

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПРОСТАТЫ В УСЛОВИЯХ ВЫПОЛНЕНИЯ БИПОЛЯРНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ И ТУЛИЕВОЙ ЛАЗЕРНОЙ ЭНУКЛЕАЦИИ ДОБРОКАЧЕСТВЕННОЙ ГИПЕРПЛАЗИИ ПРЕДСТАТЕЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

Нотов И.К.^{1,2},
Залавина С.В.¹,
Машак С.В.¹,
Бгатова Н.П.³,
Позднякова С.В.¹,
Савченко С.В.¹,
Нотов К.Г.^{1,2}

¹ ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России (630091, г. Новосибирск, ул. Красный проспект, 52, Россия)

² ЧУЗ «Клиническая больница «РЖД-Медицина» г. Новосибирск» (630003, г. Новосибирск, ул. Владимирский спуск, 2а, Россия)

³ Научно-исследовательский институт клинической и экспериментальной лимфологии – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН» (630060, г. Новосибирск, ул. Тимакова, 2, Россия)

Автор, ответственный за переписку:
Нотов Иван Константинович,
e-mail: notovivan@mail.ru

РЕЗЮМЕ

Обоснование. Доброкачественная гиперплазия предстательной железы (ДГПЖ) – распространённое заболевание пожилых мужчин. Трансуретральная хирургия ДГПЖ – «золотой стандарт» лечения, однако методы различаются используемой энергией. Учитывая разные механизмы действия биполярной плазменной и тулиевой волоконной лазерной энергии на ткани простаты, изучение структурных изменений при их воздействии является актуальным. **Цель исследования.** Изучить особенности структурных изменений простаты в условиях выполнения биполярной плазменной и тулиевой лазерной энуклеаций доброкачественной гиперплазии предстательной железы.

Методы. 31 пациент с ДГПЖ разделены на две группы. 1-й группе (n = 17) выполнена трансуретральная плазменная энуклеация простаты; 2-й группе (n = 14) – трансуретральная тулиевая волоконная лазерная энуклеация. Интраоперационно забирали фрагменты хирургической капсулы простаты, которые обрабатывали по стандартным схемам для исследования методами световой и электронной микроскопии. Учитывали ширину коагуляционного некроза, рельеф линии воздействия, степень выраженности деструкции клеток и межклеточного матрикса простаты.

Результаты. Исследования показали клиническую и функциональную периперационную гомологичность сравниваемых методов хирургического лечения ДГПЖ. Данные световой и электронной микроскопии предстательной железы показали большее повреждающее действие биполярной плазменной энергии, что проявляется большей шириной зоны коагуляционного некроза, разорванным и рельефным видом линии рассечения, выраженными нарушениями целостности клеточных элементов и компонентов межклеточного матрикса. При лазерном воздействии изменения проявляют себя в меньшей степени, что свидетельствует о более щадящем действии тулиевого волоконного лазера на компоненты простаты.

Заключение. Полученные результаты микроскопии свидетельствуют о том, что интраоперационное действие тулиевого волоконного лазера менее травматично для клеток и межклеточного матрикса хирургической капсулы простаты по сравнению с биполярным плазменным воздействием.

Ключевые слова: предстательная железа, структура, световая микроскопия, трансмиссионная электронная микроскопия, тулиевый волоконный лазер, биполярное плазменное воздействие, энуклеация простаты

Для цитирования: Нотов И.К., Залавина С.В., Машак С.В., Бгатова Н.П., Позднякова С.В., Савченко С.В., Нотов К.Г. Сравнительная оценка структурных изменений простаты в условиях выполнения биполярной плазменной и тулиевой лазерной энуклеации доброкачественной гиперплазии предстательной железы. *Acta biomedica scientifica*. 2024; 9(2): 130-140. doi: 10.29413/ABS.2024-9.2.13

Статья поступила: 26.12.2023

Статья принята: 08.04.2024

Статья опубликована: 31.05.2024

COMPARATIVE ASSESSMENT OF STRUCTURAL CHANGES IN THE PROSTATE AFTER BIPOLAR PLASMA AND THULIUM FIBER LASER ENUCLEATION OF BENIGN PROSTATIC HYPERPLASIA

Notov I.K.^{1,2},
Zalavina S.V.¹,
Mashak S.V.¹,
Bgatova N.P.³,
Pozdnyakova S.V.¹,
Savchenko S.V.¹,
Notov K.G.^{1,2}

¹ Novosibirsk State Medical University
(Krasny Ave. 52, Novosibirsk 630091,
Russian Federation)

² Clinical Hospital "RZD-Medicine"
of Novosibirsk (Vladimirovskiy spusk 2a,
Novosibirsk 630003, Russian Federation)

³ Research Institute of Clinical
and Experimental Lymphology –
Branch of the Institute of Cytology
and Genetics, Siberian Branch
of Russian Academy of Sciences
(Timakova str. 2, Novosibirsk 630060,
Russian Federation)

Corresponding author:
Ivan K. Notov,
e-mail: notovivan@mail.ru

ABSTRACT

Background. Benign prostatic hyperplasia (BPH) is a common disease in older men. Transurethral surgery in BPH is the gold standard for treatment, but the techniques differ in the energy used. Considering the different mechanisms of action of bipolar plasma and thulium fiber laser energy on prostate tissue, the study of structural changes under their influence is relevant.

The aim. To study the features of structural changes in the prostate during bipolar plasma and thulium fiber laser enucleation of benign prostatic hyperplasia.

Methods. Thirty one patients with BPH were divided into two groups. Group 1 (n = 17) underwent transurethral plasma enucleation of the prostate; Group 2 (n = 14) underwent transurethral thulium fiber laser enucleation. Fragments of the surgical prostate capsule were collected intraoperatively and were processed according to standard examination protocols using light and electron microscopy. The width of coagulation necrosis, the relief of the dissection line, the severity of cell and the prostate intercellular matrix destruction were taken into account.

Results. Studies have shown the clinical and functional perioperative homology of the compared methods of surgical treatment of BPH. Data from light and electron prostate microscopy showed a greater damaging effect of bipolar plasma energy, which is manifested by a larger width of the zone of coagulation necrosis, a torn and raised appearance of the dissection line, and pronounced integrity violations of cellular elements and intercellular matrix components. Laser exposure causes less pronounced changes, which indicates a more gentle effect of the thulium fiber laser on the prostate components.

Conclusion. The obtained microscopy results indicate that the intraoperative action of a thulium fiber laser is less traumatic for the cells and intercellular matrix of the surgical prostate capsule compared to bipolar plasma exposure.

Keywords: prostate gland, structure, light microscopy, transmission electron microscopy, thulium fiber laser, bipolar plasma exposure, prostate enucleation

Received: 26.12.2023
Accepted: 08.04.2024
Published: 31.05.2024

For citation: Notov I.K., Zalavina S.V., Mashak S.V., Bgatova N.P., Pozdnyakova S.V., Savchenko S.V., Notov K.G. Comparative assessment of structural changes in the prostate after bipolar plasma and thulium fiber laser enucleation of benign prostatic hyperplasia. *Acta biomedica scientifica*. 2024; 9(2): 130-140. doi: 10.29413/ABS.2024-9.2.13

ОБОСНОВАНИЕ

Среди заболеваний предстательной железы доброкачественная гиперплазия предстательной железы (ДГПЖ) является одним из наиболее распространённых [1]. Изучение факторов инициации и прогрессии данного заболевания проводится в течение многих десятилетий. Среди основных причин ведущую роль отводят гормональным перестройкам [2], возрастным [3], алиментарным и метаболическим влияниям, избыточной массой тела [4–6], а также сосудистым повреждениям, вызывающим гипоксию тканей, на фоне которых в предстательной железе происходит пролиферация эпителия концевых отделов желез и/или стромальных клеток транзиторной зоны [7].

