

данного параметра в наборе функций № 4 приводит к повышению количества горячих пятен в контуре СТВ при сохранении уровня облучения РТВ на уровне плана № 3. Снижение лучевой нагрузки на стенку мочевого пузыря и переднюю стенку прямой кишки успешно достигается применением биологической функций «Serial», как видно из планов № 3-7. При этом уровень покрытия мишеней снижается. Применение физических весовых функций для данной, достаточно простой, анатомии приводит к снижению уровня покрытия мишеней и существенному увеличению количества требуемых МЕ и времени облучения.

Также следует отметить план № 7, основанный только на биологических функциях оптимизации для мишеней. Для этого плана характерны быстрый расчет и высокое значение дозы в контуре СТВ, которое, однако, не выходит за пределы 110 % от величины предписанной дозы, доставленной в 2 % объема. Недостатком плана № 7 по сравнению с планом № 3 является увеличение на 13 % количества требуемых мониторинговых единиц.

Использование при планировании только физических функций оптимизации (планы № 1 и 2) приводит к существенной неэффективности разработанных планов, которые требуют почти в 1,6 раза больше мониторинговых единиц и при этом дают очень низкую дозу в контуре СТВ.

Заключение

Использование биологических функций оптимизации при дозиметрическом планировании объемно-лучевой терапии в системе «Мопасо» позволяет в 1,5...2 раза снизить количество требуемых мониторинговых единиц, время облучения и время планирования с одновременным повышением уровня покрытия мишеней и снижением лучевой нагрузки на критические органы. Применение биологических функций оптимизации помогает повысить эффективность работы оборудования, снижая энергозатраты при одновременном повышении качества получаемых планов.

Список литературы:

1. Diot Q., Kavanagh B., Timmerman R., Miften M. Biological-based optimization and volumetric modulated arc therapy delivery for stereotactic body radiation therapy // *Medical Physics*. 2012. Vol. 39 (1). PP. 237-245.
2. Pyshniak V., Fotina I., Zverava A., Siamkouski S., Zayats E., Kopanitsa G., Okuntsau D. Efficiency of biological versus physical optimization for single-arc VMAT for prostate and head and neck cases // *Journal of Applied Clinical Medical Physics*. 2014. Vol. 15 (4). PP. 39-53.
3. Wang H., Cooper B.T., Schiff P., Sanfilippo N.J., Wu S.P., Hu K.S., Das I.J., Xuel J. Dosimetric assessment of tumor control probability in intensity and volumetric modulated radiotherapy plans // *British Journal of Radiology*. 2018. Vol. 92. Iss. 1094. Art. № 20180471.
4. Chidume C.E., Okereke L.C. Split Common Coincidence Point Problem: A Formulation Applicable to (Bio)Physically-Based Inverse Planning Optimization // *Symmetry*. 2020. Vol. 12 (12). Art. № 2086. PP. 1-16.

Евгения Сергеевна Сухих,
канд. физ.-мат. наук, начальник отдела,
отдел медицинской физики
радиотерапевтического отделения,
ОГАУЗ «Томский областной
онкологический диспансер»,
доцент,
Инженерная школа ядерных технологий,
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский
Томский политехнический университет»,
Леонид Григорьевич Сухих,
д-р физ.-мат. наук, доцент,
Исследовательская школа физики
высокоэнергетических процессов,
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский
Томский политехнический университет»,
г. Томск,
e-mail: e.s.sukhikh@gmail.com

*И.О. Грицков, А.А. Витославский, К.А. Кряжева, А.О. Васильев,
К.Б. Колонтарев, Д.Ю. Пушкарь*

Роботические системы в хирургии

Аннотация

Продемонстрированы результаты исследований, доказывающие, что хирургические вмешательства при помощи робота «Da Vinci» («Intuitive Surgical», США) имеют преимущество над традиционными методами радикального лечения рака предстательной железы. Собрана актуальная информация, связанная с роботическими технологиями в медицине на примере радикальной простатэктомии. Перечислены системы, находящиеся на стадии разработки модели хирургических систем. Рассмотрены достоинства, недостатки и предложенные пути улучшения самой распространенной хирургической системы, а также сделаны выводы о будущем внедрения принципа телемедицины в хирургию.

