterior chamber angle, and increases intraocular pressure. *Curr Eye Res*. 2020; 45(5): 535-541. doi: 10.1080/02713683.2019.1662056
43. Paula AP, Paula JS, Silva MJ, Rocha EM, De Moraes CG, Rodrigues ML. Effects of swimming goggles wearing on intraocular pressure, ocular perfusion pressure, and ocular pulse amplitude. *J Glaucoma*. 2016; 25(10): 860-864. doi: 10.1097/IJG.0000000000000482
44. Janicijevic D, Redondo B, Jiménez R, Lacorzana J, García-Ramos A, Vera J. Intraocular pressure responses to walking with surgical and FFP2/N95 face masks in primary open-angle glaucoma patients. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2021; 259(8): 2373-2378. doi: 10.1007/s00417-021-05159-3
45. Bozkurt B, Okudan N, Belviranlı M, Oflaz AB. The evaluation of intraocular pressure fluctuation in glaucoma subjects during submaximal exercise using an ocular telemetry sensor. *Indian J Ophthalmol*. 2019; 67(1): 89-94. doi: 10.4103/ijo.IJO_585_18
46. Pournaras CJ, Riva CE, Bresson-Dumont H, De Gottrau P, Bechetoille A. Regulation of optic nerve head blood flow in normal tension glaucoma patients. *Eur J Ophthalmol*. 2004; 14(3): 226-235. doi: 10.1177/112067210401400307
47. Vera J, Jiménez R, Redondo B, García-Ramos A, Cárdenas D. Effect of a maximal treadmill test on intraocular pressure and ocular perfusion pressure: The mediating role of fitness level. *Eur J Ophthalmol*. 2020; 30(3): 506-512. doi: 10.1177/1120672119832840
48. Harris A, Gross J, Moore N, Do T, Huang A, Gama W, et al. The effects of antioxidants on ocular blood flow in patients with glaucoma. *Acta Ophthalmol*. 2018; 96(2): e237-e241. doi: 10.1111/aos.13530
49. Thirupathi A, de Souza CT. Multiregulatory network of ROS: the interconnection of ROS, PGC-1 alpha, and AMPK-SIRT1 during exercise. *J Physiol Biochem*. 2017; 73(4): 487-494. doi: 10.1007/s13105-017-0576-y
50. Insa-Sánchez G, Fuentes-Broto L, Cobos A, Orduña Hospital E, Segura F, Sanchez-Cano A, et al. Choroidal thickness and volume modifications induced by aerobic exercise in healthy young adults. *Ophthalmic Res*. 2021; 64(4): 604-612. doi: 10.1159/000511201
51. Yip JL, Broadway DC, Luben R, Garway-Heath DF, Hayat S, Dalzell N, et al. Physical activity and ocular perfusion pressure: The EPIC-Norfolk eye study. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2011; 52(11): 8186-8192. doi: 10.1167/iovs.11-8267
