

Обзор литературы

© Колесникова А.С., Федонников А.С., Кириллова И.В., Ульянов В.Ю., Левченко К.К., Киреев С.И., Коссович Л.Ю., Норкин И.А., 2019

УДК 004.925.8:612.76:[616.711+616.718.19]-089

DOI 10.18019/1028-4427-2019-25-2-243-253

Возможности систем поддержки принятия решений в контексте хирургии позвоночно-тазового комплекса (аналитический обзор)А.С. Колесникова¹, А.С. Федонников², И.В. Кириллова¹, В.Ю. Ульянов², К.К. Левченко², С.И. Киреев², Л.Ю. Коссович¹, И.А. Норкин²¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», г. Саратов, Россия;²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный медицинский университет имени В.И. Разумовского» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Саратов, Россия**The possibilities with decision support systems in surgery of spine-pelvic complex (analytical review)**A.S. Kolesnikova¹, A.S. Fedonnikov², I.V. Kirillova¹, V.Iu. Uliyanov², K.K. Levchenko², S.I. Kireev², L.Iu. Kossovich¹, I.A. Norkin²¹Saratov Chernyshevsky National Research State University, Saratov, Russian Federation²Saratov Razumovsky State Medical University, Saratov, Russian Federation

Цель. Изучение систем поддержки принятия решений, используемых в хирургии позвоночно-тазового комплекса, анализ их функциональных возможностей и подходов, позволяющих врачу принять правильное решение. **Материалы и методы.** На основе единообразных критериев проанализированы функциональные особенности современных систем поддержки принятия решений, используемых в хирургии позвоночно-тазового комплекса. Для оценки учитывались данные, полученные с официальных сайтов производителей указанных систем и публикаций в научных журналах. **Результаты.** Системы поддержки принятия решений *MediCAD*, *TraumaCAD*, *Surgimap*, *Sectra AB* и *OrthoView* являются наиболее востребованными при планировании операции на позвоночнике и тазобедренном суставе. Указанные системы могут работать в нескольких независимых друг от друга анатомических областях ортопедической хирургии (например, позвоночник, таз, бедро, голень, стопа). При этом ни одна из этих систем не может работать с позвоночно-тазовым комплексом. С помощью данных систем можно проводить только геометрическое планирование, которое заключается в осуществлении геометрических измерений, проектировании физиологически нормального положения анатомических элементов, а также в выборе и полуавтоматической локализации имплантатов. **Заключение.** Для достижения положительных результатов хирургического лечения в отдаленном периоде необходимо использовать не только геометрическое планирование, но и биомеханическое моделирование. Необходимость биомеханического моделирования связана с тем, что оно позволяет оценить не только степень и характер нарушений, вызванных деформацией позвоночно-тазового комплекса, но и объем хирургического вмешательства с учетом вновь складывающейся биомеханической ситуации после предлагаемых вариантов реконструкции. В этой связи использование систем поддержки принятия решений должно включать в себя следующие этапы: геометрическое планирование, биомеханическое моделирование постоперационного состояния и прогнозирование результатов лечения в отдаленном постоперационном периоде. Внедрение в клиническую практику систем поддержки принятия решений позволит повысить качество медицинской помощи и реабилитации при одновременной оптимизации расходов здравоохранения.

Ключевые слова: система поддержки принятия решений, информационные технологии в здравоохранении, позвоночно-тазовый комплекс, хирургия, геометрическое планирование, биомеханическое моделирование

Objective To explore decision support systems (DSS) used in spine-pelvic surgery, analyze its functional possibilities and approaches that allow the surgeon to make a correct decision. **Material and methods** Functional possibilities with modern DSSs used in surgery of spine-pelvic complex were reviewed with unified criteria using websites of DSS manufacturers and publications in scientific journals. **Results** *MediCAD*, *TraumaCAD*, *Surgimap*, *Sectra AB* and *OrthoView* are most common DSSs used for spine and hip surgery planning. The above systems can be applied in orthopedic surgery of several independent anatomical regions (e.g., spine, pelvis, femur, tibia, foot). But none of the systems can be applied to spine-pelvic complex. DSS facilitates only geometrical planning with geometric measurements, simulation of physiologically normal location of anatomical elements as well as selection and semi-automatic implant positioning. **Conclusion** Both geometrical planning and biomechanical simulation are required to achieve positive long-term follow-up of surgical treatment. Biomechanical simulation allows assessment of an extent and pattern of injury caused by malalignment of spine-pelvic complex and surgical intervention planning with the help of reconstruction options offered. The use of DSS should involve geometric planning, biomechanical simulation of the expected surgical outcome and prediction of a long-term follow-up. Introduction of DSS into clinical practice will facilitate the quality of medical care and rehabilitation with concurrent optimization of the national expenditure on health care.