В связи с ростом продолжительности жизни мужчин распространённость ДГПЖ растёт, что приводит к увеличению количества пациентов, требующих выполнения оперативного лечения этого заболевания. В настоящее время среди вариантов хирургического лечения ДГПЖ оптимальными являются трансуретральные вмешательства (резекция, вапоризация и другие). Методики трансуретральной энуклеации в качестве оперативного лечения ДГПЖ выходят на лидирующие позиции при выборе хирургической тактики, поскольку обладают высоким профилем безопасности, высокой степенью эффективности как в раннем послеоперационном, так и в отдалённом периодах [8–10]. В последнее время проводится немало исследований, посвящённых сравнительному изучению эффективности трансуретральной энуклеации в сравнении с другими методами хирургического лечения, а также сравнению действия на клеточные и тканевые структуры простаты различных источников энергии, которые используются для энуклеации при ДГПЖ. Биполярная плазменная энуклеация и различные виды лазерных энуклеаций являются самыми обсуждаемыми. Среди технологий лазерной энуклеации выделяются гольмиевая энуклеация (HoLEP, holmium laser enucleation of the prostate) и её современные модификации (технология MOSES), тулиевая (ThuLEP, thulium laser enucleation of the prostate) и одна из самых «молодых» технологий – тулиевая волоконная (ThuFLEP, thulium fiber laser enucleation of the prostate) энуклеация [11]. Сравнение методов лазерной энуклеации показало, что они обладают незначительными различиями по длительности оперативного лечения, степени кровопотери, времени стояния мочевого катетера и наличию осложнений в операционном и послеоперационном периодах, а при оценке отдалённых функциональных и клинических результатов демонстрировали гомологичные показатели при сравнении симптоматики, параметров струи мочи и объёма предстательной железы [12–14], что позволяет считать различные лазерные энуклеации равнозначными методами хирургического лечения. Описанные незначительные отличия (продолжительность операции, интраоперационная кровопотеря, длительность стояния катетера), зарегистрированные в исследованиях, вероятнее всего,

связаны с опытом хирургов и различными аспектами оказания хирургической помощи в разных стационарах, которые нивелируются метаанализом результатов исследований [15, 16].

Механизм тулиевого плазменного воздействия заключается в нагревании электрода при повышении мощности тока в нём и увеличении сопротивления. На фоне ирригационного раствора хлорида натрия формируется газ вокруг электрода, а электроны петли преобразуются в высокоионизированные частицы. Это приводит к появлению плазменной дуги вокруг электрода, которая при взаимодействии с тканями разрушает межмолекулярные связи [17].

Применение тулиевого волоконного лазерного излучения в качестве рабочей энергии при энуклеации основано на превращении электромагнитного излучения в тепловую энергию, при котором излучение поглощается хромофорами тканей простаты. Поглощённая тепловая энергия вызывает локальное повышение температуры в облучённой ткани, что позволяет достигать эффекта вапоризации, коагуляции или резекции. Тулиевый волоконный лазер имеет длину волны 1940 нм, что близко к пику абсорбции водой в ближнем инфракрасном диапазоне при 22 °C [18] с оптической глубиной проникновения в воду в 77 мкм [19], что в разы меньше других лазеров. Благодаря этим параметрам лазерное воздействие на ткани показывает наиболее поверхностные изменения, которые проявляются в тонком (до 50 мкм) слое карбонизации, за которым следует слой клеточной вакуолизации (до 100 мкм) с последующим слоем термокоагуляции (500–2000 мкм) [20], что является самым поверхностным проникновением лазерного воздействия из применяемых в урологической практике медицинских лазеров (ниодимовый, диодный, гольмиевый, тулиевый). Это позволяет обеспечить хорошие режущие свойства, малую зону теплового повреждения и хорошую коагуляцию при ThuFLEP. Однако на сегодня нет исследований, посвящённых сравнению структурных и ультраструктурных изменений в компонентах предстательной железы при действии биполярной плазменной и тулиевой волоконной энергии при трансуретральной энуклеации простаты. Данные о сравнении повреждающего воздействия различных видов энергии на ткани предстательной железы в процессе оперативного лечения ДГПЖ, во-первых, могут быть использованы для выбора предпочтительного способа лечения ДГПЖ; во-вторых, послужат основой для развития и совершенствования существующих методик на основе анализа их недостатков; в-третьих, могут явиться основой для разработки комплекса лечебных мероприятий по реабилитации пациентов после хирургического лечения гиперплазии простаты.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучить особенности структурных изменений простаты в условиях выполнения биполярной плазменной

и тулиевой лазерной энуклеации доброкачественной гиперплазии предстательной железы.

МЕТОДЫ

Объектом исследования явились фрагменты предстательной железы от 31 пациента в возрасте $65,26 \pm 6,26$ года. Материал забирался интраоперационно при проведении хирургического вмешательства по поводу ДГПЖ; при этом иссекали дополнительные фрагменты из хирургической капсулы простаты (периферической, центральной и передней фибромускулярной зоны простаты, которые не вовлекаются в гиперпластический процесс) [21]. 17 пациентам выполнена трансуретральная биполярная плазменная энуклеация предстательной железы (ТУЭП) – 1-я группа; у 14 мужчин проведена трансуретральная тулиевая волоконная лазерная энуклеация простаты – 2-я группа. На край фрагмента предстательной железы, обращенный к плазменному или лазерному воздействию, наносилась чёрная тушь. Для морфометрии толщины слоя коагуляционного некроза на поверхности удалённого фрагмента простаты использовалась программа ImageJ 1.54d (США).

Для световой микроскопии фрагменты предстательной железы фиксировали в 10%-м забуференном формалине и выполняли стандартную проводку и заливку в гистомикс.

Изготавливали срезы толщиной 5 мкм. Цифровые микрофотографии фрагментов простаты получали на микроскопе PrimoStar (Zeiss, Германия) при помощи CCD-камеры AxioCam 512 Color (Zeiss, Германия) и программного обеспечения ZEN 2.3 (Zeiss, Германия), на которых изучали рельеф края удалённого фрагмента предстательной железы, взятого при ТУЭП или ThuFLEP.

Для проведения трансмиссионной электронной микроскопии фрагменты предстательной железы фиксировали в 4%-м растворе параформальдегида (изготовленном на среде Хенкса), дофиксировали в течение 1 часа в 1%-м растворе OsO_4 на фосфатном буфере ($\text{pH} = 7,4$), обезвоживали в этиловом спирте возрастающей концентрации, после чего заключали в эпон (Serva, Германия). Из полученных блоков на ультрамикротоме Leica EM UC7 (Leica Microsystems, Германия) изготавливали полутонкие срезы толщиной 1 мкм, окрашивали их толудиновым синим. Их изучали под световым микроскопом Leica DME (Leica Microsystems, Германия), выбирая необходимые участки для исследования в электронном микроскопе. Для исследования ультраструктурных изменений в компонентах простаты при выполнении ТУЭП или ThuFLEP из отобранных фрагментов изготавливали ультратонкие срезы толщиной 70–100 нм, контрастировали насыщенным водным раствором уранилацетата и цитратом свинца. Микрофотографии изготавливали с использованием электронного микроскопа JEM 1400 (JEOL, Япония) в ЦКП микроскопического анализа биологических объектов СО РАН.

Статистический анализ выполняли при помощи программных пакетов MS Excel 2016 (Microsoft Corp., США) и SPSS 22.0 (IBM Corp., США). Данные представлены как среднее (M) и ошибка среднего (m); сравнение проводили с использованием t -критерия Стьюдента для непарных выборок.

