

<https://doi.org/10.29188/2712-9217-2024-10-4-33-37>

Создание системы 3D-визуализации сердца по результатам ЭхоКГ

Научно-исследовательская работа

П.Н. Подвойский¹, Р.Х. Абдюханов²

¹ ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И. М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский университет); стр. 2, дом 8, ул. Трубецкая, Москва, 119991, Россия

² ФГБУ НМИЦ кардиологии им. ак. Е. И. Чазова Минздрава России; стр. 3, дом 15А, ул. Академика Чазова, Москва, 121552, Россия

Контакт: Подвойский Павел Николаевич, pavelxx66@gmail.com

Аннотация:

За последние 30 лет 3D-технологии при эхокардиографических исследованиях стремительно развились и в настоящее время получили широкое распространение. В России трехмерная эхокардиография впервые начала проводиться в 1998 году в Научном центре сердечно-сосудистой хирургии им. А. Н. Бакулева, где в 2007 году стали применять новый метод количественного анализа конфигурации митрального клапана – Mitral Valve Quantification.

Создаются и исследуются технологии 3D-визуализации, применяемые при планировании хирургических вмешательств. В таких технологиях трехмерные модели органов и систем формируются при анализе изображений, полученных с помощью медицинской аппаратуры.

В проекте системы 3D-визуализации сердца по данным ЭхоКГ предлагается генерировать персонализированную 3D-модель сердца из готовой модели сердца здорового среднестатистического человека, а в качестве медицинских данных использовать результаты ультразвукового исследования сердца. Успех кардиохирургических операций во многом зависит от наглядного анализа развития патологии, качественной и количественной оценки характера нарушений, вариантов их коррекции. Технология 3D-визуализации сердца по результатам эхокардиографии позволит врачам получить более наглядное представление о характере и механизме развития кардиологической патологии, ее локализации, а также провести подготовительную виртуальную хирургическую операцию.

Ключевые слова: 3D-ЭхоКГ; ЭхоКГ; эхокардиография; трехмерная эхокардиография; 3D-модель сердца; виртуальная хирургия.

Для цитирования: Подвойский П.Н., Абдюханов Р.Х. Создание системы 3D-визуализации сердца по результатам ЭхоКГ. Российский журнал телемедицины и электронного здравоохранения 2024;10(4):33-37; <https://doi.org/10.29188/2712-9217-2024-10-4-33-37>

Creation of a 3D cardiac visualization system based on echocardiography results

Research work

<https://doi.org/10.29188/2712-9217-2024-10-4-33-37>

P.N. Podvoysky¹, R.Kh. Abdyukhanov²

¹ Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University); Bldg. 2, Bldg. 8, Trubetskaya St., Moscow, 119991, Russia

² Federal State Budgetary Institution National Medical Research Center of Cardiology named after Academician E. I. Chazov of the Ministry of Health of the Russian Federation; building 3, building 15A, st. Academician Chazova, Moscow, 121552, Russia

Contact: Pavel N. Podvoysky, pavelxx66@gmail.com

Summary:

Over the past 30 years, 3D technologies in echocardiographic studies have rapidly developed and are widely used now. In Russia, three-dimensional echocardiography was performed in 1998 at the Bakoulev National Medical Research Center for Cardiovascular Surgery. In 2007 a new method of quantitative analysis for mitral valve – Mitral Valve Quantification – was introduced there.

In addition, 3D-visualization technologies are being created and researched. Now they become widely used in planning of surgical interventions. In such technologies, three-dimensional models of organs and systems can be formed by computer analyzing medical images. The project of system for 3D-imaging of the heart based on echocardiogram contains ready-made heart model of a healthy average person. This model can change configuration according to echo test so a personalized 3D heart model can be presented. The success of cardiac surgery largely depends on visual analysis of pathology development, qualitative assessment of the abnormalities, and options for their correction. The technology for 3D imaging of the heart based on echocardiogram results will allow surgeons to get a clearer picture of the localization, etiology and mechanism of cardiac pathology, as well as to conduct a preparatory virtual surgical operation.

Key words: 3D EchoCG; EchoCG; echocardiography; echocardiogram; three-dimensional echocardiogram; 3D heart model; virtual surgery; VR surgery.

For citation: Podvoysky P.N., Abdyukhanov R.Kh. Creation of a 3D cardiac visualization system based on echocardiography results. Russian Journal of Telemedicine and E-Health 2024;10(4):33-37; <https://doi.org/10.29188/2712-9217-2024-10-4-33-37>

■ ВВЕДЕНИЕ

За последние 30 лет 3D-технологии при эхокардиографических исследованиях стремительно развились, и в настоящее время получили широкое распространение. В России трехмерная эхокардиография впервые начала проводиться в 1998 году в Научном центре сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева, где в 2007 году стали применять новый метод количественного анализа конфигурации митрального клапана – Mitral Valve Quantification.

