

**Ключевые слова:**

робототехника, мехатроника, биопринтинг, тканевая инженерия, регенеративная медицина

РОБОТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕДИЦИНЕ И БИОПРИНТИНГЕ

Юрий ПОДУРАЕВ

Рассмотрены существующие примеры применения роботических и мехатронных технологий в медицине. Дан обзор технологии биопринтинга, как наиболее современного и перспективного направления регенеративной медицины. Приведены примеры проектов по роботизации в области стоматологии и челюстно-лицевой хирургии.

Одними из ключевых направлений, которые обеспечат основу инновационного развития внутреннего рынка продуктов и услуг, а также устойчивого положения России на внешнем рынке, согласно стратегии научно-технического развития Российской Федерации, утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 года № 642, являются:

- переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям и роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования;
- переход к персонализированной медицине, высокотехнологичному здравоохранению и технологиям сбережения здоровья населения [1].

Осуществление развития по данным направлениям невозможно без глубокой интеграции роботических и мехатронных технологий во все сферы медицинской деятельности от диагностики и консультирования пациентов до робот-ассистированной хирургии.

Главной целью сотрудничества робототехники и медицины является повышение эффективности лечения и уменьшение рисков нанесения вреда здоровью человека при выполнении обследования или операции. Для достижения поставленной цели при создании медицинских робототехнических устройств необходимо использовать мехатронный подход, суть которого состоит в синергетическом объединении при конструировании элементов различной физической природы [2, 3].

Исторически первая роботизированная хирургическая система была разработана для нейрохирургии в 1985 году. Основу системы составлял манипулятор PUMA 650 со специальной оснасткой. Планирование движений манипулятора при операции осуществлялось по данным томографии. В настоящее время данная система не используется из-за повышенного риска для пациента во время операции [4].

Логическим развитием роботизированной хирургии стали системы RoboDoc (рис. 1 а), Aesop (рис. 1 б) и ZEUS (рис. 1 в). Данные системы не являются полностью автономными, главная их задача – ассистирование врачам при проведении различных хирургических вмешательств. Вершиной развития робот-ассистированной хирургии на сегодняшний день по праву считается комплекс Da Vinci, разработанный компанией Intuitive Surgical.

Основные преимущества, которые дает применение роботических технологий в хирургии на сегодняшний день таковы:

- расширение естественных манипулятивных и сенсорных возможностей врача при диагностике или выполнении операции;
- обеспечение стабильного качества выполнения операций и обследований за счет исключения большинства случайных факторов, воздействующих на врача (тремор, произвольные движения рук и т.д.);
- повышение доступности высококвалифицированной медицинской помощи за счет проведения удаленных операций (телехирургия), обследований и др.



Рис. 1. Роботизированные хирургические комплексы: а – RoboDoc; б – Aesop; в – ZEUS (1 – рабочее место хирурга; 2 – манипулятор; 3 – рабочий инструмент; 4 – джойстики; 5 – стол пациента)

Перспективным развитием роботизированной хирургии является трансоральная хирургия, хирургия головы и шеи и гинекологическая хирургия. Стоит отметить, что к 2014 году появилось более 6000 публикаций, посвященных роботизированной хирургии, что свидетельствует о высоком интересе научного сообщества к данному направлению [4].

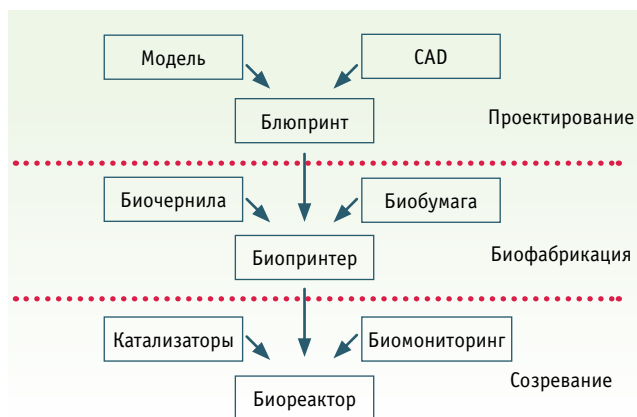


Рис. 2. Основные этапы биопринтинга

Основу технологии биопринтинга составляет 3D-печать, то есть послойное создание физического объекта на базе виртуальной трехмерной модели. В качестве физического объекта в биопринтинге выступают живые органы или отдельные их элементы, которые впоследствии пересаживаются пациенту [5, 6].

Основные концептуальные этапы при печати живых органов по технологии биопринтинга приведены на рис. 2 [7]. На этапе проектирования происходит создание так называемого блюпринта, то есть «чертежа» будущего органа с указанием особенностей его внутреннего строения. После создания блюпринта происходит его биофабрикация (печать). При этом используются биочернила, представляющие собой клеточные агрегаты, и биобумага – гидрогель, который будет служить основой каркаса будущего органа. Заключительным этапом биопринтинга является созревание напечатанного органа. При помощи специальных веществ в биореакторе происходит трансформация клеточных конгломератов в тканевые структуры, пригодные для пересадки и обладающие требуемыми свойствами.

Применение роботических и мехатронных технологий в биопринтинге позволяет не только улучшить качество печати и разрешающую способность биопринтера, что дает возможность печатать органы с более сложной структурой, но и позволяет перейти к качественно новому этапу развития регенеративной медицины, то есть биопечати *in vivo* и *in situ*.

На сегодняшний день существуют концептуальные проекты лазерной биопечати *in situ* в стоматологии (рис. 3 а) и *in vivo* в хирургии (рис. 3 б) [8]. Ключевой особенностью данных проектов является использование роботов-манипуляторов для перемещения экструдера при печати тканей.