Исследование проведено в соответствии с Федеральным законом Российской Федерации от 21.11.2011 № 323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации», а также с требованиями Федерального закона от 27.07.2006 № 152-ФЗ (ред. от 21.07.2014) «О персональных данных» (с изменениями и дополнениями, вступившими в силу с 01.09.2015), а также с принципами Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека». На проведение исследования получено разрешение биоэтического комитета ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России № 129 от 30.11.2020. Каждый пациент ознакомлен с исследованием и подписал письменное согласие на участие в нём.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Перед оперативным вмешательством все пациенты проходили стандартную подготовку профилактики тромбозомболических осложнений (однократное введение низкомолекулярных гепаринов за 12 часов до оперативного вмешательства, использование компрессионного белья); также всем выполнялась антибиотикопрофилактика. Оперативное лечение выполнялось под спинномозговой анестезией. Трансуретрально, при помощи резектоскопа, выполнялась последовательная энуклеация гиперплазированной переходной зоны простаты при помощи биполярной петли или лазерного волокна с одновременной коагуляцией сосудов по краю остающейся части предстательной железы, называемой хирургической капсулой простаты. Вылущенную ткань измельчали и эвакуировали при помощи морцеллятора. Для проведения морфологического исследования из хирургической капсулы простаты в конце операции забирали дополнительный фрагмент размерами до $12 \times 6 \times 5$ мм. После операции уретральный катетер Фолея устанавливался на 2–3 суток. В течение первых суток выполнялось орошение мочевого пузыря физиологическим раствором. После удаления мочевого катетера и восстановления самостоятельного мочеиспускания пациентам назначалась стандартная терапия.

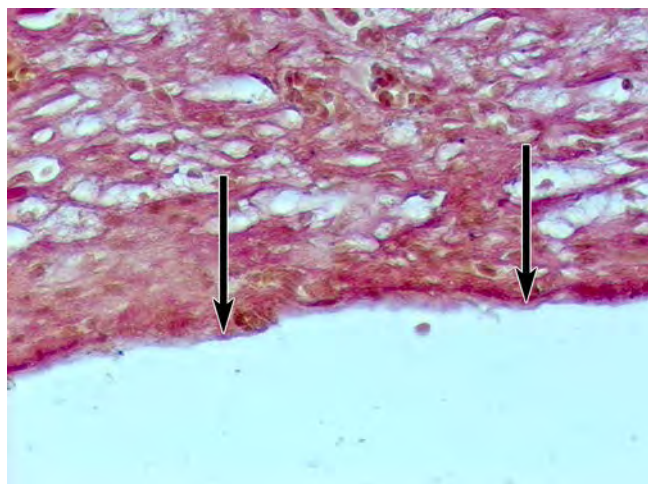
Пациенты, принявшие участие в исследовании, не различались по возрасту ($65,81 \pm 7,30$ года в 1-й группе и $64,67 \pm 5,11$ года во 2-й группе) так же, как и по индексу массы тела (ИМТ), который составлял в 1-й группе $28,76 \pm 3,75$ против $27,48 \pm 3,25$ во 2-й группе. Средний объем предстательной железы, по данным трансректального ультразвукового исследования, составил

68,59 ± 28,63 и 81,14 ± 25,55 мл в 1-й и 2-й группах соответственно.

При межгрупповом сравнении длительности оперативного лечения статистически значимой разницы не выявлено. Длительность энуклеации в среднем составила 100,94 ± 57,74 мин в 1-й группе против 81,00 ± 25,01 мин во 2-й группе, что не превышает длительности подобных эндоскопических оперативных вмешательств, описанных в литературе [10, 12, 22, 23].

Объём удалённой ткани во время оперативного лечения составил 70,00 ± 59,84 мл в 1-й группе против

71,47 ± 26,99 мл во 2-й группе. В послеоперационный период мочевой катетер удалялся на 3,00 ± 0,82 суток после проведённой ThuFLEP и на 2,93 ± 0,80 суток после ТУЭП. У пациентов послеоперационных осложнений не зарегистрировано. Таким образом, при сравнении клинических показателей, а именно возраста, ИМТ, объёма простаты до оперативного вмешательства, объёма удалённого фрагмента органа во время операции, длительности проведения оперативного лечения, длительности стояния мочевого катетера после операции, а также длительности госпитализации, нами не выявляе-



a

РИС. 1.

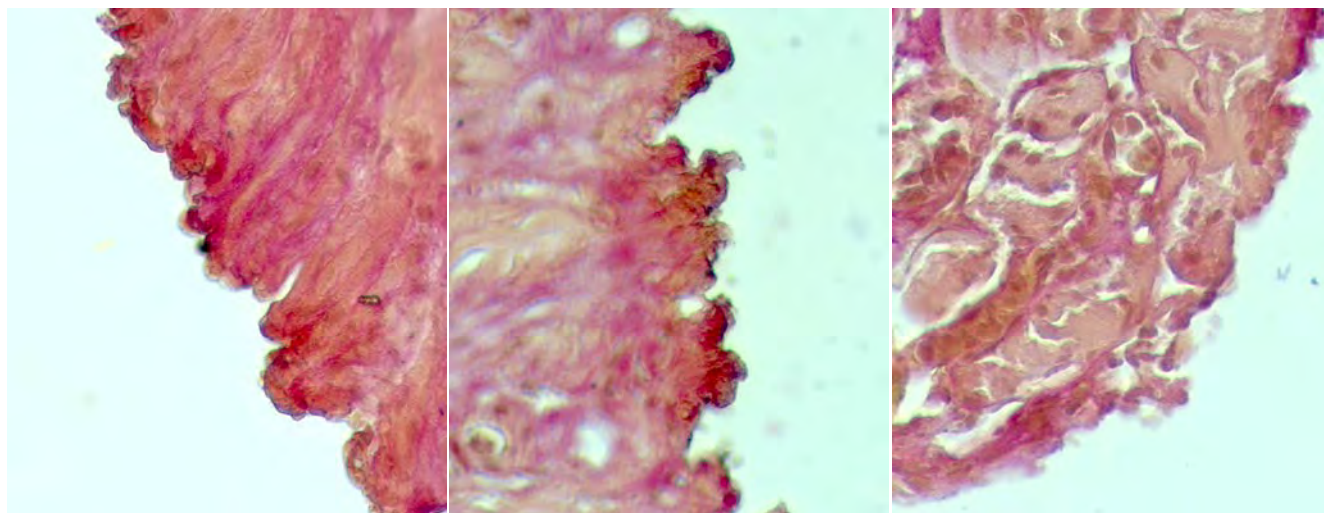
Края фрагментов предстательной железы со стороны плазменного воздействия (а) и при лазерном воздействии (б) при проведении энуклеации простаты: стрелки по линии коагуляционного некроза. Окраска пикрофуксином по Ван-Гизону; увеличение × 400



б

FIG. 1.

Edges of prostate fragments in plasma exposure (a) and laser exposure (б) during prostate enucleation: arrows are along the line of coagulation necrosis. Van Gieson's picro-fuchsin staining, magnification × 400



a

б

в

РИС. 2.

Край предстательной железы по линии воздействия тугиевым волоконным лазером, представленный поперечно (а, б) и продольно рассечённой (в) гладкой мышечной тканью. Окраска пикрофуксином по Ван-Гизону; увеличение × 400

FIG. 2.