Создаются и исследуются технологии 3D-визуализации, применяемые при планировании хирургических вмешательств. В таких технологиях трехмерные модели органов и систем формируются при анализе изображений, полученных с помощью медицинской аппаратуры.

Разработка системы генерации персонализированной трехмерной модели сердца по результатам проведения эхокардиографии имеет ряд значительных преимуществ. Компьютерная анатомическая модель сердца пациента должна быть создана на основе готовой 3D-модели сердца здорового среднестатистического человека. Предполагается, что готовая модель будет видоизменяться в зависимости от вводимых в протокол ультразвукового исследования

данных: размеров камер сердца, степеней недостаточности клапанов, наличия зон нарушения сократимости миокарда и т.п. Таким образом будет возможно получить индивидуализированное трехмерное изображение сердца пациента и провести предварительную виртуальную хирургическую коррекцию патологии. Ожидается, что автоматизированные хирургические операции с использованием компьютерных технологий позволят лучше планировать оперативные вмешательства, ускорят их и дополняют образовательный процесс врачей-хирургов.

■ РЕШАЕМАЯ ПРОБЛЕМА

Кардиохирургическая операция – это трудоемкая процедура, для проведения которой специалист должен длительно обучаться и владеть необходимыми навыками на высоком уровне. Зачастую для таких манипуляций требуются большие временные затраты. Например, средняя продолжительность операции на митральном клапане составляет от 3 до 6 часов, однако длительность может быть различной и зависит от клинико-диагностической картины болезни каждого конкретного пациента. Также индивидуально оценивается возмож-

ность использования малоинвазивных технологий, позволяющих значительно сократить реабилитационный период и время пребывания в стационаре. Таким образом, каждый пациент требует индивидуального и тщательного подхода при диагностике и лечении кардиологической патологии. Именно поэтому в России в рамках национального проекта «Продолжительная и активная жизнь» уже стартовала программа «Борьба с сердечно-сосудистыми заболеваниями», на которую в 2025 году заложено 11,6 млрд. рублей. При этом особое внимание уделено именно профилактике и диагностике заболеваний сердца. В проекте системы 3D-визуализации сердца по данным ЭхоКГ предлагается генерировать персонализированную 3D-модель и, таким образом, учитывать локализацию, характер и структурные особенности патологии каждого конкретного кардиологического пациента при планировании хирургического вмешательства. Предполагается, что возможность предварительной операции в виртуальном режиме не только сократит длительность хирургической процедуры, снизит риск интра- и послеоперационных осложнений, но и поможет решить проблему технических трудностей и временных затрат при обучении врачей-диагностов и кардиохирургов.

■ НОВИЗНА

В настоящее время используются отдельные технологии 3D-визуализации сердца. Это, прежде всего, 3D-эхокардиография с использованием специальных датчиков. Изображение получают тремя методами: Real-time или live 3D-визуализация, Multi-beat ЭКГ-синхронизированная визуализация и Multiplane-изображение. На основе этого были разработаны и стали применяться такие технологии, как Mitral Valve Quantification для оценки митрального клапана, 3D-моделированная миосептэктомия при гипертрофической кардиомиопатии. Подобные технологии применяются в некоторых научно-практических центрах, например, в Научном центре сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева и Республиканском научно-практическом центре «Кардиология» МЗ РБ соответственно. Однако опрос специалистов ЭхоКГ-диагностики показал, что изображения

при 3D-эхокардиографии недостаточно реалистичны и информативны, поскольку не выглядят как фотография анатомического препарата сердца. При создании проекта было решено уделить особое внимание фотографичности будущих 3D-моделей сердца, сделать их более наглядными как для диагностов, так и для хирургов. Планируется создать полноценную базу с 3D-моделями различных патологий и возможностью подключения VR-оборудования для проведения предварительных виртуальных хирургических операций. Необходимо, чтобы эту программу можно было установить в любом медицинском учреждении, где есть персональные компьютеры.

■ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Создан прототип программы для генерации персонализированной 3D-модели сердца по данным проведенного эхокардиографического исследования. Записано видео с демонстрацией функционала этой программы. Прототип содержит окно ввода логина и пароля врача, страницу главного меню, переход на страницу с протоколом исследования и кнопкой просмотра 3D-моделей в различных режимах; вкладку «хирургия» с кнопкой выхода в VR-режим для проведения виртуальной операции; вкладку «обучение» для тренировочных измерений на УЗИ-изображениях из базы. Для визуальной части прототипа использованы:

- Готовая трехмерная модель сердца «Beating Heart» со стока sketchfab.com (ник автора на информационном ресурсе – jalmer);
- Образцы 3D-моделей сердца, сосудов и органов средостения, созданных в программе VR Concept (одобрен доступ к демо-версии программы);
- Бланк протокола ЭхоКГ, используемый в НМИЦ кардиологии им. Чазова;
- Онлайн-сервис Figma для разработки интерфейса программы.