Преимущества робот-ассистированных операций при радикальной простатэктомии

На сегодняшний день в мире существует большое количество роботических технологий, способных облегчить труд многих специалистов, в том числе из области медицины. Самым знаменитым на данный момент роботом, созданным по принципу телемедицины, является «Da Vinci», разработанный компанией «Intuitive» (США) – монополиста в области робот-ассистированных операций. Роботические операции пользуются популярностью в области пульмонологии, офтальмологии, кардиологии, неврологии, а также абдоминальной хирургии, где основная масса операций приходится на урологические патологии, связанные с онкологическими заболеваниями.

Хирургические вмешательства при помощи «Da Vinci» («Intuitive», США) имеют преимущество над традиционными методами радикального лечения рака предстательной железы [1], [2].

Ретроспективное исследование, проведенное на кафедре урологии Московского государственного медико-стоматологического университета им. А.И. Евдокимова в Москве в 2017 году, сравнило функциональные результаты после проведения билатеральных нервосберегающих операций, таких как робот-ассистированная радикальная простатэктомия (РАРП) и радикальная позадилоная простатэктомия (РПП). Критериями оценки состояния здоровья пациентов стали следующие показатели: количество пациентов, удерживающих мочу, динамика восстановления удержания мочи (континен-

ции) и количество пациентов, восстановивших эрекцию. Спустя 12 мес. после операции полное удержание мочи наблюдалось у 49 (98 %) пациентов в группе РАРП и 48 (96 %) в группе РПП, причем в группе больных, перенесших РАРП, полное удержание мочи восстановилось спустя 4 мес. после операции, в то время как у пациентов, перенесших РПП, – спустя 6 мес. ($p < 0,05$). Восстановление эректильной функции (ЭФ) спустя 12 мес. после операции было удовлетворительным у 37 (74 %) пациентов из группы РАРП и у 12 (24 %) из группы РПП. Восстановление ЭФ после РАРП происходило быстрее в группе РАРП – уже через 3 мес. после операции эрекция была отмечена у 32 % пациентов, в то время как в группе РПП – только у 4 % ($p < 0,05$). Полученные результаты показали значительное преимущество РАРП над РПП по всем критериям оценки состояния здоровья пациентов [3].

Преимущество робот-ассистированных операций и минимально-инвазивных методов лечения над открытыми хирургическими вмешательствами было доказано и в исследованиях кафедры урологии Университета Сельчук города Конья (Турция). Полученные результаты говорят о существенной разнице между средним объемом кровопотери в операциях с применением телемедицины и другими видами хирургического лечения (234 мл при робот-ассистированной против 602 мл при открытой и 526 мл при лапароскопической операциях) [4]. Из преимуществ роботической хирургии были выделены отсутствие потребности в долгой катетеризации и уменьшение времени госпитализации пациента.

Те же факты подтверждают исследования, проведенные Департаментом эпидемиологии и профилактической медицины города Мельбурн (Австралия). В ходе изучения результатов двух рандомизированных исследований трех типов операции на простате было выяснено, что при роботическом хирургическом вмешательстве необходимость в послеоперационном переливании крови снижается до 68 случаев на 1000 пациентов [5].

Системы «Da Vinci»

Роботизированная хирургическая система «Da Vinci» состоит из трех компонентов: консоли управления, тележки пациента и видеостойки. На консоли хирурга находится панель с кнопками, управляющими расположением бинокля, переключением между трехмерным и двухмерным изображениями, переключением между широкоугольной и обычной линзами, регулировкой масштабирования движений [2].

Выпущенная в 2009 году система «Da Vinci Si» («Intuitive», США) имеет в своем арсенале функцию «TilePro», позволяющую накладывать на изображение операционного поля на консоли хирурга изображения со сторонних источников. Данная функция позволяет хирургам лучше и быстрее ориентироваться на операционном поле при использовании ее совместно со снимками компьютерной или магнитно-резонансной томографии. Вместе с торговой маркой «FireFly» (США) было разработано оборудование для интраоперационного введения биофлуоресцирующего раствора с последующим проецированием его на экране операционного поля, что позволяет в реальном времени наблюдать за эффектом флуоресценции [6]-[8]. Данную систему также возможно использовать с эффектом автофлуоресценции, где фотомаркером для датчиков являются эндогенные флуорофоры клеток в лице патологических белков [9].