52. Portmann N, Gugleta K, Kochkorov A, Polunina A, Flammer J, Orgul S. Choroidal blood flow response to isometric exercise in glaucoma patients and patients with ocular hypertension. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2011; 52(10): 7068-7073. doi: 10.1167/iovs.11-7758
53. Bata AM, Fondi K, Witkowska KJ, Werkmeister RM, Hommer A, Vass C, et al. Optic nerve head blood flow regulation during changes in arterial blood pressure in patients with primary open-angle glaucoma. *Acta Ophthalmol*. 2019; 97(1): e36-e41. doi: 10.1111/aos.13850
54. Gracitelli CPB, de Faria NVL, Almeida I, Dias DT, Vieira JM, Dorairaj S, et al. Exercise-induced changes in ocular blood flow parameters in primary open-angle glaucoma patients. *Ophthalmic Res*. 2020; 63(3): 309-313. doi: 10.1159/000501694
55. Tribble JR, Hui F, Jøe M, Bell K, Chrysostomou V, Crowston JG, et al. Targeting diet and exercise for neuroprotection and neurorecovery in glaucoma. *Cells*. 2021; 10(2): 295. doi: 10.3390/cells10020295
56. Chrysostomou V, Galic S, van Wijngaarden P, Trounce IA, Steinberg GR, Crowston JG. Exercise reverses age-related vulnerability of the retina to injury by preventing complement-mediated synapse elimination via a BDNF-dependent pathway. *Aging Cell*. 2016; 15(6): 1082-1091. doi: 10.1111/accel.12512
57. Chrysostomou V, Kezic JM, Trounce IA, Crowston JG. Forced exercise protects the aged optic nerve against intraocular pressure injury. *Neurobiol Aging*. 2014; 35(7): 1722-1725. doi: 10.1016/j.neurobiolaging.2014.01.019
58. Feng L, Chen H, Yi J, Troy JB, Zhang HF, Liu X. Long-term protection of retinal ganglion cells and visual function by brain-derived neurotrophic factor in mice with ocular hypertension. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2016; 57(8): 3793-3802. doi: 10.1167/iovs.16-19825
59. Boia R, Ruzafa N, Aires ID, Pereiro X, Ambrósio AF, Vecino E, et al. Neuroprotective strategies for retinal ganglion cell degeneration: Current status and challenges ahead. *Int J Mol Sci*. 2020; 21(7): 2262. doi: 10.3390/ijms21072262
60. Kim CS, Park S, Chun Y, Song W, Kim HJ, Kim J. Treadmill exercise attenuates retinal oxidative stress in naturally-aged mice: An immunohistochemical study. *Int J Mol Sci*. 2015; 16(9): 21008-21020. doi: 10.3390/ijms160921008
61. Bernardo TC, Marques-Aleixo I, Beleza J, Oliveira PJ, Ascensão A, Magalhães J. Physical exercise and brain mitochondrial fitness: The possible role against Alzheimer's disease. *Brain Pathol*. 2016; 26(5): 648-663. doi: 10.1111/bpa.12403

