

## ГРАВИТАЦИОННЫЕ ВЛИЯНИЯ НА СИСТЕМУ ЦИРКУЛЯЦИИ ВНУТРИГЛАЗНОЙ ЖИДКОСТИ: ОТ ТЕОРИИ К ПРАКТИКЕ

*Лесников М.А., Самодуров А.С., Зюков А.Д., Клоков А.А., Дилениан Л.Р.*

Приволжский исследовательский медицинский университет (ПИМУ)

Россия, 603950, Нижегородская область, г. Нижний Новгород, пл. Минина и  
Пожарского, д. 10/1, БОКС-470, Российская Федерация

Цель – оценить влияние гравитационного фактора на результаты исследования внутриглазного давления в разных положениях тела.

Материалы и методы. Анализ отечественной и зарубежной научной литературы из источников открытых библиотек PUBMED и ELIBRARY.RU.

Результаты. Доказано влияние гравитационного фактора на систему циркуляции водянистой влаги и величину внутриглазного давления. Для диагностики глаукомы используется ортоклиностатическая проба. Диагностически значимым при определении величины внутриглазного давления является колебание его величины, которое составляет 5 мм. рт. ст. и выше при переходе из горизонтального положения тела в вертикальное. Возможны изменения в системе циркуляции внутриглазной жидкости при создании перегрузок и искусственной невесомости. В условиях гипогравитации наблюдается повышение внутриглазного давления, в условиях гипергравитации (направление «голова-таз») – уменьшение. В условиях невесомости у человека возможно формирование космического нейроокулярного синдрома (SPACEFLIGHT ASSOCIATED NEURO-OCULAR SYNDROME). Для его профилактики перспективно использование костюмов «Чибис-М» и колец «Браслет-М», которые препятствуют нарушению циркуляции водянистой влаги.

Заключение. Перспективными направлениями в офтальмологии являются ранняя диагностика и профилактика глаукомы. Следует понимать, что внутриглазное давление зависит от положения тела пациента и способа его измерения. Целесообразно создание таблиц с референсными значениями для каждого положения тела для определения пограничных состояний между нормой и патологией. Изучение SPACEFLIGHT ASSOCIATED NEURO-OCULAR SYNDROME имеет важное значение, поскольку снижение зрительных функций у космонавтов недопустимо. Понимание гемодинамических процессов, происходящих в условиях невесомости поможет созданию нового оборудования и программ сохранения зрения.

Ключевые слова: внутриглазное давление, положение тела, глаукома.

Лесников Максим Александрович – студент 5 курса лечебного факультета, ПИМУ, г. Нижний Новгород. ORCID ID: 0000-0002-1495-3174. E-MAIL: LESNIKOVMO1@MAIL.RU (автор, ответственный за переписку).

Самодуров Александр Сергеевич – студент 5 курса лечебного факультета, ПИМУ, г. Нижний Новгород. ORCID ID: 0000-0001-5227-2989. E-MAIL: ALEKSANDRSAMODUROV27@MAIL.RU.

Зюков Александр Дмитриевич – студент 5 курса лечебного факультета, ПИМУ, г. Нижний Новгород. E-MAIL: ALEKSZYUKOV@GMAIL.COM.

Клоков Андрей Александрович – студент 5 курса лечебного факультета, ПИМУ, г. Нижний Новгород. E-MAIL: ANDREJ.KLOKOV@VK.RU.

Дилениан Левон Робертович – к.м.н, доцент кафедры патологической физиологии ПИМУ, г. Нижний Новгород. ORCID ID: 0000-0001-7214-0959. E-MAIL: LEVON-NN@YANDEX.RU.