Keywords: decision support system, health information technology, spine-pelvic complex, surgery, geometric planning, biomechanical simulation

ВВЕДЕНИЕ

Системы поддержки принятия решений (СППР) – это компьютерные системы, которые путем сбора и анализа большого количества информации могут влиять на процесс принятия решений в различных областях дея-

тельности человека [1–5]. СППР в медицине делятся на интеллектуальные системы поддержки принятия управленческих решений в здравоохранении [1, 2] и системы поддержки принятия врачебных решений [2, 3].

Колесникова А.С., Федонников А.С., Кириллова И.В., Ульянов В.Ю., Левченко К.К., Киреев С.И., Коссович Л.Ю., Норкин И.А. Возможности систем поддержки принятия решений в контексте хирургии позвоночно-тазового комплекса (аналитический обзор) // Гений ортопедии. 2019. Т. 25, № 2. С. 243–253. DOI 10.18019/1028-4427-2019-25-2-243-253

Системы поддержки принятия управленческих решений в здравоохранении необходимы для управления ресурсами, лечебным процессом и оказанием медицинской помощи и позволяют предупредить специалистов о возникновении угрожающей ситуации, а также осуществить критический анализ ранее принятых решений [4].

Системы поддержки принятия врачебных решений позволяют сокращать время диагностики, число привлеченных компетентных экспертов, формировать

полноценную информацию о состоянии пациента, повышать эффективность распределения ресурсов и снижать летальность, что особенно актуально в хирургии, для которой при принятии медицинских решений характерны дефицит времени, высокая динамика течения заболеваний и цена врачебной ошибки [2, 6–8].

Целью данной работы является изучение СППР, используемых в хирургии позвоночно-тазового комплекса, анализ их функциональных возможностей, позволяющих врачу принять правильное решение.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Рассмотрим более подробно функции СППР, используемых в ортопедической хирургии. Информация о таких системах получена с официальных сайтов производителей и публикаций в научных журналах [9–14]. К наиболее распространенным системам предоперационного планирования относятся *MediCad*, *SectraAB*, *TraumaCAD*, *Surgimap*, *OrthoView*, *ZedHip*, *Orthopedic Surgery 2D Planner*, *Martell Hip Analysis Suite*, *HyperORTHO*, *ViewPro-X*, *OneFit Hip Planner*, *OneFit Knee Planner*, *Blueprint*.

Анализ функциональных возможностей позволил определить не только характеристики, общие для современных СППР, но и уникальные особенности конкретных систем. Установлено, что современные СППР выполняют импорт, экспорт и обработку данных медицинского диагностического оборудования (компьютерный и магнитно-резонансный томограф, денситометр, рентгенограф и др.), позволяют выполнить геометрическое планирование хирургического реконструктивного лечения, а при наличии возможности 3D-визуализации реализовать функцию построения связей между горизонтальной, сагиттальной и фронтальной плоскостями (рис. 1, а).

Для хирургии позвоночно-тазового комплекса видом СППР являются системы предоперационного планирования. Такие системы позволяют полноценно реализовать геометрическое планирование хирургического вмешательства, помогающее врачу спланировать ход операции, а следовательно, правильно принять решение о ее тактике. Геометрическое планирование позволяет хирургу на основе данных, полученных от медицинского диагностического оборудования, проводить геометриче-

ские измерения. Для целей настоящего исследования использовались следующие критерии оценки параметров позвоночно-тазового комплекса, необходимые для функционирования систем предоперационного планирования: 1) возможность измерения расстояний, углов, сагиттального баланса в хирургии позвоночника, шеечно-диафизарного угла в хирургии тазобедренного сустава; 2) способность воссоздать «нормальное» состояние интересующего анатомического объекта и провести планирование хирургического реконструктивного лечения, используя (при наличии) базу данных шаблонов имплантатов и систем фиксации.

Рассматриваемые СППР обладают различными функциональными возможностями геометрического планирования в отношении отдельных анатомических областей. Эти анатомические области представлены в таблице 1 и являются отдельными модулями в рассматриваемых СППР. В рамках этих модулей нельзя осуществлять предоперационное планирование в смежных анатомических областях, потому что в этих модулях представлены шаблоны имплантатов только той области ортопедии, для которой этот модуль предназначен. Для осуществления геометрического планирования и установления шаблонов имплантатов в смежных анатомических областях (табл. 1) в СППР *MediCAD Classic* имеется модуль «**Шаблоны**», в котором представлены шаблоны имплантатов для разных анатомических областей ортопедической хирургии. Однако, т.к. в *MediCAD Classic* отсутствует модуль «**Позвоночник**», то с помощью этого СППР осуществлять планирование в области позвоночно-тазового комплекса нельзя.