62. Chen YY, Lai YJ, Yen YF, Shen YC, Wang CY, Liang CY, et al. Association between normal tension glaucoma and the risk of Alzheimer's disease: A nationwide population-based cohort study in Taiwan. *BMJ Open*. 2018; 8(11): e022987. doi: 10.1136/bmjopen-2018-022987 68
63. Прокопенко С.В., Баранкин Б.В., Марьяна Н.М., Можайко Е.Ю., Зубрицкая Е.М., Чанчикова Н.Г., и др. Диагностика болезни Альцгеймера с использованием ПЭТ/КТ: Клиническое наблюдение. *Сибирское медицинское обозрение*. 2018; 114(6): 67-73. doi: 10.20333/2500136-2018-6-67-73
64. Коберская Н.Н. Роль митохондриальной дисфункции при болезни Альцгеймера. *Медицинский совет*. 2019; 12: 34-40. doi: 10.21518/2079-701X-2019-12-34-40
65. Lin SC, Wang SY, Pasquale LR, Singh K, Lin SC. The relation between exercise and glaucoma in a South Korean population-based sample. *PLoS One*. 2017; 12(2): e0171441. doi: 10.1371/journal.pone.0171441
66. Fujiwara K, Yasuda M, Hata J, Yoshida D, Kishimoto H, Hashimoto S, et al. Long-term regular exercise and intraocular pressure: The Hisayama study. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2019; 257(11): 2461-2469. doi: 10.1007/s00417-019-04441-9
67. Barton K, Gazzard G, Jayaram H. Sharing best practice and landmark evidence in glaucoma care. *Eye News*. 2019; 26(2). URL: <https://www.eyenews.uk.com/features/ophthalmology/post/sharing-best-practice-and-landmark-evidence-in-glaucoma-care> [date of access: 18.05.2021].
68. Olszewska H, Kosny J, Jurowski P, Jegier A. Physical activity of patients with a primary open angle glaucoma. *Int J Ophthalmol*. 2020; 13(7): 1102-1108. doi: 10.18240/ijo.2020.07.14
69. Meier NF, Lee DC, Sui X, Blair SN. Physical activity, cardiorespiratory fitness, and incident glaucoma. *Med Sci Sports Exerc*. 2018; 50(11): 2253-2258. doi: 10.1249/MSS.0000000000001692
70. Tseng VL, Yu F, Coleman AL. Association between exercise intensity and glaucoma in the National Health and Nutrition Examination Survey. *Ophthalmol Glaucoma*. 2020; 3(5): 393-402. doi: 10.1016/j.ogla.2020.06.001
71. Kawakami R, Gando Y, Kato K, Sawada SS, Momma H, Miyachi M, et al. Prospective cohort study of muscular and performance fitness and incident glaucoma: The Niigata Wellness Study. *J Phys Act Health*. 2020; 17(11): 1171-1178. doi: 10.1123/jpah.2019-0660
72. Pan X, Xu K, Wang X, Chen G, Cheng H, Liu AJ, et al. Evening exercise is associated with lower odds of visual field progression in Chinese patients with primary open angle glaucoma. *Eye Vis (Lond)*. 2020; 7: 12. doi: 10.1186/s40662-020-0175-9
73. Yokota S, Takihara Y, Kimura K, Takamura Y, Inatani M. The relationship between self-reported habitual exercise and visual field defect progression: A retrospective cohort study. *BMC Ophthalmol*. 2016; 16(1): 147. doi: 10.1186/s12886-016-0326-x
74. Lee MJ, Wang J, Friedman DS, Boland MV, De Moraes CG, Ramulu PY. Greater physical activity is associated with slower visual field loss in glaucoma. *Ophthalmology*. 2019; 126(7): 958-964. doi: 10.1016/j.ophtha.2018.10.012
75. Lam DSC, Tham CCY, Ritch R. Normal pressure glaucoma: The challenge in Asia and the scientific contributions from Asia. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)*. 2019; 8(6): 419-421. doi: 10.1097/OJ.APO.0000605104.33282.14.9
76. Moreno-Montañés J, Antón-López A, Duch-Tuesta S, Corsino Fernández-Vila P, García-Feijó J, Millá-Griñó E, et al. Lifestyles guide and glaucoma (i). Sports and activities. *Arch Soc Esp Ophthalmol (Engl Ed)*. 2018; 93(2): 69-75. doi: 10.1016/j.oftal.2017.09.005
77. Waibel S, Thomaschewski G, Herber R, Pillunat LE, Pillunat KR. Comparison of different nutritional and lifestyle factors between glaucoma patients and an age-matched normal population. *Klin Monbl Augenheilkd*. 2021 Apr 14. doi: 10.1055/a-1396-4749
78. Wang YX, Wei WB, Xu L, Jonas JB. Physical activity and eye diseases. The Beijing Eye Study. *Acta Ophthalmol*. 2019; 97(3): 325-331. doi: 10.1111/aos.13962
79. Дубинина Л.Н., Гололобов В.Т., Козина Е.В., Ланин С.Н. Влияние дозированных физических нагрузок на течение диабетической ретинопатии у больных сахарным диабетом II типа. *Acta biomedica scientifica*. 2011; 82(6): 25-28.
80. Ong SR, Crowston JG, Loprini PD, Ramulu PY. Physical activity, visual impairment, and eye disease. *Eye (Lond)*. 2018; 32(8): 1296-1303. doi: 10.1038/s41433-018-0081-8