Как следует из представленного выше обзора, применение роботических технологий в медицине обеспечивает достижение качественно новых результатов в лечении и диагностике многих заболеваний. На сегодняшний день в МГТУ «СТАНКИН» совместно с МГМСУ им. А.И. Евдокимова реализуются два проекта по роботизации в стоматологии и челюстно-лицевой хирургии.

→ Разработка экспериментального обоснования модели роботизированного multifunctional хирургического комплекса с лазерным рабочим органом. В рамках выполнения проекта был разработан стенд роботизированного хирургического комплекса, включающий в себя следующие подсистемы: манипуляционный робот-ассистент, мануальный тренажерный комплекс, фантом головы пациента и рабочее место хирурга. Результаты этой работы

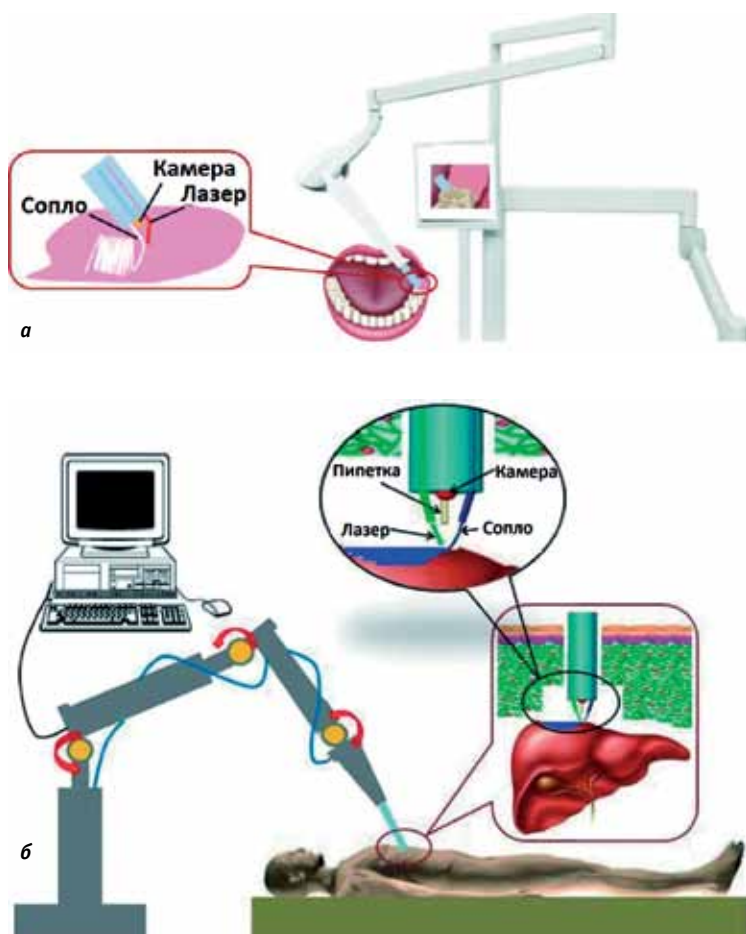


Рис. 3. Применение роботов для биопечати: а – печать in situ; б – печать in vivo

были продемонстрированы в эфире программы «Здоровье» с Еленой Малышевой, выходящей на Первом канале. На данный момент для правовой защиты интеллектуальных результатов разработки в «Федеральный институт промышленной собственности» поданы две заявки на патент и полезную модель.

→ Разработка методов построения и компьютерного моделирования пространственных 3D-зон для безопасных движений медицинских инструментов в робото-ассистированной хирургической системе с целью создания перспективных робото-ассистированных хирургических систем, обладающих свойствами и характеристиками, которые принципиально превышают возможности естественных систем человека-оператора (механических, сенсорных, интеллектуальных) при мануальной хирургии за счет новых функциональных возможностей медицинских роботов.

Результаты исследований в этом направлении предполагается использовать при обучении и атте-

стации врачей различных направлений хирургии, а также в учебных дисциплинах, связанных с проектированием и применением медицинских робототехнических систем.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках выполнения государственного задания (9.3408.2017/ПЧ).

ЛИТЕРАТУРА

1. Указ Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации».
2. Подураев Ю.В. Мехатроника: основы, методы, применение: учебное пособие для студентов вузов. — М.: Машиностроение, 2006. 256 с.
3. Подураев Ю.В. Актуальные проблемы мехатроники // Мехатроника, автоматизация управление. 2007. № 4. С. 50–53.
4. Колонтарев К.Б., Пушкарь Д.Ю., Говоров А.В., Шептунов С.А. История развития роботических технологий в медицине // Известия ВУЗов. Поволжский регион. Медицинские науки. 2014. № 4 (32). С. 125–140.
5. Mironov V., Boland T., Trusk T., Forgacs G., Markwald R. Organ printing: computer-aided jet-based 3D tissue engineering. Trends Biotechnol. 2003. № 21. P. 157–161.
6. Mironov V., Kasyanov V., Markwald R. Organ printing: from bioprinter to organ biofabrication line. Current Opinion in Biotechnology. 2011. № 22. P. 667–673.
7. Миронов В.А. Технология трехмерной биопечати [Электронный ресурс] URL: http://umedp.ru/news/vladimir_aleksandrovich_mironov_tekhnologiya_trekhmernoj_biopechati.html. Дата доступа 30.03.2017.
8. Manyi Wang, Jiankang He, Yaxiong Liu, Meng Li, Dichen Li1, Zhongmin Jin The trend towards in vivo bioprinting. International Journal of Bioprinting. 2015. № 1. Vol. 1. P. 15–26.

ПОДУРАЕВ Юрий Викторович –
доктор технических наук, заведующий кафедрой
робототехники и мехатроники
МГТУ «СТАНКИН»