The edge of the prostate gland tissue after thulium fiber laser exposure: а, б – transversely dissected smooth muscle tissue; в – longitudinally dissected smooth muscle tissue. Van Gieson's picro-fuchsin staining, magnification × 400

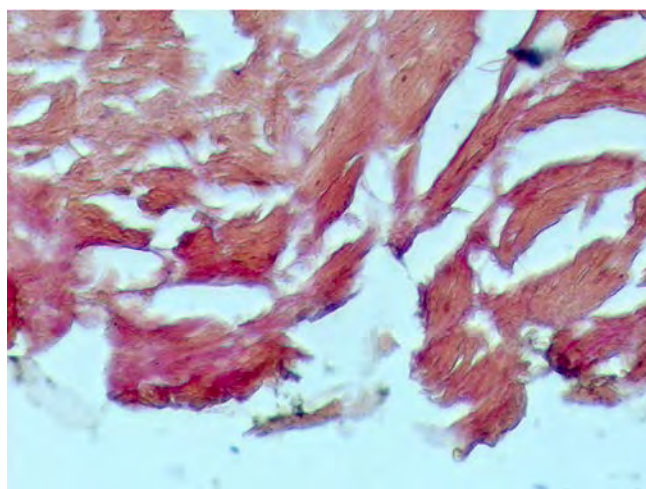
но статистически значимых различий, что свидетельствует о равнозначности методов с клинической точки зрения.

Ширина линии коагуляционного некроза по краю удалённого фрагмента предстательной железы при действии плазмы составила $4,571 \pm 0,153$ мкм, что статистически значимо больше показателя при воздействии тулиевым волоконным лазером (рис. 1), где ширина некроза составила $2,034 \pm 0,151$ мкм.

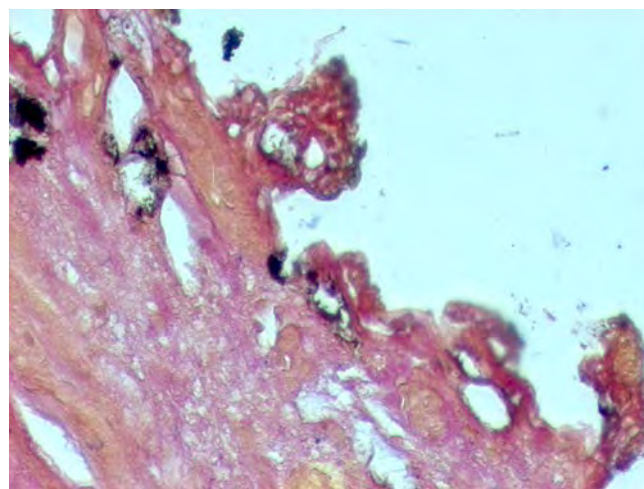
При анализе рельефа линии рассечения по краю воздействия выявлено, что при прохождении лазера (рис. 2) наблюдается меньшее разволокнение структур, и линия рассечения имеет менее рельефный и раз-

зорванный вид по сравнению с картиной при плазменном воздействии (рис. 3). Это наблюдается как при поперечном (рис. 2а, б), так и при продольном рассечении гладкой мышечной ткани (рис. 2в) и рыхлой клетчатки в составе простаты при действии лазера (рис. 1б).

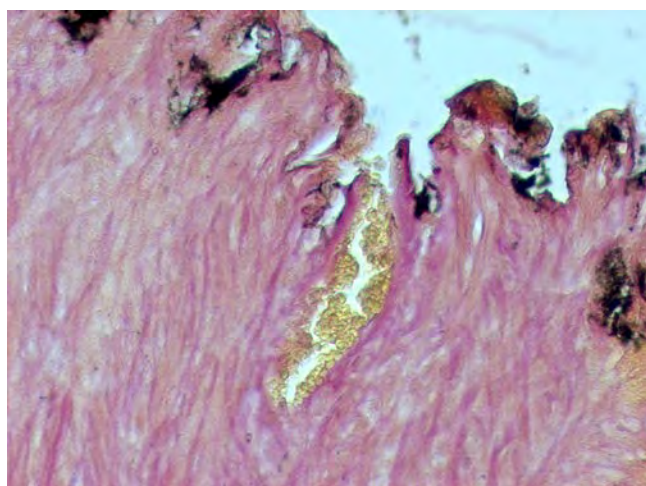
При сравнении электронограмм, выполненных на фрагментах предстательной железы, полученных интраоперационно, выявлены более грубые повреждения тканевых и клеточных структур под воздействием ТУЭП, чем после ThuFLEP. При плазменном воздействии выявлялись крупные очаги деструкции цитоплазмы гладких миоцитов. Наблюдаемая повер-



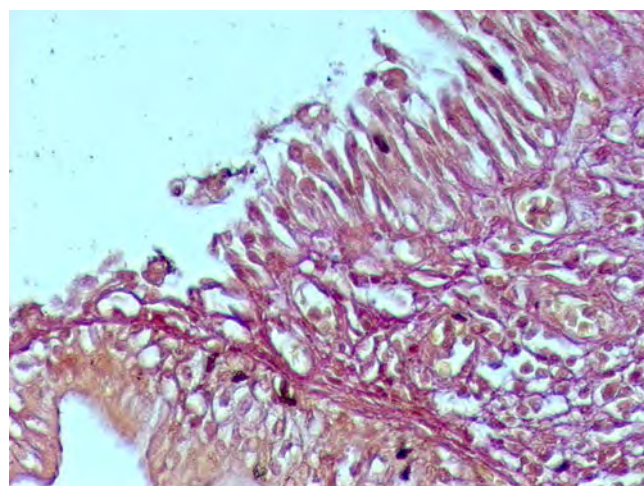
а



б



в



г

РИС. 3.

Край предстательной железы по линии биполярного плазменного воздействия, представленный поперечно (**а, б**) и продольно рассечёнными (**в**) гладкими миоцитами, а также эпителиальной выстилкой концевых отделов желёз (**г**): видимые чёрные образования по краю структур предстательной железы – частицы туши, которая наносилась со стороны плазменного воздействия на фрагмент простаты, взятый для исследования. Окраска пикрофуксином по Ван-Гизону, увеличение $\times 400$

FIG. 3.

The edge of the prostate gland tissue after bipolar plasma exposure: **а, б** – transversely dissected smooth myocytes; **в** – longitudinally dissected smooth myocytes; **г** – epithelial lining of the terminal sections of the glands: visible black formations along the edges of the prostate structures are the particles of ink that was applied from the side of plasma exposure to the prostate fragment taken for research. Van Gieson's picro-fuchsin staining, magnification $\times 400$

ность разрушений была обширной, охватывая площадь от одной трети до тотального повреждения всей цитоплазмы, что сопровождалось разрушением ядер гладкомышечных клеток (рис. 4, 5), межклеточного матрикса в стромально-мышечном компоненте предстательной железы. Эти масштабные разрушения зачастую не позволяли идентифицировать клетку. Нередкой находкой было выявление нарушений цитоскелета гладких миоцитов в виде неравномерного уплотнения, разрежения и фрагментации участков цитоплазмы (рис. 4, 6). Часто в межклеточном матриксе выявлялись фрагменты повреждённых миоцитов (рис. 7).