REFERENCES

- Egorov EA, Alekseev VN. *Pathogenesis and treatment of primary open-angle glaucoma*. Moscow: GEOTAR-Media; 2017. (In Russ.).
- Nesterov AP. *Glaucoma*. Moscow: MIA; 2008. (In Russ.).
- Caprioli J, Coleman AL. Blood flow in glaucoma discussion. Blood pressure, perfusion pressure and glaucoma. *Am J Ophthalmol*. 2010; 149(5): 704-712. doi: 10.1016/j.ajo.2010.01.018
- Cherecheanu AP, Garhofer G, Schmidl D, Werkmeister R, Schmetterer L. Ocular perfusion pressure and ocular blood flow in glaucoma. *Curr Opin Pharmacol*. 2013; 13(1): 36-42. doi: 10.1016/j.coph.2012.09.003
- McMonnies CW. Intraocular pressure and glaucoma: Is physical exercise beneficial or a risk? *J Optom*. 2016; 9(3): 139-147. doi: 10.1016/j.optom.2015.12.001
- Perez CI, Singh K, Lin S. Relationship of lifestyle, exercise, and nutrition with glaucoma. *Curr Opin Ophthalmol*. 2019; 30(2): 82-88. doi: 10.1097/ICU.0000000000000553
- Risner D, Ehrlich R, Kheradiya NS, Siesky B, McCranor L, Harris A. Effects of exercise on intraocular pressure and ocular blood flow: A review. *J Glaucoma*. 2009; 18(6): 429-436. doi: 10.1097/IJG.0b013e31818fa5f3
- Avunduk AM, Yilmaz B, Sahin N, Kapicioglu Z, Dayanir V. The comparison of intraocular pressure reductions after isometric and isokinetic exercises in normal individuals. *Ophthalmologica*. 1999; 213(5): 290-294. doi: 10.1159/000027441
- Ezhnilina S, Brinda S, Meena A, Samuel PJ. Effect of isometric handgrip exercise on intraocular pressure among healthy adult males. *Comp Exerc Physiol*. 2021; 17(2): 137-141. doi: 10.3920/CEP200048
- Zhu MM, Lai JSM, Choy BNK, Shum JWH, Lo ACY, Ng ALK, et al. Physical exercise and glaucoma: a review on the roles of physical exercise on intraocular pressure control, ocular blood flow regulation, neuroprotection and glaucoma-related mental health. *Acta Ophthalmol*. 2018; 96(6): e676-e691. doi: 10.1111/aos.13661
- Chromiak JA, Abadie BR, Braswell RA, Koh YS, Chilek DR. Resistance training exercises acutely reduce intraocular pressure in physically active men and women. *J Strength Cond Res*. 2003; 17(4): 715-720. doi: 10.1519/1533-4287(2003)017<0715:rteari>2.0.co;2