## GRAVITATIONAL EFFECTS ON THE INTRAOCULAR CIRCULATION: FROM THEORY TO PRACTICE

*LESNIKOV M.A., SAMODUROV A.S., ZYUKOV A.D., KLOKOV A.A., DILENYAN L.R.*

PRIVOLZHISKY RESEARCH MEDICAL UNIVERSITY (PRMU)

603950, 10/1, BOX-470, MININ AND POZHARSKY SQ., NIZHNY NOVGOROD, RUSSIAN FEDERATION

---

OBJECTIVE: TO EVALUATE THE INFLUENCE OF THE GRAVITATIONAL FACTOR ON THE RESULTS OF THE STUDY OF INTRAOCULAR PRESSURE IN DIFFERENT BODY POSITIONS.

MATERIALS AND METHODS. ANALYSIS OF DOMESTIC AND FOREIGN SCIENTIFIC LITERATURE FROM PUBMED SOURCES AND ELIBRARY.RU.

RESULTS. THE INFLUENCE OF THE GRAVITATIONAL FACTOR ON THE CIRCULATION SYSTEM OF WATERY MOISTURE AND THE VALUE OF INTRAOCULAR PRESSURE HAS BEEN PROVED. AN ORTHOCLINOSTATIC TEST IS USED TO DIAGNOSE GLAUCOMA. A DIAGNOSTICALLY SIGNIFICANT FLUCTUATION IN THE VALUE OF INTRAOCULAR PRESSURE IS 5 MMHG AND HIGHER DURING THE TRANSITION FROM A HORIZONTAL POSITION TO A VERTICAL ONE. CHANGES IN THE CIRCULATION SYSTEM OF INTRAOCULAR FLUID DURING THE CREATION OF OVERLOADS AND ARTIFICIAL WEIGHTLESSNESS ARE SHOWN. IN CONDITIONS OF HYPOGRAVITY, THERE IS AN INCREASE IN INTRAOCULAR PRESSURE, IN CONDITIONS OF HYPERGRAVITY (THE HEAD-PELVIS DIRECTION) – A DECREASE. IN CONDITIONS OF WEIGHTLESSNESS, IT IS POSSIBLE FOR A PERSON TO FORM A SPACEFLIGHT ASSOCIATED NEURO-OCULAR SYNDROME. FOR ITS PREVENTION, THE USE OF "CHIBIS-M" SUITS AND "BRACELET-M" RINGS, WHICH PREVENT DISRUPTION OF THE CIRCULATION OF WATERY MOISTURE, IS PROMISING.

CONCLUSION. PROMISING AREAS IN OPHTHALMOLOGY ARE EARLY DIAGNOSIS AND PREVENTION OF GLAUCOMA. IT SHOULD BE UNDERSTOOD THAT INTRAOCULAR PRESSURE DEPENDS ON THE POSITION OF THE PATIENT'S BODY AND THE WAY IT IS MEASURED. THE STUDY OF SPACEFLIGHT ASSOCIATED NEURO-OCULAR SYNDROME IS IMPORTANT BECAUSE A DECREASE IN VISUAL FUNCTIONS IN ASTRONAUTS IS UNACCEPTABLE. UNDERSTANDING THE HEMODYNAMIC PROCESSES OCCURRING IN ZERO GRAVITY WILL HELP CREATE NEW EQUIPMENT AND VISION PRESERVATION PROGRAMS.

KEYWORDS: INTRAOCULAR PRESSURE, BODY POSITION, GLAUCOMA.

---

LESNIKOV MAXIM A. – 5 YEAR STUDENT OF THE FACULTY OF MEDICINE, PRMU, NIZHNY NOVGOROD, RUSSIAN FEDERATION. ORCID ID: 0000-0002-1495-3174. E-MAIL: LESNIKOV M01@MAIL.RU (THE AUTHOR RESPONSIBLE FOR THE CORRESPONDENCE).

SAMODUROV ALEXANDER S. – 5 YEAR STUDENT OF THE FACULTY OF MEDICINE, PRMU, NIZHNY NOVGOROD, RUSSIAN FEDERATION. ORCID ID: 0000-0001-5227-2989. E-MAIL: ALEKSANDRSAMODUROV27@MAIL.RU.