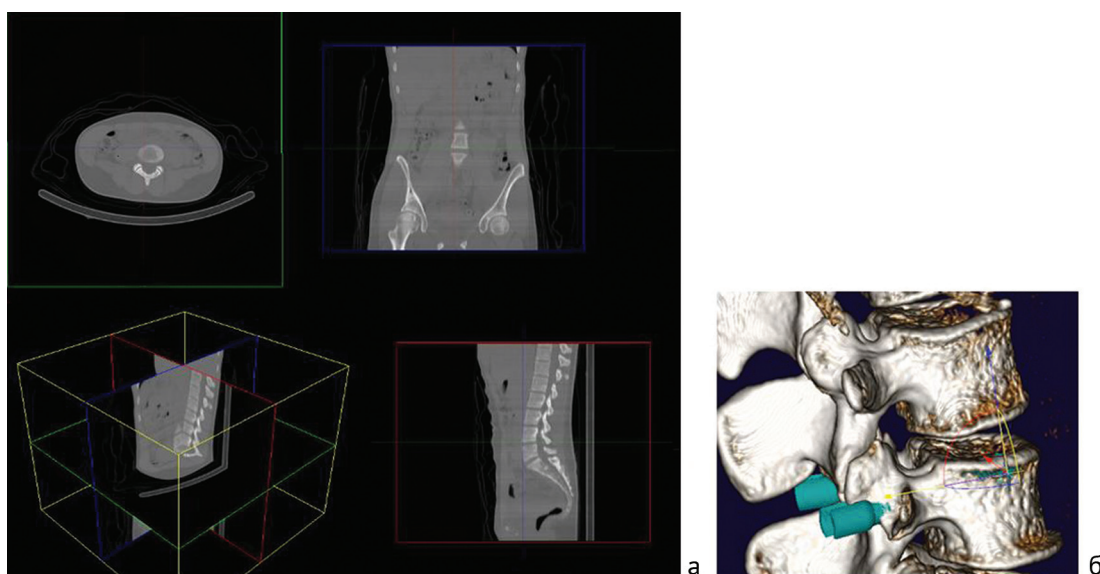


Рис. 1. Отображение изображения в режиме 3D: а – режим многоплоскостной реконструкции [16]; б – поверхностная 3D-модель [17]

Таблица 1

Системы предоперационного планирования и анатомические области, в которых они используются

| Режимы работы | Анатомические области* | | | | | |
|---------------|-------------------------|--------------------------------------|----------------------------|---|---|------------------------|
| | Позвоночник | Тазобедренный сустав | Колено | Нога (бедренная, большеберцовая и малоберцовая кости) | Верхние конечности/плечо (кость, локтевые и плечевые суставы) | Стопа |
| 2D | - | <i>MediCAD Classic</i> | <i>MediCAD Classic</i> | <i>MediCAD Classic</i> | <i>MediCAD Classic</i> | <i>MediCAD Classic</i> |
| 3D | <i>MediCAD SPINE 3D</i> | <i>MediCAD hip 3D</i> | <i>MediCAD knee 3D</i> | <i>MediCAD hip 3D</i> | <i>MediCAD shoulder 3D</i> | <i>MediCADhip 3D</i> |
| 2D/3D | <i>Sectra AB</i> | <i>Sectra AB</i> | <i>Sectra AB</i> | <i>Sectra AB</i> | <i>Sectra AB</i> | - |
| 2D/3D | <i>TraumaCAD</i> | <i>TraumaCAD</i> | <i>TraumaCAD</i> | <i>TraumaCAD</i> | <i>TraumaCAD</i> | <i>TraumaCAD</i> |
| 2D | <i>OrthoView</i> | <i>OrthoView</i> | <i>OrthoView</i> | - | <i>OrthoView</i> | - |
| 2D/3D | <i>Surgimap</i> | <i>Surgimap</i> | - | <i>Surgimap</i> | - | - |
| 2D/3D | - | <i>One Fit HipPlanner</i> | - | - | - | - |
| 2D/3D | - | <i>ZedHip</i> | - | - | - | - |
| 2D/3D | - | <i>Martell Hip Analysis Suite</i> | - | - | - | - |
| 2D | - | <i>Orthopedic Surgery 2D Planner</i> | - | - | - | - |
| 2D | - | <i>HyperORTHO</i> | - | - | - | - |
| 2D | - | <i>ViewPro-X</i> | - | - | - | - |
| 2D | - | - | - | - | <i>Blueprint</i> | - |
| 2D/3D | - | - | <i>OneFit Knee Planner</i> | - | - | - |

* - жирным выделены СППР, обладающие функцией сравнения предоперационных и послеоперационных показателей.