Сегодня от компании-производителя доступен широкий спектр инструментов системы «EndoWrist» («Intuitive», США), которые подключаются к роботическим рукам тележки пациента. Каждый инструмент может быть использован не более чем в десяти операциях, после чего аппарат деактивирует его.

В видеостойке системы находятся: инсuffлятор, блоки управления двух камер, источник света для визуализации операционного поля через оптоволокно, монитор с дублирующим изображением с консоли хирурга. Изображение с камер передается на консоль хирурга и на отдельные мониторы, которые через систему зеркал имитируют бинокулярное зрение. Часто-

та кадров контролируется синхронизатором для купирования эффекта качивания у хирурга [10].

История развития систем «Da Vinci» включает в себя пять поколений, из которых на данный момент доступны две последних версии: «X» и «Xi». Главными отличиями от предыдущих версий является использование 8-миллиметровой оптики с поддержкой 3D FullHD совместно с функцией флуоресценции, а также возможность использования четырех роботических рук с функцией диспозиции стола без отсоединения троакаров [11].

Своими достижениями в области медицинских роботов компания «Intuitive Surgical» установила высокую планку не только в технической составляющей роботических систем, но и в инфраструктуре вокруг них. Сегодня благодаря таким инфраструктурам вокруг «Da Vinci» любой хирург может обучиться работе с данной системой, улучшая свои навыки на эмуляциях и просмотре огромной библиотеки видеозаписей операций, накопленных компанией за годы функционирования системы.

Улучшения системы «Da Vinci»

Пяти- и восьмимиллиметровые валы в конструкции инструментов сильно ограничивают использование системы «Da Vinci» в педиатрии, нейрохирургии и отоларингологии. Это привело к переосмыслению конструкции инструмента и изобретению новых, двухмиллиметровых, инструментов. Конструкция данного изобретения состоит из титановой трубки, имеющей асимметричные выемки, позволяющие ей сгибаться в разных направлениях. Контроль за направлением движения инструмента осуществляется через три тросика, выходящих наружу трубки на уровне первой медиальной выемки и находящихся по окружности трубки каждые 120°. Прикрепление к трубке осуществляется при помощи маленьких стальных колец, а дистально крепление осуществляется уже к корпусу рабочего инструмента. Такое расположение тросиков позволяет выполнять сгибание неполноценной трубки инструмента не только в трех основных направлениях (в сторону подтягивающего тросика), но и в дополнительных направлениях между ними при помощи тяги двух тросиков одновременно. Сила натяжения одного из двух тросиков в таком случае способна регулировать силу сгибания трубки в одном или другом направлении, что предоставляет нам возможность сгибать инструмент в любую сторону в пределах полусферы от конца цельной трубки инструмента [12].

Система «Da Vinci» не способна предоставлять отзыв при движении инструмента с приложением силы к нему. То есть хирург может лишь визуально предполагать наличие сопротивления движению двух роботических рук, что усложняет некоторые моменты операций и увеличивает не только время обучения работы на роботизированной системе, но и количество интраоперационных осложнений [13], [14]. Для хирурга, имеющего опыт в малоинвазивной хирургии, обучение робот-ассистированной простатэктомии занимает примерно 40...60 случаев, а для хирурга без опыта данная работа займет около 80...100 случаев [15]. Необходимость в тактильной чувствительности с целью снижения количества осложнений доказывают проведенные исследования [16], [17].