ZYUKOV ALEXANDER D. – 5 YEAR STUDENT OF THE FACULTY OF MEDICINE, PRMU, NIZHNY NOVGOROD, RUSSIAN FEDERATION. E-MAIL: ALEKSZYUKOV@GMAIL.COM.

KLOKOV ANDREY A. – 5 YEAR STUDENT OF THE FACULTY OF MEDICINE, PRMU, NIZHNY NOVGOROD, RUSSIAN FEDERATION. E-MAIL: ANDREJ.KLOKOV@BK.RU.

DILENYAN LEVON R. – CANDIDATE OF SCIENCES IN MEDICINE, ASSOCIATE PROFESSOR OF THE DEPARTMENT OF PATHOLOGICAL PHYSIOLOGY, PRMU, NIZHNY NOVGOROD, RUSSIAN FEDERATION. ORCID ID 0000-0001-7214-0959. E-MAIL: LEVON-NN@YANDEX.RU.

---

## АКТУАЛЬНОСТЬ

Многочисленные и многогранные процессы, протекающие в окружающем нас мире, возможны благодаря четырем фундаментальным типам взаимодействия: гравитационному, слабому, электромагнитному и сильному. И любая система, насколько бы сложно она не была устроена, не является исключением. Человек две трети своей жизни проводит в положении стоя и одну треть лежа, а это значит, что гравитационный фактор неодинаково воздействует на весь организм. Есть данные, что диагностические показатели претерпевают значительные изменения в зависимости от положения тела, в том числе при исследовании сердечно-сосудистой, опорно-двигательной, респираторной систем, а также такого анализатора, как глаз [6].

Внутриглазное давление — это важный показатель, представляющий собой давление водянистой влаги внутри глаза. Благодаря ему становится возможным поддержание формы глаза, обеспечение трофики, а также реализация функции зрительного анализатора.

Величина внутриглазного давления зависит от следующих показателей: величины скорости синтеза и оттока внутриглазной жидкости, а также эписклерального венозного давления [16, 20-22].

Синтез водянистой влаги осуществляется цилиарным эпителием и включает в себя процессы ультрафильтрации и активной секреции. Поскольку первый является пассивным, то он протекает вследствие градиента гидростатического давления в капиллярах ресничного тела и в задней камере глаза. В том случае, когда внутриглазное давление становится равным давлению в капиллярах (около 8-12 мм. рт. ст.) — ультрафильтрация прекращается. Кроме того, на данный процесс оказывает влияние и онкотическое давление белков плазмы крови [7]. Следующий процесс является активным и протекает при участии  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  и  $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$  транспортеров, с затратой молекул АТФ. При их работе создается осмотический градиент,

по которому следует жидкость [7, 14].

Большая часть оттока внутриглазной жидкости приходится на трабекулярную сеть и Шлеммов канал.

Трабекулярная сеть в свою очередь подразделяется на увеальную, корнеосклеральную и юкстаканаликулярную части. Увеальная и корнеосклеральная части представляют собой сеть, состоящую из волокон коллагена и эластина, покрытых базальной мембраной, и эндотелиоцитов. Через нее происходит отток внутриглазной жидкости. Отличие юкстаканаликулярной области состоит в наличии фибробластоподобных клеток и меньшим, по сравнению с предыдущими областями, оттоком внутриглазной жидкости.

Отток внутриглазной жидкости через Шлеммов канал происходит через особые поры. Они образуются при деформации мембраны эндотелиоцитов под влиянием давления внутриглазной жидкости. Далее внутриглазная жидкость следует в эписклеральные вены, а затем - в системный кровоток [2, 9, 15].