СППР, которые обладают функцией построения 3D-моделей, работают в режиме многоплоскостной реконструкции, под которой понимают создание тонких срезов разных плоскостей, находящихся под любым углом к плоскости срезов первичной компьютерной томографии [15]. Для визуализации 3D-изображений рассматриваемых объектов осуществляется одновременная загрузка всех 2D-срезов

в формате DICOM-файла. Сопоставление графических данных производится посредством установки нескольких маркировочных точек и в одновременном их отображении на всех снимках и плоскостях в режиме реального времени. На основе отображения модели в режиме многоплоскостной реконструкции возможна реализация функции 3D-вращения объекта (см. рис. 1).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Рассмотрим более подробно индивидуальные функции конкретных СППР.

Система MediCAD (HectecGmbH, Федеративная Республика Германия) имеет базовую версию - MediCAD Classic, а также версии MediCAD SPINE 3D, MediCAD Hip 3D, MediCAD Knee 3D, MediCAD Shoulder 3D, MediCAD Individual prosthesis, mediCAD MOBILE, MediCAD VETERINARY. Последняя версия нами не рассматривается, так как не предназначена для медицинского применения. Важно отметить, что из всех представленных СППР русифицированную версию имеют только MediCAD Classic и TraumaCAD.

В *MediCAD Classic* помимо модулей для анатомических областей хирургии, представленных в таблице 1, имеется модуль «Травма». Модуль «Травма» позволяет определить перелом, а также перемещать, вращать и копировать фрагменты кости на изображении для их реконструкции и точного восстановления анатомической области на изображениях перед шаблонированием. *MediCAD Classic* имеет также пополняемую базу шаблонов имплантатов, интерактивное меню подсказок. Автоматически учитываются и рассчитываются различия в изображениях, полученных, например, посредством выполнения снимков стоя и лежа. В таблице 2 представлено количество произво-

дителей имплантатов по анатомическим областям ортопедической хирургии в *MediCAD Classic*. В руководстве по *MediCAD* представлена информация о том, что в данной СППР содержатся сведения об имплантатах 123 производителей.

Таблица 2

Количественные значения фирм-производителей имплантатов по анатомическим областям ортопедической хирургии в *MediCAD Classic*

| Протезы | Количество производителей |
|---------------------------------------|---------------------------|
| Плечо | 25 |
| Локоть | 3 |
| Рука | 7 |
| Стопа | 5 |
| Бедро: | 67 |
| <i>Чашка</i> | 67 |
| <i>Ножка</i> | 0 |
| Колено: | 3 |
| <i>Компонент бедренной кости</i> | 3 |
| <i>Компонент большеберцовой кости</i> | 0 |
| Остеосинтез (фиксирующие инструменты) | 10 |
| Итого | 123 |

В программных продуктах *MediCAD SPINE 3D*, *MediCAD Hip 3D*, *MediCAD Knee 3D*, *MediCAD Shoulder 3D* возможно осуществлять импорт и визуализацию изображений рассматриваемых объектов и ранее сохраненных изображений только в 3D-режиме. 3D программные продукты *MediCAD* осуществляют корректировку изображений для реконструкции интересующего анатомического объекта и его автоматическое сегментирование.

После того, как врач провел планирование с предпочтительным имплантатом, он может использовать программный продукт *MediCAD Individual prosthesis* («Индивидуальный протез»). После чего появляется отдельная вкладка от производителя имплантата, в которую можно занести информацию об индивидуальном протезе. Теперь врачу предлагается заполнить эту форму и загрузить его текущее планирование на сервер – платформу, к которой имеют доступ врачи и производители. Для лучшей коммуникации между врачом и производителем реализована платформа для обмена сообщениями посредством чата.

Программный продукт *MediCAD MOBILE* работает в 2D-режиме, как и *MediCAD Classic*, но в отличие от *MediCAD Classic* имеет только модули «**Колено**» и «**Нога**». Программный продукт *MediCAD MOBILE* включает в себя данные об имплантатах трех производителей, что значительно меньше, чем в *MediCAD Classic*. При этом количество имплантатов каждого производителя имплантатов в *MediCAD MOBILE* значительно меньше, нежели в *MediCAD Classic*. Например, в *MediCAD MOBILE* имплантатов для чашки фирмы производителя Zimmer представлено всего 61, а в *MediCAD Classic* – 2842.

В настоящее время под брендом *MediCAD* выпускаются программные продукты *IMPAX Orthopaedic Tools* (AGFA Healthcare N.V., Королевство Бельгия) и *EndoMap* (Siemens, Федеративная Республика Германия). *IMPAX Orthopaedic Tools* и *EndoMap* поставляется только с условием закупки оборудования у соответствующих производителей.

В системах *Sectra AB* (Sectra, Королевство Швеция), *TraumaCad* (Brainlab Ltd, Федеративная Республика Германия), *OrthoView* (Meridian Technique Ltd, Соединённое Королевство Великобритании и Северной Ирландии) и *Surgimap* (Nemaris Inc, Соединённые Штаты Америки) можно осуществлять корректировку изображений для реконструкции интересующих анатомических объектов (аналог модуля «**Травма**» в *MediCad*), автоматическое сегментирование рассматриваемых объектов, геометрическое планирование хирургического реконструктивного лечения с использованием базовых шаблонов имплантатов. Остальные СППР, представленные в таблице 1, данными функциями не обладают и позволяют только производить геометрические измерения на основе 2D/3D-изображений.