Существуют датчики давления, которые легко устанавливаются на губки инструмента. Основу данного приспособления составляют два самых маленьких производимых в промышленных масштабах пьезорезистивных датчика давления «FlexiForce A101» («Tekscan, Inc.», США). Сам тактильный модуль состоит из двух деталей: подвижной платформы и корпуса модуля, который крепится на губки инструмента. Между подвижной платформой и корпусом модуля крепится пьезорезистивный датчик. Сам же подвижный элемент при воздействии на него утапливается в корпус модуля, оказывая давление на пьезорезистивный датчик через силиконовую прокладку. На консоли хирурга также устанавливаются модули, включающие в себя вибромоторы, которые в зависимости от сигнала, передающегося с датчиков давления, вибрируют с

соответствующей интенсивностью, предоставляя хирургу возможность судить о давлении, возлагающемся на губки инструмента [13].

Другое же улучшение для системы «Da Vinci» также сконструировано на основе простых пьезорезистивных датчиков давления «FlexiForce A101» («Tekscan, Inc.», США), которые без твердого корпуса надеваются на губки инструмента. На консоли хирурга при помощи полосок Velcro крепятся силиконовые воздушные баллоны, подобранные под размер подушечек пальцев хирурга. Компьютер распознает давление, оказываемое на губки инструмента, и накачивает воздух в силиконовые баллоны в соответствии с сигналом с датчиков. Для каждого датчика на элемент ручного управления надевается свой воздушный резервуар, что позволяет оценивать давление с обеих сторон воздействия либо использовать данную систему лишь с одним датчиком давления [14].

Также есть улучшение, которое воссоздает тактильные ощущения на консоли хирурга – система «Verrotouch» («The Penn Haptics Group», США). Она основана на тех же вибромодулях, которые присоединяются к джойстикам, и модуле с датчиком акселерометра, установленном на корпус интерфейсов приводов. Датчик регистрирует любые вибрации в ходе операции и передает их на джойстик хирурга [18].

Помимо простых датчиков существует информация о концепции изготовления многослойного электронного материала, схожего по строению с человеческой кожей. После внедрения в системы полупроводников углерода и создания первого органического транзистора будет возможно преобразование механического и химического воздействия в электрические сигналы. При этом каждый слой искусственной кожи будет воспринимать определенные «раздражители». Основными задачами данного изобретения являются передача тактильной чувствительности при минимальном весе устройства и регистрация давления совместно с дополнительными регистрирующими датчиками. Интеграция таких устройств потребует использования биосовместимых и биоразлагаемых компонентов, что обуславливает малый вес и инертность материала изготовления в водных средах. Данной технологией открывается широкий спектр применений, в том числе и совместно с роботизированными технологиями в хирургии [19].

Доступные роботические системы

«Revo-i» («Meegesompany», Республика Корея)

Прошедшая клинические испытания корейская роботическая система имеет аналогичный функционал с «Da Vinci X». Главным отличием модели являются собственные инструменты, которые можно использовать до двадцати раз. Согласно исследованиям, система обратной связи «Revo-I» изменила кривую обучения хирургов, уменьшив время их практической подготовки при сохранении ее уровня. Данная система была клинически испытана на семнадцати радикальных простатэктомиях, но еще не одобрена FDA, из-за чего юридически доступна только в Южной Корее с 2016 года [20], [21].

«Senhance Surgical Robotic System» («Transenterix», США)

Данная система состоит из четырех независимых рук-манипуляторов и консоли открытого типа. От остальных роботических систем «Senhance» выгодно отличается нерегламентированным количеством случаев использования инструментов с поддержкой системы тактильной чувствительности, а также независимыми друг от друга роботическими руками-манипуляторами [22]. Каждый манипулятор стоит на собственной платформе, что позволяет их расставлять вокруг стола в зависимости от условий хирургического вмешательства. Консоль хирурга имеет открытый тип и может быть адаптирована под использование любой трехмерной оптики. Управление оптической системой происходит посредством системы захвата взгляда хирурга, а рук-манипуляторов – при помощи джойстиков, схожих по строению с браншами лапароскопических инструментов [20], [23].

«Flex» («Medrobotics Inc.», США)

Данная хирургическая система сильно отличается от вышеописанных своей монолитностью. На одной аппаратной стойке сочетаются как консоль хирурга, так и единственная роботическая рука, способная изгибаться под любым углом. Гибкая трубка-рука робота уже содержит в себе эндоскоп, а две дополнительные параллельные полости в ней нужны для проведения к операционному полю гибких микроинструментов. Предназначенная для однопортовых операций система «Flex» хорошо зарекомендовала себя в трансоральных операциях и хирургических вмешательствах в труднодоступных местах, где прямые инструменты не способны обеспечить достаточную мобильность [24]-[26].