В научной литературе имеются данные об изменении величины внутриглазного давления при изменении положения тела под влиянием гравитационного фактора.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Был проведен анализ отечественной и зарубежной литературы, где рассматривались вопросы организации системы циркуляции внутриглазной жидкости и влияний гравитационного фактора на неё, а также патогенез и профилактика космического нейроокулярного синдрома в условиях невесомости.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе исследований установлено, что при смене положения тела «сидя – лежа на спине» происходит увеличение внутриглазного давления в среднем на 4 мм рт. ст. [1]. Один из механизмов регуляции притока крови при переходе в горизонтальное положение – это тонус увеальных сосудов. Его снижение наблюдают у пациентов, страдающих глаукомой, в ре-

зультате чего происходит уменьшение оттока внутриглазной жидкости и еще более значительное повышение внутриглазного давления [3, 13, 18].

При переходе в положение стоя из первоначального – лежа на спине – наблюдается противоположная картина: внутриглазное давление понижается. Механизм данного явления также связан с перераспределением кровотока при смене положения тела и влиянием гравитационного фактора.

В норме колебания внутриглазного давления также не превышают 5 мм рт. ст. Однако их значение повышается при патологии. Этот принцип положен в основу ортоклиноостатической пробы, которая может использоваться для диагностики открытоугольной и закрытоугольной глаукомы, где патологическим считается прирост показателя на 5 мм рт. ст. и выше [3, 10, 18, 23].

Несомненный вклад гравитационного фактора в изменение величины внутриглазного давления доказывает факт его повышения в условиях гипогравитации. В 2016 году группой отечественных ученых на базе кафедры офтальмологии лечебного факультета им. академика А. П. Нестерова РНИМУ им. Н. И. Пирогова, в ГКБ № 15 им. О. М. Филатова при участии ФГБУ ФНКЦ ФМБА России в НИИ космической медицины проводилось исследование с моделированием условий гипогравитации. Испытуемым придавали положение лежа с наклоном головного конца в дневное время, и переход в горизонтальное положение ночью. В этих условиях происходило повышение величины внутриглазного давления на  $3,42 \pm 0,03$  мм рт. ст. Однако, как утверждают авторы, в течение суток после прекращения моделирования гипогравитации этот показатель нормализовался. Причина увеличения внутриглазного давления объясняется увеличением кровенаполнения сосудов головы и шеи и снижением скорости оттока водянистой влаги [5].

В исследовании Брындиной И. Г. и соавторов изучался механизм повышения внутриглазного давления в условиях гипогравитации. Ученые пришли к выводу, что основную роль играет измене-

ние гемодинамики: повышение гидростатического давления в эписклеральных венах, то есть на путях оттока водянистой влаги [4].

В другом исследовании, которое проводили Малюгин Б. Э. и соавторы в 2019 году, изучалось изменение внутриглазного давления в условиях искусственной гравитации, создаваемой центрифугой. При действии перегрузок направления «голова-таз», которые составляли 2,9G, происходило снижение внутриглазного давления на 1 мм рт. ст. Более того, отмечено снижение скорости продукции водянистой влаги на 0,67 мм<sup>3</sup>/мин. Механизм этого явления основан на перераспределении кровотока: с уменьшением кровенаполнения сосудов головы и шеи, в том числе и сосудов цилиарного тела, происходит снижение продукции водянистой влаги. Вследствие этого уменьшается и внутриглазное давление [11].

Однако, космонавты все же часто испытывают на себе патологическое влияние на глаз. Этот феномен получил название SANS (SPACEFLIGHT ASSOCIATED NEURO-OCULAR SYNDROME) или космический нейроокулярный синдром [12]. Его суть сводится к перераспределению крови и депонированию преимущественно в краниальном направлении, что приводит к застойным явлениям глазного дна, а также деформациям глазного яблока и сосудистой оболочки глаза [19].