12. Brody S, Erb C, Veit R, Rau H. Intraocular pressure changes: The influence of psychological stress and the Valsalva maneuver. *Biol Psychol.* 1999; 51(1): 43-57. doi: 10.1016/s0301-0511(99)00012-5
13. Dickerman RD, Smith GH, Langham-Roof L, McConathy WJ, East JW, Smith AB. Intraocular pressure changes during maximal isometric contraction: Does this reflect intra-cranial pressure or retinal venous pressure? *Neurol Res.* 1999; 21(3): 243-246. doi: 10.1080/01616412.1999.11740925
14. Vera J, Jiménez R, Redondo B, Cárdenas D, García-Ramos A. Fitness level modulates intraocular pressure responses to strength exercises. *Curr Eye Res.* 2018; 43(6): 740-746. doi: 10.1080/02713683.2018.1431289
15. Bulson R, Henry S, Houser R, Tang C. Effect of aerobic exercise of three different intensities on intraocular pressure. *Optom Vis Perf.* 2020; 8(1): 7-14.
16. Qureshi IA. The effects of mild, moderate, and severe exercise on intraocular pressure in glaucoma patients. *Jpn J Physiol.* 1995; 45(4): 561-569. doi: 10.2170/jjphysiol.45.561.16
17. Yang Y, Li Z, Wang N, Wu L, Zhen Y, Wang T, et al. Intraocular pressure fluctuation in patients with primary open-angle glaucoma combined with high myopia. *J Glaucoma.* 2014; 23(1): 19-22. doi: 10.1097/IJG.0b013e31825afc9d
18. Hong J, Zhang H, Kuo DS, Wang H, Huo Y, Yang D, et al. The short-term effects of exercise on intraocular pressure, choroidal thickness and axial length. *PLoS One.* 2014; 9(8): e104294. doi: 10.1371/journal.pone.0104294
19. Kozobolis VP, Detorakis ET, Konstas AG, Acharopoulos AK, Diamandides ED. Retrobulbar blood flow and ophthalmic perfusion in maximum dynamic exercise. *Clin Exp Ophthalmol.* 2008; 36(2): 123-129. doi: 10.1111/j.1442-9071.2007.01646.x
20. Era P, Pärssinen O, Kallinen M, Suominen H. Effect of bicycle ergometer test on intraocular pressure in elderly athletes and controls. *Acta Ophthalmol (Copenh).* 1993; 71(3): 301-307. doi: 10.1111/j.1755-3768.1993.tb01739.x
21. Vera J, Garcia-Ramos A, Redondo B, Cárdenas D, De Moraes CG, Jiménez R. Effect of a short-term cycle ergometer sprint training against heavy and light resistances on intraocular pressure responses. *J Glaucoma.* 2018; 27(4): 315-321. doi: 10.1097/IJG.0000000000000893
22. Qureshi IA. Effects of exercise on intraocular pressure in physically fit subjects. *Clin Exp Pharmacol Physiol.* 1996; 23(8): 648-652. doi: 10.1111/j.1440-1681.1996.tb01751.x
23. Qureshi IA, Xi XR, Huang YB, Wu XD. Magnitude of decrease in intraocular pressure depends upon intensity of exercise. *Korean J Ophthalmol.* 1996; 10(2): 109-115. doi: 10.3341/kjo.1996.10.2.109
24. Umoh IC, Olawoye OO, Baiyeroju AM. Changes in intraocular pressure after exercise in newly diagnosed glaucoma patients and normal subjects – A pilot study. *Afr J Biomed Res.* 2020; 23(SE1): 43-46.
25. Natsis K, Asouhidou I, Nousios G, Chatzibalas T, Vlasis K, Karabatakis V. Aerobic exercise and intraocular pressure in normotensive and glaucoma patients. *BMC Ophthalmol.* 2009; 9: 6. doi: 10.1186/1471-2415-9-6
26. Agrawal A. A prospective study to compare safety and efficacy of various anti-glaucoma agents and evaluate the effect of aerobic exercise on intra-ocular pressure in newly diagnosed primary open angle glaucoma patients in a tertiary care hospital. *Value Health J Int Soc Pharmacoeconomics Outcome Res.* 2015; 18(7): A415: doi: 10.1016/j.jval.2015.09.1003