Роботические системы, находящиеся в стадии разработки

В период с 2016 по 2019 гг. истек срок действия ключевых патентов «Intuitive Surgical», что привело к росту конкуренции в сфере роботизированной хирургии. Несмотря на то что много патентов все еще принадлежат компании-монополисту, большое число новых хирургических систем уже готовы перейти к этапу клинических испытаний [24], [27].

«Micro Hand S» (Университет Тяньцзиня, КНР)

Прошедшие клинические испытания китайский клон «Da Vinci» следует тем же принципам телехирургии, что и оригинал. Однако в отличие от оригинальной системы здесь используются более дешевые и доступные материалы. Также были изменены роботические манипуляторы, где один из составов конструкции переместили медальнее, что увеличило количество степеней свободы инструмента до шести [28], [29].

«Versius» («CMR Surgical Ltd.», Англия)

Главной особенностью данной системы является наличие отдельных аппаратных платформ для каждой из семи рук-манипуляторов, которые могут быть адаптированы под любые условия оперативного вмешательства. Управление производится при помощи джойстиков на консоли хирурга, а трехмерная визуализация происходит посредством ношения специальных очков, поляризующих изображение с монитора консоли. Также на элементах управления присутствует тактильная обратная связь. Данная система была опробована на трупном материале при резекции ободочной кишки. В операции принимали участие два хирурга, которые работали одновременно на двух разных консолях. Один из них выполнял трансректальную часть операции, а второй – трансабдоминальную. Теоретическая выгода данного эксперимента заключается в сокращении времени хирургического вмешательства за счет двусторонней работы, что ведет к уменьшению энергозатрат хирурга [22], [30].

Проблемы создания новых роботических систем

Не только патенты «Intuitive» препятствуют созданию новых систем телехирургии, но и созданная вокруг их роботической системы мощная инфраструктура. Каждый аппарат компании подключен к сети Интернет и передает все данные об оперативных вмешательствах на сервер, где формируются базы данных для последующего обучения хирургов и ведения статистики по разным критериям операций. Подобный подход помогает системе совершенствоваться при обучении на собственных ошибках.

Заключение

Хирургические вмешательства, проведенные при помощи роботических технологий, несомненно, имеют ряд преимуществ по сравнению с классическими методами. Малоинвазивные доступы и наличие коагуляторов способствуют уменьшению кровопотери и, как следствие, уменьшению количества интраоперационных осложнений. Масштабирование движений рук хирурга, которые передаются на манипуляторы мень-

шего размера, увеличивает хирургическую точность и четкость выполнения движений. Впоследствии эти факторы снижают время реабилитации пациента после операции, что ведет к уменьшению времени его пребывания в стационаре, а также к уменьшению затрат на каждый клинических случай. Компания «Intuitive» установила высокую планку, которой должны соответствовать другие компании при создании роботов. Вместе с прогрессом в сфере роботизированных технологий должно расти и умение хирургов, работающих на данных аппаратах. Золотым стандартом некоторых урологических и онкологических хирургических вмешательств уже давно стала робот-ассистированная хирургия. Специалисты должны следить за инновациями и осваивать все новые и новые горизонты, которые открывает перед ними уже наступившее будущее.