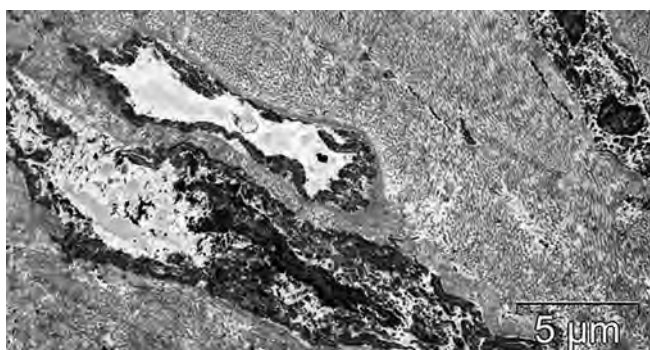


РИС. 4.
Гладкие миоциты стромально-мышечного компонента предстательной железы; биполярное плазменное воздействие. Увеличение $\times 3000$

FIG. 4.
Smooth myocytes of the stromal muscular prostate component; bipolar plasma exposure. Magnification $\times 3000$

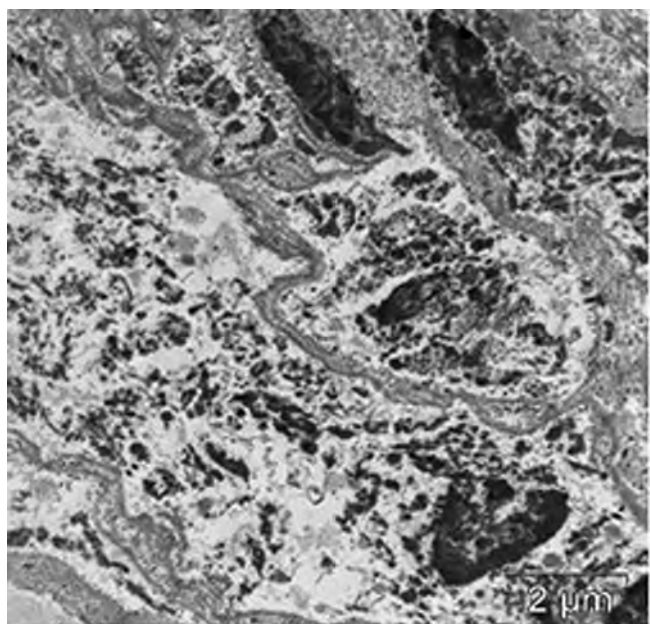


РИС. 5.
Обширные очаги деструкции в стромально-мышечном компоненте простаты, расположенном со стороны биполярного плазменного воздействия. Увеличение $\times 7500$

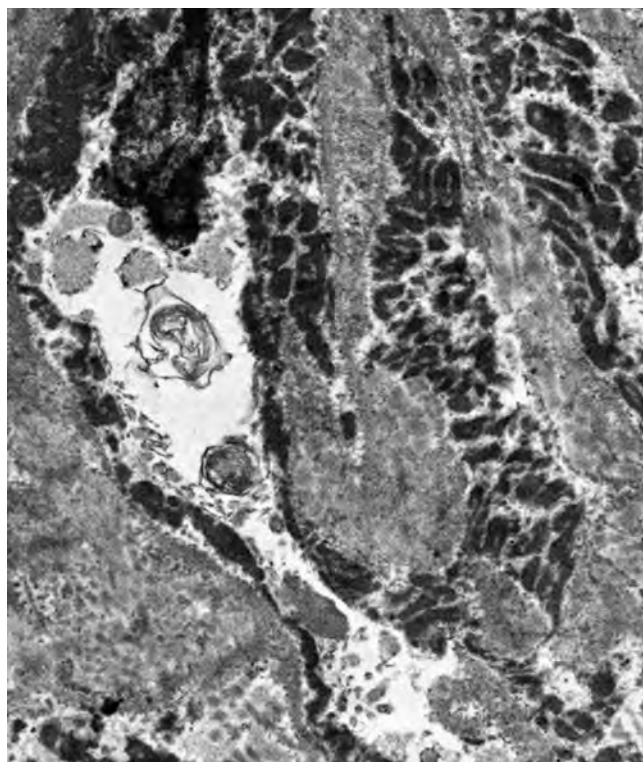


РИС. 6.
Нарушение цитоскелета гладких миоцитов в виде неравномерного уплотнения, разрежения и фрагментации участков цитоплазмы; биполярное плазменное воздействие. Увеличение $\times 3000$

FIG. 6.
Violation of the smooth myocytes cytoskeleton in the form of uneven condensation, rarefaction and fragmentation of cytoplasm sites; bipolar plasma exposure. Magnification $\times 3000$

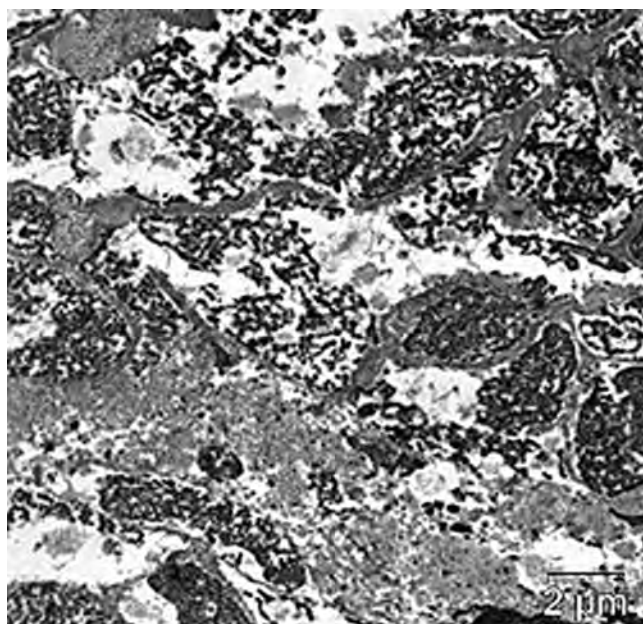


FIG. 5.
Extensive destruction foci in the stromal muscular prostate component, located on the side of bipolar plasma exposure. Magnification $\times 7500$

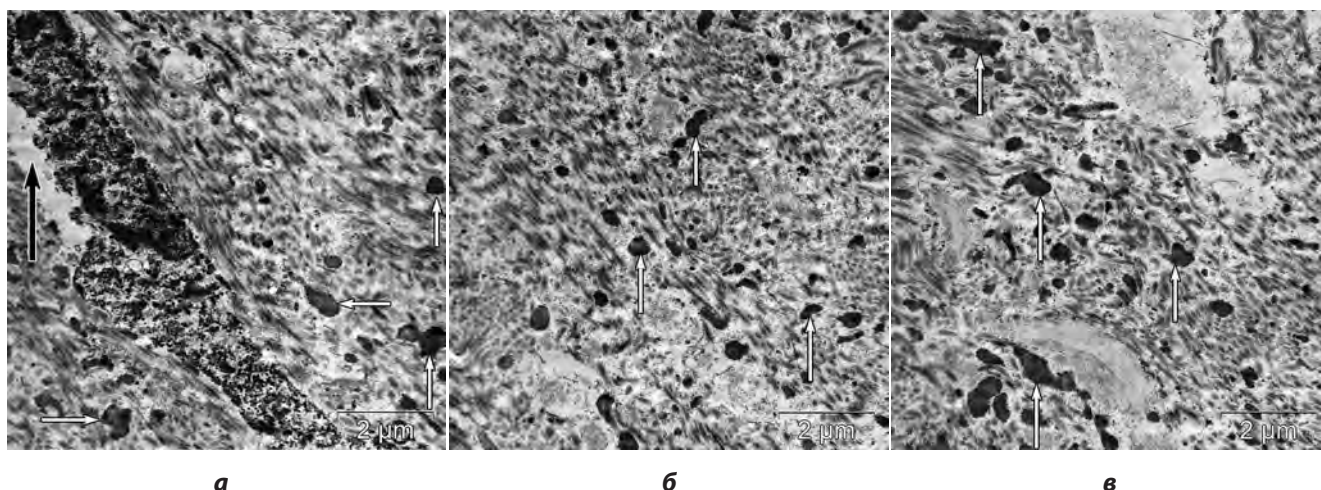


РИС. 7.