27. Passo MS, Goldberg L, Elliot DL, Van Buskirk EM. Exercise training reduces intraocular pressure among subjects suspected of having glaucoma. *Arch Ophthalmol.* 1991; 109(8): 1096-1098. doi: 10.1001/archophth.1991.01080080056027
28. Hecht I, Achiron A, Man V, Burgansky-Eliash Z. Modifiable factors in the management of glaucoma: A systematic review of current evidence. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2017; 255(4): 789-796. doi: 10.1007/s00417-016-3518-4
29. Vera J, Jiménez R, García-Ramos A, Cárdenas D. Muscular strength is associated with higher intraocular pressure in physically active males. *Optom Vis Sci.* 2018; 95(2): 143-149. doi: 10.1097/OPX.0000000000001169
30. Zizi M. Resisted exercises for modulation of intraocular pressure in patients with primary open-angle glaucoma: A randomized clinical trial. *J Clin Anal Med.* 2019; 10(2): 225-229. doi: 10.4328/JCAM.6061
31. Martin B, Harris A, Hammel T, Malinovsky V. Mechanism of exercise induced ocular hypotension. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1999; 40(5): 1011-1015.
32. Esfahani MA, Gharipour M, Fesharakinia H. Changes in intraocular pressure after exercise test. *Oman J Ophthalmol.* 2017; 10(1): 17-20. doi: 10.4103/0974-620X.200689
33. Yuan Y, Lin TPH, Gao K, Zhou R, Radke NV, Lam DSC, et al. Aerobic exercise reduces intraocular pressure and expands Schlemm's canal dimensions in healthy and primary open-angle glaucoma eyes. *Indian J Ophthalmol.* 2021; 69(5): 1127-1134. doi: 10.4103/ijo.IJO_2858_20
34. Jasien JV, Jonas JB, de Moraes CG, Ritch R. Intraocular pressure rise in subjects with and without glaucoma during four common yoga positions. *PLoS One.* 2015; 10(12): e0144505. doi: 10.1371/journal.pone.0144505
35. Vera J, Garcia-Ramos A, Jiménez R, Cárdenas D. The acute effect of strength exercises at different intensities on intraocular pressure. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2017; 255(11): 2211-2217. doi: 10.1007/s00417-017-3735-5
36. Vera J, Jiménez R, Redondo B, Torrejón A, De Moraes CG, García-Ramos A. Effect of the level of effort during resistance training on intraocular pressure. *Eur J Sport Sci.* 2019; 19(3): 394-401. doi: 10.1080/17461391.2018.1505959
37. Flammer J. *Glaucoma: A guide for patients, an introduction for care-providers, a quick reference.* Bern: Hogrefe & Huber Publ.; 2006.
38. Udenia H, Mittal S, Agrawal A, Singh A, Singh A, Mittal SK. Yogic pranayama and diaphragmatic breathing: Adjunct therapy for intraocular pressure in patients with primary open-angle glaucoma: A randomized controlled trial. *J Glaucoma.* 2021; 30(2): 115-123. doi: 10.1097/IJG.0000000000001697
39. Vera J, Redondo B, Perez-Castilla A, Koulieris GA, Jiménez R, Garcia-Ramos A. The intraocular pressure response to lower-body and upper-body isometric exercises is affected by the breathing pattern. *Eur J Sport Sci.* 2021; 21(6): 879-886. doi: 10.1080/17461391.2020.1790670
40. Vera J, Redondo B, Koulieris G, Torrejón A, Jiménez R, Garcia-Ramos A. Intraocular pressure responses to four different isometric exercises in men and women. *Optom Vis Sci.* 2020; 97(8): 648-653. doi: 10.1097/OPX.0000000000001545
41. Nowak M, Gajda R, Drygas W, Rębowska E, Dzionkowska-Zaborszczyk E, Kwaśniewska M. Effect of repeated endurance exercise on intraocular pressure in healthy subjects: A prospec-