Список литературы:

1. Пушкарь Д.Ю., Говоров А.В., Васильев А.О., Колонтарев К.Б., Прилепская Е.А., Ковылина М.В., Садченко А.В., Сидоренко А.В. Московская программа ранней диагностики и лечения РПЖ // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. 2019. № 27. С. 677-686.
2. Ballantyne G.H., Moll F. The da Vinci telerobotic surgical system: The virtual operative field and telepresence surgery // Surgical Clinics of North America. 2003. № 83. Vol. 6. PP. 1293-1304.
3. Пушкарь Д.Ю., Дьяков В.В., Котенко Д.В., Васильев А.О. Сравнение функциональных результатов после радикальной позадилонной и робот-ассистированной простатэктомий, выполненных по нервосберегающей методике хирургами с опытом более 1000 операций // Урология. 2017. № 1. С. 50-53.
4. Akand M., Celik O., Avcı E., Duman I., Erdogru T. Open, laparoscopic and robot-assisted laparoscopic radical prostatectomy: Comparative analysis of operative and pathologic outcomes for three techniques with a single surgeon's experience // Eur. Rev. Med. Pharmacol. Sci. 2015. Vol. 4. № 19. PP. 525-531.
5. Dragan I., Sue M.E., Christie A.A., Jae H.J., Declan M., Frydenberg M. Laparoscopic and robot-assisted vs open radical prostatectomy for the treatment of localized prostate cancer: A Cochrane systematic review // Cochrane Database System Review. 2017. № 17. PP. 98-104.
6. Atallah S., Parra-Davila E., Melani A.G., Romagnolo L.G., Larach S.W., Marescaux J. Robotic-assisted stereotactic real-time navigation: Initial clinical experience and feasibility for rectal cancer surgery // Techniques in Coloproctology. 2019. Vol. 1. № 23. PP. 53-63.
7. Tobis S., Knopf J., Silvers C., Yao J., Rashid H., Wu G., Golijanin D. Near Infrared Fluorescence Imaging with Robotic Assisted Laparoscopic Partial Nephrectomy: Initial Clinical Experience for Renal Cortical Tumors // The Journal of Urology. 2011. Vol. 1. № 186. PP. 47-52.
8. Autorino R., Zargar H., White W.M. Current applications of nearinfrared fluorescence imaging in robotic urologic surgery: A systematic review and critical analysis of the literature // Urology. 2014. Vol. 4. № 84. PP. 751-752.
9. Gorpas D., Phipps J., Ma D., Dochow C., Yankelevich D., Sorger J., Popp J., Bewley A., Gandour-Edwards R., Marcu L., Farwell D.G. Autofluorescence lifetime augmented reality as a means for real-time robotic surgery guidance in human patients // Sci. Rep. 2019. Vol. 1. № 9. PP. 1187-1189.
10. Alhossaini R.M., Altamran A.A., Choi S., Roh C.K., Seo W.J., Cho M., Hyung W.J. Similar Operative Outcomes between the da Vinci Xi and da Vinci Si Systems in Robotic Gastrectomy for Gastric Cancer // Journal of Gastric Cancer. 2019. Vol. 2. № 19. PP. 165-170.
11. Rassweiler J.J., Goetzen A.S., Rassweiler-Seyfried M.C., Liatsikos E., Bach T., Stolzenburg J.U., Klein J. Der Roboter in der Urologie – Eine Analyse aktueller und Zukünftiger Gerätegenerationen // Der Urologe. 2018. Bd. 9. № 57. S. 1075-1090.
12. Francis P., Eastwood K.W., Bodani V., Looi T., Drake J.M. Design, Modelling and Teleoperation of a 2 mm Diameter Compliant Instrument for the da Vinci Platform // Annals of Biomedical Engineering. 2018. Vol. 46. PP. 1437-1449.
13. Abiri A., Askari S.J., Tao A., Juo Y.Y., Dai Y., Pensa J., Grundfest W. Suture Breakage Warning System for Robotic Surgery // IEEE Trans. Biomed. Eng. 2019. Vol. 4. № 66. PP. 1165-1171.