Для дальнейшей разработки программы планируется организовать команду разработчиков и распределить роли в соответствии с модулями: frontend-разработка – для создания меню программы, полей ввода данных, backend-разработка – для обработки введенных данных, 3D-моделирование – для создания ►►

3D-моделей, математическое моделирование – для создания алгоритмов модификации 3D-моделей. Также необходимо пригласить консультанта-эксперта в области ЭхоКГ и кардиохирургии.

■ ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Планируется разработка компьютерной программы с возможностью составления протокола УЗИ сердца и автоматической генерацией персонализированной трехмерной модели сердца пациента. У врача УЗИ будет возможность внести правки или скорректировать полученную модель в ручном режиме, сравнить ее с 2D- или 3D-изображением с экрана аппарата. Модифицированная в соответствии с параметрами УЗИ-протокола 3D-модель будет использоваться для диагностики и предварительной виртуальной хирургической коррекции патологий. Банк 3D-моделей различных патологий сердца станет основой для повышения качества обучения кардиохирургов и врачей-диагностов. С помощью этой технологии будет сокращено время хирургических операций, улучшено качество этих операций и подготовки медперсонала к ним, процент выживаемости после операций повысится, а обучение врачей станет более информативным и эффективным.

■ ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОДОЛЖЕНИЯ РАБОТЫ

Возможно создание базы проведенных эхокардиографических исследований с 3D-моделями для научных проектов, обучения диагно-

стов, хирургов и подготовки к аналогичным операциям. Внедрение VR-режима для проведения виртуальных хирургических манипуляций позволит также использовать программу в симуляционных центрах для врачей. Также потребуется внедрить навигацию с дополненной реальностью при проведении хирургической операции. Это 3D-очки, в которых хирург будет видеть пошаговые инструкции, обозначения структур органов и названия тканей прямо во время вмешательства. Все это будет отображаться поверх реальных органов. В дальнейшем программа может быть дополнена аналогичным функционалом для проведения УЗИ кровеносных сосудов и подготовки к операциям в сосудистой хирургии.

■ ВЫВОДЫ

Поскольку в настоящее время большое значение уделяется персонализированной медицине, профилактике и диагностике кардиологических заболеваний на государственном уровне, необходимо создать комбинированную образовательно-диагностическую платформу, которая объединит научно-исследовательский и практический опыт, позволит основательно и индивидуально подойти к исследованию и хирургическому лечению каждого пациента. Технология 3D-визуализации сердца по результатам эхокардиографии во многих случаях может стать массовым и доступным решением при диагностике, выборе способов коррекции кардиологических состояний, длительности операций и сложностей при обучении врачей-хирургов и диагностов. ▀

ЛИТЕРАТУРА

1. Сливнева И.В., Сокольская Н.О. Трехмерная эхокардиографическая модель функциональной митральной недостаточности. *Креативная кардиология* 2019;13(3):229-40. [Slivneva I.V., Sokolskaya N.O. Three-dimensional echocardiographic model of functional mitral insufficiency. *Kreativnaya kardiologiya = Creative cardiology* 2019;13(3):229-40. (In Russian)]. <https://doi.org/10.24022/1997-3187-2019-13-3-229-240>.
2. Щаденко С.В., Горбачева А.С., Арсланова А.Р., Толмачев И.В. 3D-визуализация для планирования операций и выполнения хирургического вмешательства (cas-технологии). *Бюллетень сибирской медицины* 2014;13(4):165-71. [Shchadenko S.V.,

- Gorbacheva A.S., Arslanova A.R., Tolmachev I.V. 3D visualization for planning operations and performing surgical interventions (cas-technologies). *Byulleten' sibirskoy meditsiny = Bulletin of Siberian Medicine* 2014;13(4):165-71. (In Russian)].
3. Голухова Е.З., Машина Т.В., Какучая Т.Т., Бакулева А.А. Первый опыт применения в России методики Mitral Valve Quantification в кардиохирургической практике. *Креативная кардиология* 2010;4(1):61-7. [Golukhova E.Z., Mashina T.V., Kakuchaya T.T., Bakuleva A.A. First experience of using the Mitral Valve Quantification method in cardiac surgery practice in Russia. *Kreativnaya kardiologiya = Creative cardiology* 2010;4(1):61-7. (In Russian)].