В литературе имеются данные о способах нивелирования этих процессов. Один из них – костюм «Чибис-М». Его работа основана на создании отрицательного давления в нижней половине тела космонавта и увеличении притока крови, в результате чего величина внутриглазного давления снижается [8]. Эффективным оказалось использование колец «Браслет-М», работающих на подобии жгута: закрепляясь на бедре, они обеспечивают депонирование крови и снижение её объема в системе циркуляции, что также приводит к снижению выраженности SANS [17].

## ВЫВОДЫ

Действие гравитационного фактора не-

обходимо учитывать в офтальмологической диагностике, поскольку положение тела, в котором происходит измерение внутриглазного давления, существенно влияет на результат. Целесообразно создание таблиц с референсными значениями для каждого положения тела для определения пограничных состояний между нормой и патологией. Важное значение имеет изменение внутриглазного давления у космонавтов в условиях гипогравитации, что может быть сопряжено со снижением зрения как вовремя, так и после космического полета. Таким образом, всестороннее изучение проблемы влияния гравитации на величину внутриглазного давления открывает новые пути диагностики и выявления групп риска по заболеваниям органа зрения.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

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

#### ЛИЧНЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ

Лесников М.А. – автор идеи обзора, сбор материала, подготовка черновика, редактирование и дизайн окончательного варианта статьи;

Самодуров А.С. – автор идеи обзора, сбор материала, подготовка черновика, редактирование и дизайн окончательного варианта статьи;

Зюков А.Д. – сбор материала, подготовка черновика статьи;

Клоков А.А. – сбор материала, подготовка черновика статьи;

Дилениан Л.Р. – редактирование и дизайн окончательного варианта статьи.

#### ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Авторы заявляют об отсутствии финансирования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Алдашева Н.А., Жургумбаева Г.К., Абышева Л.Д., Мукажанова А.С. Сравнительный анализ показателей внутриглазного давления при различных видах тонометрии. *Новости глаукомы*. 2015;1(33):64.
2. Бородин Ю.И., Бгатова Н.П., Ноговицина С.Р., Трунов А.Н., Коненков В.И., Черных В. В. Лимфатическая система глаза. *Вестник Офтальмологии*. 2018;134(2):86-91.
3. Брежнев А.Ю., Баранов В.И., Куроедов А.В., Петров С.Ю., Антонов А.А. Суточный мониторинг внутриглазного давления: возможности и перспективы. *Национальный журнал глаукома*. 2018;17(3):77-85.
4. Брындина И.Г., Гиззатуллина Е.А., Шитова Н.Б., Прозоровский В.А. К вопросу о механизмах повышении внутриглазного давления в условиях гипогравитации. *Заметки ученого*. 2016;2:76-77.
5. Валях М.А., Кац Д.В., Глазко Н.Г., Баранов М.В. Гипогравитация как фактор риска повышения уровня внутриглазного давления. *Вестник Российского государственного медицинского университета*. 2019;3:54-57.
6. Белкания Г.С., Дилениан Л.Р., Рыжаков Д.И., Пухальская Л.Г. Диагностическая информативность гемодинамической идентификации циркуляторных синдромов сердечной недостаточности. *Патогенез*. 2017;15(3):84-92.
7. Ермолаев А.П., Новиков И.А., Мельникова Л.И. Влияние химического состава влаги передней камеры глаза и сыворотки крови на секрецию внутриглазной жидкости. *Вестник офтальмологии*. 2018;134(2):4-11. DOI: 10.17116/OFTALMA201813424-11.
8. Кувшинов Д.Ю. Космическая медицина и её направления в Кузбассе. *Через тернии к звездам: освоение космоса*. 2021:264-270.
9. Лебедев О.И., Столяров Г.М., Молчанова Е.В. Современные представления об увеосклеральном пути оттока внутриглазной жидкости. *РМЖ. Клиническая офтальмология*. 2010;11(4):116-118.
10. Макашова Н.В., Васильева А.Е. Биомеханические параметры фиброз-