14. Saracino A., Deguet A., Staderini F., Boushaki M.N., Cianchi F., Menciasci A., Sinibaldi E. Haptic feedback in the da Vinci Research Kit (dVRK): A user study based on grasping, palpation and incision tasks // Int. J. Med. Robot. 2019. Vol. 4. № 15. PP. 1-13.
15. Patel H.R., Linares A., Joseph J.V. Robotic and laparoscopic surgery: Cost and training // Surgical Oncology. 2009. Vol. 3. № 18. PP. 242-246.
16. Abiri A., Tao A., LaRocca M., Guan X., Askari S.J., Bisley J.W., Grundfest W.S. Visual-perceptual mismatch in robotic surgery // Surgical Endoscopy. 2016. Vol. 8. № 31. PP. 3271-3278.
17. Meccariello G., Faedi F., AlGhamdi S., Montevecchi F., Firinu E., Zanotti C., Vicini C. An experimental study about haptic feedback in robotic surgery: May visual feedback substitute tactile feedback? // Journal of Robotic Surgery. 2015. Vol. 1. № 10. PP. 57-61.
18. McMahan W., Gewirtz J., Standish D., Martin P., Kunkel J.A., Lilavois M., Kuchenbecker K.J. Tool Contact Acceleration Feedback for Telerobotic Surgery // IEEE Transactions on Haptics. 2011. Vol. 3. № 4. PP. 210-220.
19. Sokolov A.N., Tee B.C., Bettinger C.J., Tok J.B., Bao Z. Chemical and Engineering Approaches to Enable Organic Field-Effect Transistors for Electronic Skin Applications // Accounts of Chemical Research. 2011. Vol. 3. № 45. PP. 361-371.
20. Rao P.P. Robotic surgery: New robots and finally some real competition! // World J. Urol. 2018. Vol. 4. № 36. PP. 537-541.
21. Lim J.H., Lee W.J., Park D.W., Yea H.J., Kim S.H., Kang C.M. Robotic cholecystectomy using Revo-i Model MSR-5000, the newly developed Korean robotic surgical system: A preclinical study // Surg. Endosc. 2017. Vol. 8. № 31. PP. 3391-3397.
22. Atallah S., Parra-Davila E., Melani A.G. Assessment of the Versius surgical robotic system for dual-field synchronous transanal total mesorectal excision (taTME) in a preclinical model: Will tomorrow's surgical robots promise newfound options? // Techniques in Coloproctology. 2019. Vol. 5. № 23. PP. 471-477.
23. Fanfani F., Restaino S., Gueli Alletti S., Fagotti A., Monterossi G., Rossitto C., Costantini B., Scambia G. TELELAP ALF-X robotic-assisted laparoscopic hysterectomy: Feasibility and perioperative outcomes // Minim. Invasive Gynecol. 2015. Vol. 6. № 22. PP. 1011-1017.
24. Gosrisirikul C., Don Chang K., Raheem A.A., Rha K.H. New era of robotic surgical systems // Asian Journal of Endoscopic Surgery. 2018. Vol. 11. № 4. PP. 291-299.
25. Mattheis S., Hasskamp P., Holtmann L., Schäfer C., Geisthoff U., Dominas N., Lang S. Flex Robotic System in transoral robotic surgery: The first 40 patients // Head & Neck. 2016. Vol. 3. № 39. PP. 471-475.
26. Poon H., Li C., Gao W., Ren H., Lim C.M. Evolution of robotic systems for transoral head and neck surgery // Oral Oncology. 2018. № 87. PP. 82-88.
27. Rassweiler J.J., Autorino R., Klein J., Mottrie A., Goetzen A.S., Stolzenburg J.U., Liatsikos E. Future of robotic surgery in urology // BJU International. 2017. Vol. 6. № 120. PP. 822-841.
28. Yi B., Wang G., Li J., Jiang J., Son Z., Su H., Zhu S. The first clinical use of domestically produced Chinese minimally invasive surgical robot system «Micro Hand S» // Surgical Endoscopy. 2015. Vol. 6. № 30. PP. 2649-2655.
29. Yi B., Wang G., Li J., Jiang J., Son Z., Su H., Wang S. Domestically produced Chinese minimally invasive surgical