Нарушение структуры гладкого миоцита (**а**) (чёрная стрелка). Локальные уплотнения участков цитоплазмы гладких миоцитов (белые стрелки) (**а, б, в**). Биполярное плазменное воздействие. Увеличение $\times 7500$

FIG. 7.

Destruction focus in the cytoplasm of a smooth myocyte (**a**) (black arrow). Local condensation fragments of the smooth myocyte cytoplasm (white arrows) (**a, б, в**). Bipolar plasma exposure. Magnification $\times 7500$

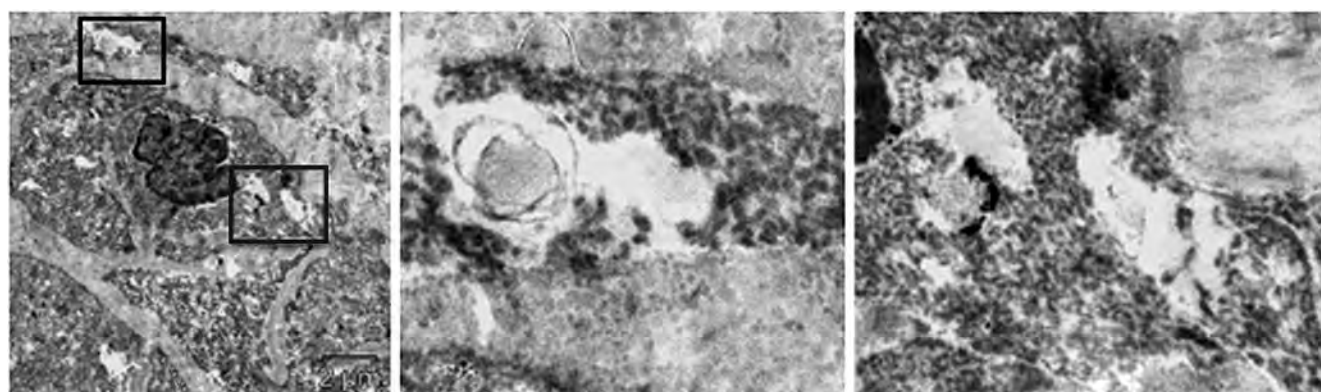


РИС. 8.

Очаги разрушения гладких миоцитов мышечно-соединительнотканного модуля простаты. Фрагментация цитоскелета гладких миоцитов. Биполярное плазменное воздействие. Увеличение $\times 7500$

FIG. 8.

Destruction foci in smooth myocytes of the muscular connective-tissue module of the prostate. Cytoskeleton fragmentation of smooth myocytes. Bipolar plasma exposure. Magnification $\times 7500$

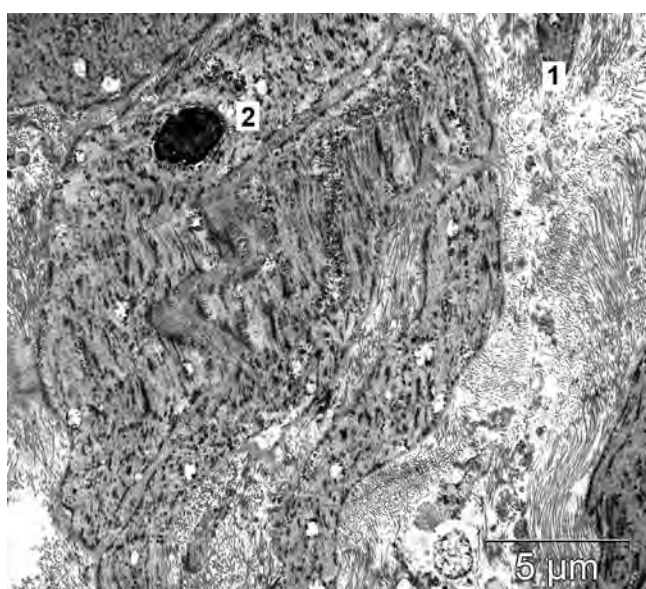


РИС. 9.

Неповреждённые фибробласт (**1**) и гладкий миоцит (**2**) в мышечно-соединительнотканном модуле простаты рядом с зоной воздействия тулиевого волоконного лазера. Увеличение $\times 3000$

FIG. 9.

Intact fibroblast (**1**) and smooth myocyte (**2**) in the muscular connective-tissue module of the prostate near the area of the thulium fiber laser exposure. Magnification $\times 3000$

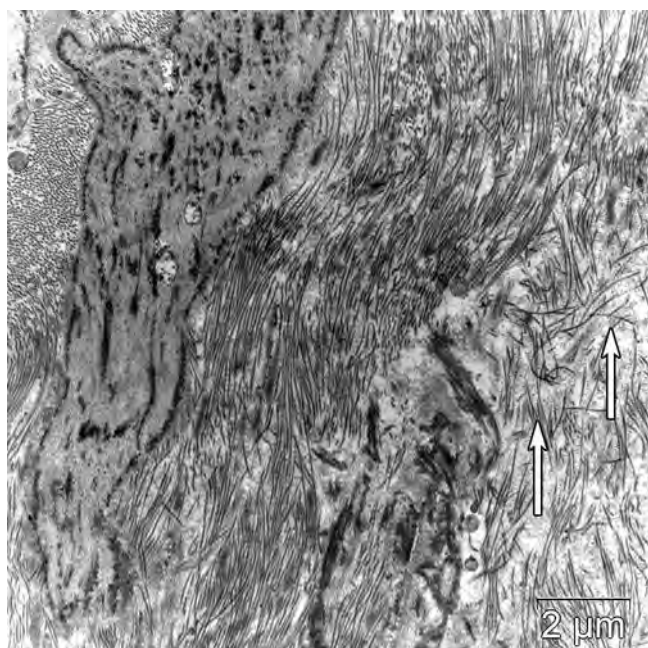


РИС. 10.
Дезорганизация (стрелки) и участок разрыва коллагеновых волокон в строме мышечно-соединительнотканного модуля простаты при воздействии тулиевым волоконным лазером. Увеличение $\times 7500$

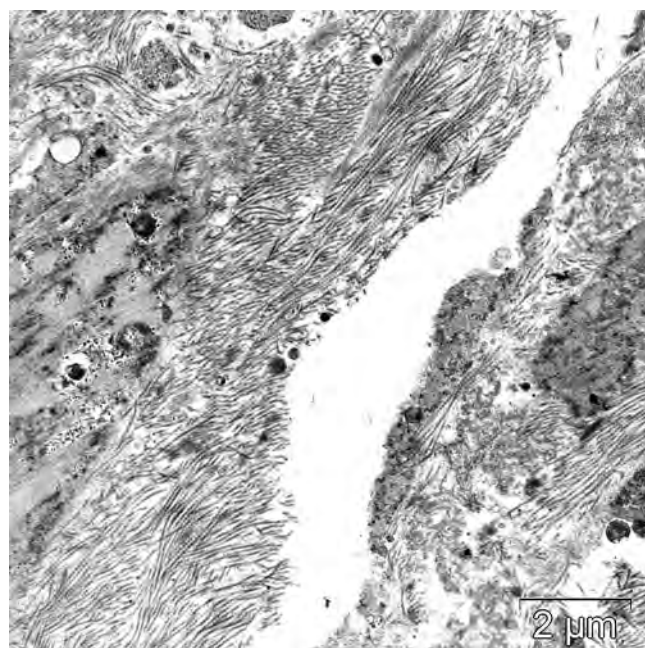


FIG. 10.
Disorganization (arrows) and area of collagen fibers rupture in the stroma of the muscular connective-tissue module of the prostate on exposure to thulium fiber laser. Magnification $\times 7500$

При выполнении лазерной энуклеации отмечали участки деструкции гладких миоцитов с фрагментацией цитоплазмы, которые имели ограниченный и локальный вид (рис. 8). Большинство полей зрения со стороны лазерного воздействия демонстрировали неповреждённые фибробласты и гладкие миоциты (рис. 9).