- ной оболочки глаза на фоне проведения разгрузочных проб при первичной открытоугольной глаукоме. *Вестник офтальмологии*. 2017;133(4):31-36
11. Малюгин Б.Э., Колотева М.И., Поздеева Н.А., Морозова Т.А., Пикусова С.М., Сычева Д.В. Изучение функциональной адаптации зрительной системы в условиях экспериментальных режимов искусственной гравитации, создаваемой на центрифуге короткого радиуса. *Офтальмохирургия*. 2019;2:59-64.
  12. Манько О.М., Смолеевский А.Е. Риски поражения зрительной системы в длительном космическом полете. *Воздушно-космическая сфера*. 2021;2(107):34-41.
  13. Маркова А.А., Горбунова Н.Ю., Поздеева Н.А. Закрытоугольная глаукома с плоской радужкой. *Национальный журнал глаукома*. 2018;17(4):80-90.
  14. Науменко Л.В., Таран А.С., Соколова Е.В., Говорова Ю.А., Озеров А.А. Влияние производных хиназолина-блокаторов Na<sup>+</sup>/H<sup>+</sup> обменника на внутриглазное давление. *Бюллетень медицинской науки*. 2021;3(23):79-82. DOI: 10.31684/25418475\_2021\_3\_79.
  15. Панов А.А., Акопян В.С., Семенова Н.С. Патогенез увеличения внутриглазного давления при первичной открытоугольной глаукоме: обзор литературы. *THE EYE ГЛАЗ*. 2021;23(4):23-30. DOI: 10.33791/2222-4408-2021-4-23-30.
  16. Федотов А.А., Азима В.Ю. Развитие методов измерения внутриглазного давления. *Поликлиника*. 2015;6-1:58-59.
  17. Фомина Е. В., Сенаторова Н.А., Кириченко В.В., Вагнер И.В. МКС-платформа для разработки системы профилактики гипогравитационных нарушений в межпланетных миссиях. *Воздушно-космическая сфера*. 2020;4(105):8-17.
  18. Хдери Х. Диагностическая ценность нагрузочных и разгрузочных проб при закрытоугольной глаукоме (литературный обзор). *Национальный журнал глаукома*. 2019;18(3):61-66. DOI: 10.25700/NJC.2019.03.07.
  19. Щеглова Н.Е., Васильев С.С., Седунов В.В. Патофизиологические механизмы влияния невесомости на организм космонавтов (обзор литературы). *Тверской медицинский журнал*. 2022;1:1-7.
  20. ANDERSON A.P., SWAN J.G., PHILLIPS S.D., KNAUS D.A., KATTAMIS N.T., TOUTAIN-KIDD C.M., ZEGANS M.E., FELLOWS A.M., BUCKEY J.C. ACUTE EFFECTS OF CHANGES TO THE GRAVITATIONAL VECTOR ON THE EYE. *J APPL PHYSIOL* (1985). 2016;120(8):939-946. DOI:10.1152/JAPPLPHYSIOL.00730.2015.
  21. CAPRIOLI J., KIM J. INTRAOCULAR PRESSURE FLUCTUATION: IS IT IMPORTANT? *JOURNAL OF OPHTHALMIC AND VISION RESEARCH*. 2018;13(2):170. DOI:10.4103/jovr.jovr\_35\_18.
  22. LUSTHAUS J.A., KHATIB T.Z., MEYER P.A.R., MCCLUSKEY P., MARTIN K.R. AQUEOUS OUTFLOW IMAGING TECHNIQUES AND WHAT THEY TELL US ABOUT INTRAOCULAR PRESSURE REGULATION. *EYE*. 2020;35(1):216-235. DOI: 10.1038/s41433-020-01136-y.
  23. NAJMANOVA E., PLUHACEK F., HAKLOVA M. INTRAOCULAR PRESSURE RESPONSE AFFECTED BY CHANGING OF SITTING AND SUPINE POSITIONS. *ACTA OPHTHALMOLOGICA*. 2020;98(3):368-372. DOI: 10.1111/Aos.14267