ЛИТЕРАТУРА

4. Бокерия Л.А. Состояние сердечно-сосудистой хирургии в Российской Федерации – 2021. Пресс-служба ФГБУ «НМИЦ ССХ им. А. Н. Бакулева» Минздрава России 2022. [Электронный ресурс]. [Bokeria L.A. State of cardiovascular surgery in the Russian Federation – 2021. Press service of the Federal State Budgetary Institution «A.N. Bakulev National Medical Research Center of Cardiovascular Surgery» of the Ministry of Health of the Russian Federation 2022. [Electronic resource]. (In Russian)]. URL: <https://bakulev.ru/news/glavnoe/sostoyanie-serdechno-sosudistoy-khirurgii-v-rossiyskoy-federatsii-2021>.

5. Толстикова А.А., Машина Т.В., Мрикаев Д.В., Джанкетова В.С., Громова О.И., Голухова Е.З. Возможности методики Mitral Valve Quantification в кардиохирургии. *Альманах клинической медицины* 2017;45(8):635-43. [Tolstikhina A.A., Mashina T.V., Mrikaev D.V., Dzhanketova V.S., Gromova O.I., Golukhova E.Z. Possibilities of the mitral valve quantification method in cardiac surgery. *Al'manakh klinicheskoy meditsiny = Almanac of Clinical Medicine* 2017;45(8):635-43. (In Russian)]. <https://doi.org/10.18786/2072-0505-2017-45-8-635-643>.

6. Законопроект № 727320-8. О федеральном бюджете на 2025 год и на плановый период 2026 и 2027 годов. [Электронный ресурс]. [Bill No. 727320-8. On the federal budget for 2025 and for the

planning period of 2026 and 2027. [Electronic resource]. (In Russian)]. URL: https://sozd.duma.gov.ru/bill/727320-8#bh_histras.

7. 3D-технологии в хирургии гипертрофической кардиомиопатии. РНПЦ «Кардиология». [Электронный ресурс]. [3D technologies in surgery of hypertrophic cardiomyopathy. Republican Scientific and Practical Center «Cardiology». [Electronic resource]. (In Russian)]. URL: <https://www.cardio.by/3d-tehnologii-v-hirurgii-gipertroficheskoy-kardiomiopatii>.

8. Mankad S. Anatomy of the Mitral Valve and Quantification of Mitral Regurgitation. *Mayo Clinic* 2016.

9. Amir H Sadeghi, Wouter , Frank Van Schaagen, Frans B S Oei, Jos A Bekkers, Alexander P W M Maat, Edris A F Mahtab, Ad J J C Bogers, Yannick J H J Taverne, «Immersive 3D virtual reality imaging in planning minimally invasive and complex adult cardiac surgery». *Eur Heart J Digit Health*, 2020 Nov 23;1(1), Frank Van Schaagen, Frans B S Oei, Jos A Bekkers, Alexander P W M Maat, et al. Immersive 3D virtual reality imaging in planning minimally invasive and complex adult cardiac surgery. *Eur Heart J Digit Health* 2020;1(1):62-70. <https://doi.org/10.1093/ehjdh/ztaa011>.

10. Goldstone AB, Woo YJ. Surgical treatment of the mitral valve. *Sabiston and Spencer Surgery of the Chest* 2016:1384-1492. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-24126-7.00080-6>.

Сведения об авторах:

Подвойский П.Н. – студент ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России; Москва, Россия

Абдюханов Р.Х. – ФГБУ НМИЦ кардиологии им. ак. Е.И. Чазова Минздрава России, Москва, Россия; РИНЦ Author ID 1046029; <https://orcid.org/0009-0001-9595-0767>

Вклад авторов:

Подвойский П.Н. – реализация проекта, написание текста, 50%
Абдюханов Р.Х. – определение научного интереса, обзор литературы, 50%

Конфликт интересов: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Статья поступила: 20.11.24

Результат рецензирования: 10.12.24

Принята к публикации: 14.12.24

Information about authors:

Podvoysky P.N. – student of the First Moscow State Medical University named after I.M. Sechenov, Ministry of Healthcare of the Russian Federation; Moscow, Russia

Abdyukhanov R.Kh. – Federal State Budgetary Institution of the Russian Federation National Medical Research Center of Cardiology named after academician E.I. Chazov, Ministry of Healthcare of the Russian Federation; Moscow, Russia; RSCI Author ID 1046029; <https://orcid.org/0009-0001-9595-0767>

Authors Contribution:

Podvoysky P.N. – project implementation, writing the text, 50%
Abdyukhanov R.Kh. – definition of scientific interest, literature review, 50%

Conflict of interest. The author declare no conflict of interest.

Financing. The study was performed without external funding.

Received: 20.11.24

Review result: 10.12.24

Accepted for publication: 14.12.24