Приложение *TraumaCad* (Brainlab Ltd, Федеративная Республика Германия) имеет три версии: версия Клиент – Сервер, автономная версия и *TraumaCad Web*. Версия Клиент – Сервер состоит из серверного приложения, которое настраивается администратором, и клиентских приложений, которые запускаются на любом компьютере. Автономная версия запускается только на определенном компьютере, на котором сохраняются все файлы программы, такие как файлы конфигурации и шаблоны

имплантатов. *TraumaCad Web* представляет собой облачное приложение, работающее на любом компьютере.

Система *OrthoView* не имеет базы шаблонов имплантатов для работы с элементами позвоночника. Система *Surgimap* в отличие от всех СППР, представленных в таблице 1, является открытым программным продуктом, имеет приложения для работы с мобильными устройствами. В данной системе по умолчанию отсутствует функция выбора имплантатов от производителей, ее необходимо подключать дополнительно.

На основе проведенного анализа можно предположить, что наиболее привлекательными СППР при планировании операции на позвоночнике или тазовом комплексе являются *MediCAD*, *TraumaCAD*, *Surgimap*, *Sectra AB* и *OrthoView*. Это объясняется тем, что все вышеперечисленные системы могут работать в нескольких анатомических областях ортопедической хирургии. Поэтому в дальнейшем будем проводить сравнительный анализ функциональных возможностей работы именно этих СППР. В таблице 3 представлено общее количество производителей имплантатов каждой СППР.

Из общих для всей ИТ-индустрии тенденций наиболее важным является развитие мобильности. Это связано с тем, что в первую очередь мобильные технологии позволяют решить задачи доступа к диагностическим данным без привязки к рабочему месту врача. Мобильные технологии тесно связаны с развитием телерадиологических систем, обеспечивающих удаленные консультации и передачу описаний радиологических исследований между врачами и медицинскими организациями. В этой связи для использования СППР на мобильных устройствах или на персональном компьютере (ПК) врачу необходимо владеть информацией о платформе (компьютерной операционной системе), для которой предназначена определенная СППР. В таблице 3 представлены компьютерные операционные системы (ОС) мобильных устройств и ПК врачей, с которыми работают современные СППР. С учетом разнообразия платформ на ПК проблемой для врачей может являться несовместимость платформы, установленной на его мобильном устройстве или ПК врача с работой СППР по причине того, что каждая СППР предназначена для работы с определенными версиями компьютерных платформ (ОС).

Каждая из перечисленных выше систем имеет возможность подключения к Picture Archiving and Communication System (PACS). В системах *TraumaCad* и *Surgimap* заполняется собственная база данных, в которой каждая запись соответствует одному исследованию. Следует отметить, что большую часть параметров для заполнения полей каждой записи можно извлечь из файла DICOM [18] автоматически.

К таким параметрам относятся имя, пол, дата рождения, модальность, дата исследования, описание исследования, диагноз, количество серий, ID (табл. 4). Используя информацию в этой базе данных, можно сортировать исследования по этим параметрам либо хранить у себя только необходимые списки. Это позволит импортировать изображения из системы PACS именно для требуемого пациента. В системе *Surgimap* присутствует возможность добавлять персонализированные поля и изменять значения для этих полей. В СППР *SectraAB* и *OrthoView* всегда шифрует имя пациента, пол, дату рождения и национальный идентификатор.

Таблица 3

Данные о количестве производителей имплантатов и о платформах для мобильных устройств и ПК врачей

| СППР | Кол-во производителей имплантатов | Платформы (ОС) для мобильных версий | Платформы (ОС) для ПК врача |
|-----------|-----------------------------------|-------------------------------------|--|
| MediCad | 123 | Android 4.0+ | Windows, Windows XP, Windows Vista, Windows 7, MacOS |
| TraumaCad | 65 | Win 8 and Win 10, iOS 9 | Windows 7 и выше |
| Surgimap | 13 | iOS 8.0 и выше | Windows XP Service Pack 3 or and newer versions of Windows, MAC OS X |
| Sectra AB | 54 | - | Windows XP, Windows 7 и выше |
| OrthoView | 76 | - | Windows 7, 8 и выше, MacOS X |

Таблица 4

Общие параметры баз данных современных СППР

| Параметры | Название СППР | | |
|------------------------|---------------|-----------|----------|
| | MediCad | TraumaCad | Surgimap |
| Фамилия | + | + | + |
| Имя | + | + | + |
| Пол | + | + | + |
| Дата рождения | + | + | + |
| Модальность | - | + | + |
| Дата исследования | + | + | + |
| Описание исследования | + | + | + |
| Диагноз | - | - | + |
| Количество изображений | - | + | + |
| ID | + | + | + |
| Направляющий врач | + | + | - |
| Учреждение | - | + | - |
| Местоположение | - | + | - |
| UID исследования | - | + | - |
| UID серий | - | + | - |
| Часть тела | - | + | - |
| Описание серии | - | + | - |