tive pilot study based on a 500-km swim relay. *Klinika Oczna/Acta Ophthalmologica Polonica*. 2020; 122(2): 54-59. doi: 10.5114/ko.2020.96557

42. Jiménez R, Molina R, García JA, Redondo B, Vera J. Wearing swimming goggles reduces central corneal thickness and anterior chamber angle, and increases intraocular pressure. *Curr Eye Res*. 2020; 45(5): 535-541. doi: 10.1080/02713683.2019.1662056

43. Paula AP, Paula JS, Silva MJ, Rocha EM, De Moraes CG, Rodrigues ML. Effects of swimming goggles wearing on intraocular pressure, ocular perfusion pressure, and ocular pulse amplitude. *J Glaucoma*. 2016; 25(10): 860-864. doi: 10.1097/IJG.0000000000000482

44. Janicijevic D, Redondo B, Jiménez R, Lacorzana J, García-Ramos A, Vera J. Intraocular pressure responses to walking with surgical and FFP2/N95 face masks in primary open-angle glaucoma patients. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2021; 259(8): 2373-2378. doi: 10.1007/s00417-021-05159-3

45. Bozkurt B, Okudan N, Belviranlı M, Oflaz AB. The evaluation of intraocular pressure fluctuation in glaucoma subjects during submaximal exercise using an ocular telemetry sensor. *Indian J Ophthalmol*. 2019; 67(1): 89-94. doi: 10.4103/ijo.IJO_585_18

46. Pournaras CJ, Riva CE, Bresson-Dumont H, De Gottrau P, Bechettoille A. Regulation of optic nerve head blood flow in normal tension glaucoma patients. *Eur J Ophthalmol*. 2004; 14(3): 226-235. doi: 10.1177/112067210401400307

47. Vera J, Jiménez R, Redondo B, García-Ramos A, Cárdenas D. Effect of a maximal treadmill test on intraocular pressure and ocular perfusion pressure: The mediating role of fitness level. *Eur J Ophthalmol*. 2020; 30(3): 506-512. doi: 10.1177/1120672119832840

48. Harris A, Gross J, Moore N, Do T, Huang A, Gama W, et al. The effects of antioxidants on ocular blood flow in patients with glaucoma. *Acta Ophthalmol*. 2018; 96(2): e237-e241. doi: 10.1111/aos.13530

49. Thirupathi A, de Souza CT. Multiregulatory network of ROS: the interconnection of ROS, PGC-1 alpha, and AMPK-SIRT1 during exercise. *J Physiol Biochem*. 2017; 73(4): 487-494. doi: 10.1007/s13105-017-0576-y

50. Insa-Sánchez G, Fuentes-Broto L, Cobos A, Orduna Hospital E, Segura F, Sanchez-Cano A, et al. Choroidal thickness and volume modifications induced by aerobic exercise in healthy young adults. *Ophthalmic Res*. 2021; 64(4): 604-612. doi: 10.1159/000511201

51. Yip JL, Broadway DC, Luben R, Garway-Heath DF, Hayat S, Dalzell N, et al. Physical activity and ocular perfusion pressure: The EPIC-Norfolk eye study. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2011; 52(11): 8186-8192. doi: 10.1167/iovs.11-8267

52. Portmann N, Gugleta K, Kochkorov A, Polunina A, Flammer J, Orgul S. Choroidal blood flow response to isometric exercise in glaucoma patients and patients with ocular hypertension. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2011; 52(10): 7068-7073. doi: 10.1167/iovs.11-7758

53. Bata AM, Fondi K, Witkowska KJ, Werkmeister RM, Hommer A, Vass C, et al. Optic nerve head blood flow regulation during changes in arterial blood pressure in patients with primary open-angle glaucoma. *Acta Ophthalmol*. 2019; 97(1): e36-e41. doi: 10.1111/aos.13850

54. Gracitelli CPB, de Faria NVL, Almeida I, Dias DT, Vieira JM, Dorairaj S, et al. Exercise-induced changes in ocular blood flow parameters in primary open-angle glaucoma patients. *Ophthalmic Res*. 2020; 63(3): 309-313. doi: 10.1159/000501694

55. Tribble JR, Hui F, Jöe M, Bell K, Chrysostomou V, Crowston JG, et al. Targeting diet and exercise for neuroprotection and neurorecovery in glaucoma. *Cells*. 2021; 10(2): 295. doi: 10.3390/cells10020295

56. Chrysostomou V, Galic S, van Wijngaarden P, Trounce IA, Steinberg GR, Crowston JG. Exercise reverses age-related vulnerability of the retina to injury by preventing complement-mediated synapse elimination via a BDNF-dependent pathway. *Aging Cell*. 2016; 15(6): 1082-1091. doi: 10.1111/accel.12512