robot system «Micro Hand S» is applied to clinical surgery preliminarily in China // *Surgical Endoscopy*. 2016. Vol. 1. № 31. PP. 487-493.

30. *Peters B.S., Armijo P.R., Krause C., Choudhury S.A., Oleynikov D.* Review of emerging surgical robotic technology // *Surgical Endoscopy*. 2018. Vol. 4. № 32. PP. 1636-1655.

Игорь Олегович Грицков,
студент 6-го курса,
Институт клинической медицины
им. Н.В. Склифосовского,
ФГАОУ ВО «Первый Московский
государственный медицинский университет
им. И.М. Сеченова» Министерства
здравоохранения Российской Федерации
(Сеченовский Университет),
Антон Алексеевич Витославский,
студент 6-го курса,
Ксения Александровна Кряжева,
студент 6-го курса,
лечебный факультет,
ФГБОУ ВО «Московский государственный
медико-стоматологический университет
им. А.И. Евдокимова» Министерства
здравоохранения Российской Федерации,
Александр Олегович Васильев,
канд. мед. наук, ассистент,
кафедра урологии,
ФГБОУ ВО «Московский государственный
медико-стоматологический университет
им. А.И. Евдокимова» Министерства
здравоохранения Российской Федерации,

врач-уролог,
Городская клиническая больница
им. С.И. Спасокукоцкого Департамента
здравоохранения города Москвы,
врач-методист,
НИИ организации здравоохранения
и медицинского менеджмента
Департамента здравоохранения г. Москвы,
Константин Борисович Колонтарев,
д-р мед. наук, профессор,
кафедра урологии,
ФГБОУ ВО «Московский государственный
медико-стоматологический университет
им. А.И. Евдокимова» Министерства
здравоохранения Российской Федерации,
зав. онкоурологическим отделением,
Городская клиническая больница
им. С.И. Спасокукоцкого Департамента
здравоохранения города Москвы,
Дмитрий Юрьевич Пушкарь,
академик РАН,
д-р мед. наук, профессор,
заведующий кафедрой,
кафедра урологии,
ФГБОУ ВО «Московский государственный
медико-стоматологический университет
им. А.И. Евдокимова» Министерства
здравоохранения Российской Федерации,
врач-уролог,
Городская клиническая больница
им. С.И. Спасокукоцкого Департамента
здравоохранения города Москвы,
г. Москва,
e-mail: grickoff@mail.ru

Ю.А. Зуенкова

Анализ инженерно-технических параметров рентгенотерапевтических аппаратов и перспективы их дальнейшего совершенствования

Аннотация

Изучение опыта пользователей и предпочтений в отношении медицинского оборудования важно как для оптимальной организации работы отделения, так и с целью совершенствования разработок оборудования. Были проанализированы характеристики всех имеющихся на рынке моделей аппаратов, изучены предпочтения целевой аудитории и предложена таксономия идеального аппарата, удовлетворяющего потребностям целевой аудитории. Критерии выбора и требования к медицинскому оборудованию меняются под влиянием цифровой трансформации и изменений регламентов работы.

Введение

Рентгенотерапия – один из методов лучевой терапии. Наряду с гамма-терапевтическими аппаратами, брахитерапией и линейными ускорителями рентгенотерапевтические аппараты входят в стандарт оснащения отделения радиотерапии из расчета один аппарат на 800 тыс. населения [1]. Сегодня наблюдаются стремительное развитие и усложнение радиотерапевтической техники, которые обеспечивают существенное повышение качества лечения онкологических заболеваний. Однако усложнение технологий часто приводит к уменьшению пропускной способности аппаратов, а значит, к повышению затрат на приобретение новых аппаратов либо к снижению доступности медицинской помощи [2]. Рентгенотерапевтические кабинеты демонстрируют высокие показатели операционной эффективности, поэтому изучение опыта пользователей и потребительских предпочтений в отношении аппаратов дан-

ного типа важно как для решения проблемы оптимальной организации работы отделения лучевой терапии, так и с целью совершенствования разработок отечественного рентгенотерапевтического оборудования.

Цель и задачи исследования: провести анализ потребительских предпочтений в отношении рентгенотерапевтических аппаратов и их характеристик, оценить пользовательский опыт с целью применения полученных данных при планировании опытно-конструкторских разработок и дальнейшего совершенствования инженерно-технических параметров отечественного рентгенотерапевтического оборудования.

Материалы и методы

Единицей наблюдения настоящего исследования были респонденты – врачи-радиотерапевты, радиологи и медицинские физики. Онлайн-опросы проводились кафедрой организации здравоохранения, лекарственного обеспечения, медицин-