В *TraumaCad* и *Surgimap* 3D-изображения представляются в одновременном отображении 2D-срезов в горизонтальной, сагиттальной и фронтальной плоскостях (режима многоплоскостной реконструкции). В *MediCAD* в дополнение к режиму многоплоскостной реконструкции строится еще и поверхностная 3D-модель, использование которой позволит производить более точное планирование за счет привычного построения (визуализации) объекта. В *MediCAD* измерения в 3D-модели одновременно отображаются на 2D-срезах. Такая функция в *MediCAD* называется функцией гибридного планирования 2D и 3D. Наличие такой 3D-модели дает наибольшую наглядность при установке, например, имплантатов или подборе геометрических параметров имплантатов. В *MediCAD* для каждой анатомической области ортопедической хирургии, использующей 3D-отображения, имеется отдельный программный продукт. В *TraumaCAD* и *Surgimap* 3D-режим подключается дополнительно и работает в рамках этого СППР, а не отдельной программой как в *MediCAD*.

В анализируемых СППР имеются следующие инструменты:

Общие инструменты:

- инструмент «Линейка» измеряет выбранные части изображения в пикселях или в миллиметрах;
- инструмент «Окружность» используется для измерения диаметра объектов на изображении;
- инструмент «Угол» позволяет измерять угол между двумя линиями;
- инструмент «Угол между линиями» позволяет измерять угол между двумя линиями на изображении;
- инструмент «Линия» позволяет начертить произвольную линию на изображении.

Инструменты, присутствующие только в TraumaCad:

- инструмент «Произвольная кривая» позволяет начертить произвольную кривую на изображении;
- инструмент «Стрелка» позволяет начертить стрелку для указания на изображении зоны, требующей внимания в дальнейшем.

В таблице 5 представлены дополнительные функции, необходимые для работы с СППР.

Таблица 5

Вспомогательные функции в СППР для проведения геометрического планирования

| Функции | Название СППР | | | | |
|-------------------------------------|-----------------|-----------|-----------|----------|-----------|
| | MediCAD Classic | Sectra AB | TraumaCAD | Surgimap | OrthoView |
| Синхронизация имплантатов | + | - | + | + | + |
| Задание прозрачности изображения | + | - | - | - | - |
| Сегментирование | + | - | + | - | + |
| Обнаружение калибровочных устройств | + | - | + | - | + |
| Многорегимный просмотр изображений | + | - | + | + | + |
| Масштабирование изображения | + | + | + | + | + |
| Интерактивная подсказка | + | - | + | + | + |

С помощью инструментов, доступных для рассматриваемых СППР, возможно измерение необходимых параметров на элементах тазобедренного

сустава и позвоночника. Сравнительный анализ инструментальных возможностей СППР представлен в таблицах 6 и 7.

Таблица 6

Возможности измерения параметров геометрического планирования СППР на элементах тазобедренного сустава*

| Измеряемые параметры | Название СППР | | | | |
|--|-----------------|-----------|-----------|----------|-----------|
| | MediCAD Classic | Sectra AB | TraumaCAD | Surgimap | OrthoView |
| Iliaс Angle [19] | - | - | - | - | + |
| Hilgenreiner Angle [20] | - | - | + | - | - |
| Hilgenreiner line [21] | - | - | - | - | + |
| Reimer Migration Index [22] | - | - | + | - | + |
| Leg Length Discrepancy [23] | + | - | + | + | + |
| Acetabular Angle [20, 24] | + | - | + | - | + |
| VCA Angle of Lequesne [25] | - | - | + | - | - |
| Center of Rotation [26] | - | - | + | - | - |
| Neck Shaft Angle [27] | + | - | + | - | + |
| Head Shaft (Slip) Angle | - | - | + | - | - |
| Articulo-trochanteric Distance [28] | - | - | + | - | - |
| Epiphyseal Index [29, 30] | - | - | + | - | - |
| Sharps Angle [31,32] | - | - | - | - | + |
| Range of Motion [33] | + | - | - | - | - |
| Transischial Line Wizard [34] | - | - | - | - | + |
| Perkins Line [20, 35] | - | - | - | - | + |
| Trans Teardrop Line [36] | - | - | - | - | + |
| Central Edge Angle [37] | - | - | + | - | + |
| Pelvic Parameters (Pelvic Incidence, Sacral Slope, Pelvic Tilt) [38] | + | + | + | + | - |
| Sacral Obliquity [39, 40] | - | - | + | - | - |