57. Chrysostomou V, Kezic JM, Trounce IA, Crowston JG. Forced exercise protects the aged optic nerve against intraocular pressure injury. *Neurobiol Aging*. 2014; 35(7): 1722-1725. doi: 10.1016/j.neurobiolaging.2014.01.019

58. Feng L, Chen H, Yi J, Troy JB, Zhang HF, Liu X. Long-term protection of retinal ganglion cells and visual function by brain-derived neurotrophic factor in mice with ocular hypertension. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2016; 57(8): 3793-3802. doi: 10.1167/iovs.16-19825

59. Boia R, Ruzafa N, Aires ID, Pereiro X, Ambrósio AF, Vecino E, et al. Neuroprotective strategies for retinal ganglion cell degeneration: Current status and challenges ahead. *Int J Mol Sci*. 2020; 21(7): 2262. doi: 10.3390/ijms21072262

60. Kim CS, Park S, Chun Y, Song W, Kim HJ, Kim J. Treadmill exercise attenuates retinal oxidative stress in naturally-aged mice: An immunohistochemical study. *Int J Mol Sci*. 2015; 16(9): 21008-21020. doi: 10.3390/ijms160921008

61. Bernardo TC, Marques-Aleixo I, Beleza J, Oliveira PJ, Ascensão A, Magalhães J. Physical exercise and brain mitochondrial fitness: The possible role against Alzheimer's disease. *Brain Pathol*. 2016; 26(5): 648-663. doi: 10.1111/bpa.12403

62. Chen YY, Lai YJ, Yen YF, Shen YC, Wang CY, Liang CY, et al. Association between normal tension glaucoma and the risk of Alzheimer's disease: A nationwide population-based cohort study in Taiwan. *BMJ Open*. 2018; 8(11): e022987. doi: 10.1136/bmjopen-2018-022987

63. Prokopenko SV, Barankin BV, Mar'ina NM, Mozheiko EYu, Zubritskaya EM, Chanchikova NG, et al. Diagnostics of Alzheimer's disease using PET/CT: Clinical survey. *Siberian Medical Review*. 2018; 114(6): 67-73. (In Russ.). doi: 10.20333/2500136-2018-6-67-73

64. Koberskaya NN. The role of mitochondrial dysfunction in Alzheimer's disease. *Meditinskiy sovet = Medical Council*. 2019; 12: 34-40. (In Russ.). doi: 10.21518/2079-701X-2019-12-34-40

65. Lin SC, Wang SY, Pasquale LR, Singh K, Lin SC. The relation between exercise and glaucoma in a South Korean population-based sample. *PLoS One*. 2017; 12(2): e0171441. doi: 10.1371/journal.pone.0171441

66. Fujiwara K, Yasuda M, Hata J, Yoshida D, Kishimoto H, Hashimoto S, et al. Long-term regular exercise and intraocular pressure: The Hisayama study. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2019; 257(11): 2461-2469. doi: 10.1007/s00417-019-04441-9

67. Barton K, Gazzard G, Jayaram H. Sharing best practice and landmark evidence in glaucoma care. *Eye News*. 2019; 26(2). URL: <https://www.eyenews.uk.com/features/ophthalmology/post/sharing-best-practice-and-landmark-evidence-in-glaucoma-care> [date of access: 18.05.2021].

68. Olszewska H, Kosny J, Jurowski P, Jegier A. Physical activity of patients with a primary open angle glaucoma. *Int J Ophthalmol*. 2020; 13(7): 1102-1108. doi: 10.18240/ijo.2020.07.14

69. Meier NF, Lee DC, Sui X, Blair SN. Physical activity, cardiorespiratory fitness, and incident glaucoma. *Med Sci Sports Exerc*. 2018; 50(11): 2253-2258. doi: 10.1249/MSS.0000000000001692