Участки повреждения волокнистого компонента межклеточного матрикса проявлялись в локальной дезорганизации коллагеновых волокон и ограниченных участков их разрыва (рис. 10).

ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные результаты исследования позволяют сравнить два вида эндоскопического хирургического лечения ДГПЖ, которые, с клинической точки зрения, признаны равнозначными. В настоящее время все исследования результатов этих методов лечения проводятся с учётом лишь их клинической эффективности и без учёта тканевых и ультраструктурных изменений.

Полученные нами данные говорят о более грубых интраоперационных изменениях при проведении ТУЭП, что проявляется более глубоким проникновением в ткани энергии плазменного воздействия и выраженными повреждениями компонентов простаты. Это подтверждается данными световой и электронной микроскопии. Поскольку механизм плазматической вапоризации заключается в том, что при нагревании электрода петли происходят испарение, ионизация физиологического раствора и превращение его в плазму вокруг пет-

ли. Электроны сплава петли преобразовываются в высокоионизированные частицы, которые разрывают межмолекулярные связи тканей простаты. Кроме того, плазменное воздействие вызывает вапоризирующий эффект, приводящий к обезвоживанию тканей простаты [17], что связано с выпариванием внутриклеточной и внеклеточной жидкости, а также с денатурацией белков.

В то же время тулиевое волоконное лазерное воздействие оказывает меньшее повреждение сохраняемых тканей простаты, поскольку физические свойства лазера позволяют обеспечить минимальное его проникновение в ткани. Механизм действия тулиевого волоконного лазера основан на превращении электромагнитного излучения в тепловую энергию, при котором излучение поглощается хромофорами внутриклеточной и внеклеточной жидкости тканей простаты [19], что обеспечивает высокий коэффициент поглощения теми тканями, на которые оказывается непосредственное излучение.

Объём возникших разрушений клеток и межклеточного матрикса, прилежащих к зоне воздействия, как в фиброзно-мышечном модуле, так и в железистом компоненте предстательной железы при проведении ТУЭП или ThuFLEP создают основу для понимания скорости и характера восстановления этих структур после операции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённые нами клинические исследования свидетельствуют о клинической и функциональной перио-

перационной гомологичности двух сравниваемых методов хирургического лечения ДГПЖ.

В то же время полученные нами данные при проведении световой и электронной микроскопии предстательной железы в условиях воздействия тулиевой волоконной лазерной или биполярной плазменной энергии показали признаки большего повреждающего действия последней на ткани предстательной железы. В частности, при выполнении биполярной плазменной энуклеации отмечена большая ширина зоны коагуляционного некроза, линия рассечения имеет разорванный и рельефный вид, ультраструктурные повреждения проявляются выраженным нарушением целостности клеточных элементов и компонентов межклеточного матрикса. При лазерной энуклеации все эти изменения проявляют себя в меньшей степени, что свидетельствует о более щадящем действии тулиевого волоконного лазера на компоненты простаты.

Конфликт интересов

Авторы данной статьи заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Egan KB. The epidemiology of benign prostatic hyperplasia associated with lower urinary tract symptoms: Prevalence and incident rates. *Urol Clin North Am*. 2016; 43: 289-297. doi: 10.1016/j.ucl.2016.04.001
2. Золотухин О.В., Есин А.В., Мадькин Ю.Ю. Патогенетическое обоснование использования ингибиторов 5-альфа редуктазы в лечении доброкачественной гиперплазии предстательной железы. *Экспериментальная и клиническая урология*. 2022; 15(3): 94-101. [Zolotukhin OV, Esin AV, Madykin YuYu. Pathogenetic justification of the use of 5-alpha reductase inhibitors in the treatment of benign prostatic hyperplasia. *Experimental and Clinical Urology*. 2022; 15(3): 94-101. (In Russ.)]. doi: 10.29188/2222-8543-2022-15-3-94-101
3. Аляев Ю.Г., Глыбочко П.В., Пушкарь Д.Ю. *Урология. Российские клинические рекомендации*. М.: Медфорум; 2017. [Alyayev YuG, Glybochko PV, Pushkar DYU. *Urology. Russian clinical guidelines*. Moscow: Medforum; 2017. (In Russ.)].
4. De Nunzio C, Giglio S, Baldassarri V, Cirombella R, Malles G, Nacchia A, et al. Impairment of autophagy may represent the molecular mechanism behind the relationship between obesity and inflammation in patients with BPH and LUTS. *Minerva Urol Nephrol*. 2021; 73(5): 631-637. doi: 10.23736/S2724-6051.20.03992
5. Xue B, Wu S, Sharkey C, Tabatabaei S, Wu CL, Tao Z, et al. Obesity-associated inflammation induces androgenic to estrogenic switch in the prostate gland. *Prostate Cancer Prostatic Dis*. 2020; 23(3): 465-474. doi: 10.1038/s41391-020-0208-4
6. Тюзиков И.А., Калинин С.Ю. Доброкачественная гиперплазия предстательной железы как системное гормонально-метаболическое заболевание: время изменить парадигмы патогенеза и фармакотерапии. *Эффективная фармакотерапия*. 2016; 33(4): 32-53. [Tyuzikov IA, Kalinchenko SYU. Benign prostatic hyperplasia as a systemic hormone-metabolic disease: Time to change paradigm of pathogenesis and drug therapy. *Effective Pharmacotherapy*. 2016; 33(4): 32-53. (In Russ.)].
7. Панферов А.С., Котов С.В., Юсуфов А.Г., Елагин В.В., Бекреев Е.А., Бадакба Г.В., и др. Лапароскопическая трансвезикулярная аденомэктомия при крупных и гигантских размерах предстательной железы. *Экспериментальная и клиническая урология* 2022; 15(1): 102-110. [Panferov AS, Kotov SV, Yusufov AG, Elagin VV, Bekreev EA, Badakba GV, et al. Laparoscopic transvesicular adenomectomy for large and giant prostate gland. *Experimental and Clinical Urology*. 2022; 15(1): 102-110. (In Russ.)]. doi: 10.29188/2222-8543-2022-15-1-102-110
8. Gafarov RR. Minimally invasive technologies in the surgical treatment of benign prostatic hyperplasia. *Journal of Biomedicine and Practice*. 2023; 8(3): 423-429. doi: 10.5281/zenodo.8166070
9. Гиясов Ш.И., Гафаров Р.Р. Сравнительный анализ методик электрохирургической и лазерной энуклеации доброкачественной гиперплазии предстательной железы. *Журнал биомедицины и практики*. 2021; 6(4): 151-159. [Giyasov SI, Gafarov RR. Comparative analysis of electrosurgical and laser enucleation methods of benign prostatic hyperplasia. *Journal of Biomedicine and Practice*. 2021; 6(4): 151-159. (In Russ.)]. doi: 10.26739/2181-9300-2021-4-22
10. Филимонов В.Б., Васин Р.В., Собенников И.С., Аналин Б.А., Широбакина Е.Ю. Сравнительная характеристика современных методов хирургического лечения доброкачественной гиперплазии предстательной железы (литературный обзор). *Наука молодых (Eruditio Juvenium)*. 2021; 9(2): 313-325. [Filimonov VB, Vasin RV, Sobennikov IS, Ananin BA, Shirobakina EYu. Comparative characteristics of modern methods of surgical treatment of benign prostate hyperplasia (literature review). *Science of the Young (Eruditio Juvenium)*. 2021; 9(2): 313-325. (In Russ.)]. doi: 10.23888/HMJ202192313-325
11. Еникеев Д.В., Лаухтина Е.А., Аршиев М.Р., Тараткин М.С., Аляев Ю.Г., Рапопорт Л.М., и др. Лазеры в урологии. *Вестник РАМН*. 2020; 75(2): 162-168. [Enikeev DV, Laukhina EA, Arshiev MR, Taratkin MS, Alyayev YuG, Rapoport LM, et al. The lasers in urology. *Annals of the Russian Academy of Medical Sciences*. 2020; 75(2): 162-168. (In Russ.)]. doi: 10.15690/vramn1196
12. Hartung FO, Kowalewski KF, von Hardenberg J, Worst TS, Kriegmair MC, Nuhn P, et al. Holmium versus thulium laser enucleation of the prostate: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Eur Urol Focus*. 2022; 8(2): 545-554. doi: 10.1016/j.euf.2021.03.024
13. Gauhar V, Nedbal C, Castellani D, Fong KY, Sofer M, Socarras MR, et al. Comparison between thulium fiber laser and high-power holmium laser for anatomic endoscopic enucleation of the prostate: A propensity score-matched analysis from the REAP registry. *Eur Urol Focus*. 2023; S2405-4569(23): 00150-00155. doi: 10.1016/j.euf.2023.06.009
14. Bozzini G, Berti L, Maltagliati M, Besana U, Micali S, Roche JB, et al. Thulium: YAG vs continuous-wave thulium fiber laser enucleation of the prostate: Do potential advantages of thulium fiber lasers translate into relevant clinical differences? *World J Urol*. 2023; 41(1): 143-150. doi: 10.1007/s00345-022-04201-1
15. Feng L, Zhang D, Tian Y, Song J. Thulium laser enucleation versus plasmakinetic enucleation of the prostate: A randomized trial of a single center. *J Endourol*. 2016; 30(6): 665-670. doi: 10.1089/end.2015.0867
16. Patard PM, Roumiguie M, Sanson S, Beauval JB, Huyghe E, Soulie M, et al. Endoscopic enucleation for prostate larger