* Знаком «+» в отмечены параметры, способ расчета которых приводится в руководстве пользователя к данной системе

Таблица 7

Возможности измерения параметров геометрического планирования СППР на элементах позвоночника*

| Название системы | Название СППР | | | | |
|---|---------------|-----------|-----------|----------|-----------|
| | MediCAD Spine | Sectra AB | TraumaCAD | Surgimap | OrthoView |
| Clavicie Angle [41] | - | - | + | - | - |
| Сагиттальный баланс [42-52] | + | + | + | + | - |
| Pelvic Incidence (PI) | + | + | + | + | - |
| Sacral Slope (SS) | + | + | + | + | - |
| Pelvic Tilt (PT) | + | + | + | + | - |
| Sagittal vertical axis (SVA) | - | + | - | + | - |
| C7 PL | + | - | - | + | - |
| Chin Brow Vertical Angle (CBVA) | - | - | - | + | - |
| Sagittal Pelvic Thickness | + | - | - | - | - |
| Pelvic Thickness | + | - | - | - | - |
| Pelvic Angulation | + | - | - | - | - |
| Pelvisacral Angle | + | - | - | - | - |
| Gravity Line | + | - | - | - | - |
| Lumbar lordosis | + | - | + | + | - |
| Spine Slip Angle | - | - | + | - | - |
| T1 Tilt Angle | - | - | + | + | - |
| Scoliosis using Cobb's method | + | - | + | + | + |
| Scoliosis using Ferguson's method | + | - | - | - | - |
| Thoracic Kyphosis Angle [53] | + | - | + | + | - |
| Instability using van Akkerveeken's method [54] | + | - | - | - | - |
| Spondylolisthesis (slippage of one vertebra versus another) | + | - | + | + | - |
| Intervertebral disc height [55] | + | + | + | + | + |
| Thoracic Trunk Shift [56] | - | - | + | - | - |
| Rib-vertebra angle difference | - | - | - | + | - |
| Stenosis | + | - | - | + | - |
| Vertebral Body Measurement | - | - | - | + | - |

* - Знаком «+» в отмечены параметры, способ расчета которых приводится в руководстве пользователя к данной системе

С помощью **Общих инструментов** («Линейка», «Окружность», «Угол» и «Линия») возможно определить следующие параметры позвоночника и тазобедренного сустава [43–49]:

- Gravity Line;
- C7TA;
- C7/SFD;
- Femoral gravity offset (FGO);
- Sacral gravity offset (SGO);
- Spino-sacral angle (SSA);
- Full Balance Integrated index (FBI);
- Angle of femur obliquity (FOA);
- Angle of tilt compensation (PTCA);
- Pelvic lordosis (PL);
- Central sacral vertical line (CSVL);
- Pelvic obliquity(PO);
- Sacral obliquity(SO);
- Wiberg Angle.

В современных СППР имеется функция, с помощью которой производится сравнение полученных результатов в процессе предоперационного планирования с известными референсными значениями.

На рисунке 2 представлена функция определения углового отклонения крестца из *TraumaCad*. В нижнем левом углу представлена функция “Интерактивная подсказка”, дающая описание в виде изображения к способу нахождения интересующего параметра.

В *TraumaCad* сагиттальный баланс оценивается по смещению вертикальной линии отвеса, а в *MediCad* для оценки сагиттального баланса измеряются следующие параметры:

- Sacral Slope (SS) [43];
- Pelvic Tilt (PT) [43];
- Pelvic Thickness (SPT) [44];
- Pelvic Thickness (CS) [45];
- Pelvic Angulation (PA) [46];
- Pelvisacral Angle (PSA) [47];
- Pelvic Lordosis Angle (PLA) [48];
- Pelvic Incidence (PI) [49].

Проведенный анализ позволил сделать вывод, что основа представленных систем – анализ геометрических показателей, что позволяет отнести их к простейшим СППР.