than 60 mL: Comparison between holmium laser enucleation and plasmakinetic enucleation. *World J Urol.* 2021; 39(6): 2011-2018. doi: 10.1007/s00345-020-03382-x

17. Семёнычев Д.В., Володин М.А. Применение трансуретральной плазматической вапоризации простаты в хирургическом лечении ДГПЖ у пациентов с повышенным риском кровотечения. *Оригинальные исследования.* 2017; 4: 37-44. [Semenychev DV, Volodin MA. The use of transurethral plasma prostate vaporessection in the surgical treatment of BPH in patients with an increased risk of bleeding. *Original Research Journal.* 2017; 4: 37-44. (In Russ.)].

18. Jansen ED, van Leeuwen TG, Motamedi M, Borst C, Welch AJ. Temperature dependence of the absorption coefficient of water for midinfrared laser radiation. *Lasers Surg Med.* 1994; 14(3): 258-268. doi: 10.1002/lsm.1900140308

19. Kronenberg P, Traxer O. The laser of the future: Reality and expectations about the new thulium fiber laser – A systematic review. *Transl Androl Urol.* 2019; 8(Suppl 4): S398-S417. doi: 10.21037/tau.2019.08.01

20. Fried NM, Murray KE. High-power thulium fiber laser ablation of urinary tissues at 1.94 microm. *J Endourol.* 2005; 19(1): 25-31. doi: 10.1089/end.2005.19.25

21. Xu H, Wan X, Gu M, Chen Y, Shi Q, Chen Q, et al. Surgical treatment for benign prostatic hyperplasia: Holmium laser enucleation of the prostate (HoLEP). *J Vis Exp.* 2018; (133): 56683. doi: 10.3791/56683

22. Ma Y, Lin L, Luo Z, Jin T. Network meta-analysis of the treatment safety and efficacy of different lasers in prostate enucleation. *J Endourol* 2022; 36(12): 1613-1624. doi: 10.1089/end.2022.0282

23. Gu C, Zhou N, Gurung P, Kou Y, Luo Y, Wang Y, et al. Lasers versus bipolar technology in the transurethral treatment of benign prostatic enlargement: A systematic review and meta-analysis of comparative studies. *World J Urol.* 2020; 38(4): 907-918. doi: 10.1007/s00345-019-02852-1

Сведения об авторах

Нотов Иван Константинович – аспирант кафедры гистологии, эмбриологии и цитологии им. проф. М. Я. Субботина, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России; врач-уролог урологического центра, ЧУЗ «Клиническая больница «РЖД-Медицина» г. Новосибирск», e-mail: notovivan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6622-4232>

Залавина Светлана Васильевна – доктор медицинских наук, заведующая кафедрой гистологии, эмбриологии и цитологии им. проф. М.Я. Субботина, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, e-mail: zalavinasv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3405-5993>

Машак Светлана Владимировна – доктор медицинских наук, профессор кафедры гистологии, эмбриологии и цитологии им. проф. М. Я. Субботина, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, e-mail: man4949@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4450-8300>

Бгатова Наталья Петровна – доктор биологических наук, профессор, заведующая лабораторией ультраструктурных исследований, Научно-исследовательский институт клинической и экспериментальной лимфологии – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН», e-mail: n.bgatova@nsu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4507-093X>

Позднякова Светлана Васильевна – доктор биологических наук, профессор кафедры фармакологии, клинической фармакологии и доказательной медицины, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, e-mail: svetpozdneyakova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2038-5131>

Савченко Сергей Владимирович – доктор медицинских наук, профессор кафедры судебной медицины, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, e-mail: dr.serg62@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8525-5883>

Нотов Константин Геннадьевич – кандидат медицинских наук, ассистент кафедры урологии, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России; заведующий урологическим центром, ЧУЗ «Клиническая больница «РЖД-Медицина» г. Новосибирск», e-mail: notov@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8433-6577>

Information about the authors

Ivan K. Notov – Postgraduate at the Department of Histology, Embryology and Cytology named after Professor M.Ya. Subbotin, Novosibirsk State Medical University; Urologist at the Urological Center, Clinical Hospital “RZD-Medicine” of Novosibirsk, e-mail: notovivan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6622-4232>

Svetlana V. Zalavina – Dr. Sc. (Med.), Head of the Department of Histology, Embryology and Cytology named after Professor M.Ya. Subbotin, Novosibirsk State Medical University, e-mail: zalavinasv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3405-5993>

Svetlana V. Mashak – Dr. Sc. (Med.), Professor at the Department of Histology, Embryology and Cytology named after Professor M.Ya. Subbotin, Novosibirsk State Medical University, e-mail: man4949@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4450-8300>

Nataliya P. Bgatova – Dr. Sc. (Biol.), Professor, Head of the Laboratory of Ultrastructural Research, Research Institute of Clinical and Experimental Lymphology – Branch of the Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, e-mail: n.bgatova@nsu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4507-093X>

Svetlana V. Pozdneyakova – Dr. Sc. (Biol.), Professor at the Department of Pharmacology, Clinical Pharmacology and Evidence-Based Medicine, Novosibirsk State Medical University, e-mail: svetpozdneyakova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2038-5131>

Sergey V. Savchenko – Dr. Sc. (Med.), Professor at the Department of Forensic Medicine, Novosibirsk State Medical University, e-mail: dr.serg62@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8525-5883>

Konstantin G. Notov – Cand. Sc. (Med.), Teaching Assistant at the Department of Urology, Novosibirsk State Medical University; Head of the Urological Center, Clinical Hospital “RZD-Medicine” of Novosibirsk, e-mail: notov@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8433-6577>