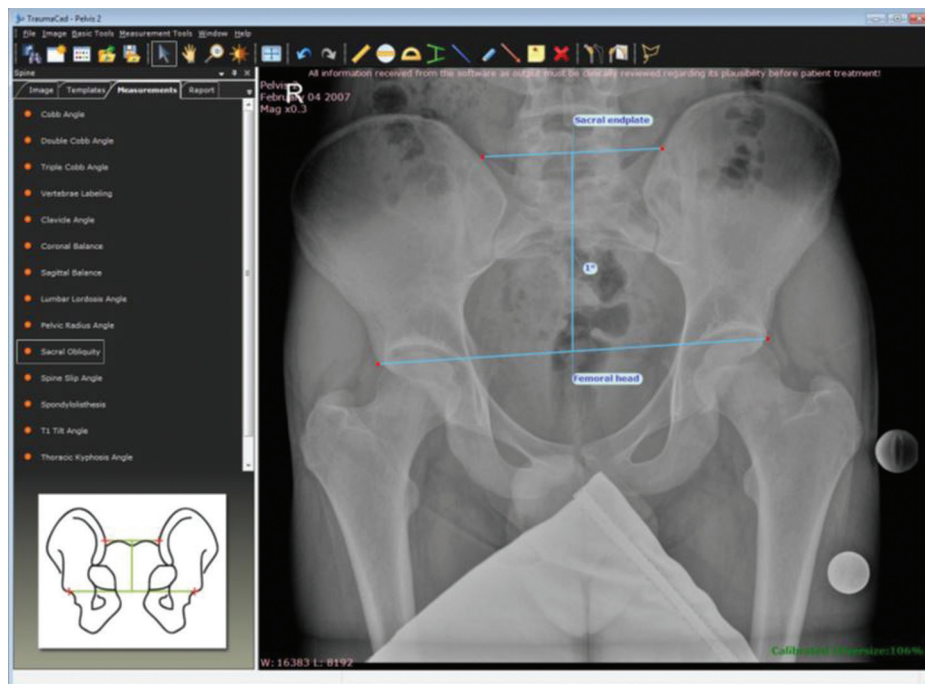


Рис. 2. Изображение функции определения углового отклонения крестца из *TraumaCad* [57]

ДИСКУССИЯ

Планирование хирургического реконструктивного лечения представляет собой сложную научно-техническую и практическую проблему, от решения которой зависит успешность операции и состояние пациента в постоперационном периоде. В настоящее время при решении задачи коррекции сложных анатомических нарушений используются компьютерные программные комплексы, называемые системами поддержки принятия решений, которые, по сути, являются системами предоперационного планирования.

В процессе изучения функциональных возможностей СППР установлено, что наиболее востребованными при планировании операции на позвоночнике и тазобедренном суставе будут являться *MediCAD*, *TraumaCAD*,

Surgimap, *Sectra AB* и *OrthoView*. Это объясняется тем, что они могут работать в нескольких независимых друг от друга анатомических областях ортопедической хирургии (например, позвоночник, тазобедренный сустав, колено, стопа, бедренная, большеберцовая и малоберцовая кости, суставы верхних конечностей), а также содержат наиболее объемные базы шаблонов имплантатов. При сравнении параметров, которые можно измерять с помощью этих систем, выявлено, что применительно к позвоночнику и тазобедренному суставу наиболее обширным функционалом обладают *MediCad* и *TraumaCad*. Однако ни одна из рассматриваемых СППР не может работать со всеми компонентами позвоночно-тазового комплекса (ПТК), в то время как частота

встречаемости заболеваний ПТК следующая: дегенеративно-дистрофические заболевания позвоночника – 5 120 на 100 000 населения; дегенеративно-дистрофические заболевания тазобедренных суставов – 250 на 100 000 населения. Повреждения позвоночника занимают третье место по инвалидности. Абсолютное число переломов позвоночника и костей туловища в 2015 году составило 1 143 039. Из них переломов позвоночника 12,7 % – 145 166. Показатели травматизма шейного и поясничного отделов позвоночника в 2016 году выросли и составляют 60 переломов на 100 000 населения [58].

Системы предоперационного планирования позволяют осуществлять только геометрическое планирование (*MediCad, TraumaCad, Surgimap* и т.д.), которое заключается в проведении геометрических измерений и манипуляций, восстановлении физиологически нормального положения анатомических элементов, а также позиционировании и планировании выбора и установки имплантатов. Однако только геометрическое планирование недостаточно для выбора наиболее рационального варианта лечения. В некоторых случаях выбираемый врачом вариант не всегда приводит к положительному результату.

Для повышения качества планирования хирургического лечения необходимо использовать не только геометрическое планирование, но и биомеханическое

моделирование. Последнее позволяет оценить не только степень и характер нарушений, вызванных деформацией ПТК, но и объем необходимой хирургической коррекции и фиксации в совокупности с вновь складывающейся биомеханической ситуацией после предлагаемых вариантов реконструкции. Для выбора наиболее подходящего конкретному пациенту варианта хирургического лечения патологии ПТК необходимо не только определить основные показатели позвоночно-тазовых отношений, отвечающих за сагиттальный и фронтальный балансы, но и рассчитать механические характеристики, позволяющие оценить успешность предлагаемой операции с точки зрения биомеханики. Актуальность применения биомеханического моделирования в современной медицине подтверждает большое число работ, посвящённых данной тематике, однако в настоящее время в мире не созданы полноценные системы, реализующие указанную функцию [59–61].

Именно биомеханическое моделирование является методически перспективной основой подхода к предоперационному планированию, так как позволяет обеспечить биомеханически обоснованный выбор имплантатов для конкретного пациента, проводить их высокоточное позиционирование, осуществить коррекцию глобального баланса туловища и прогнозировать течение послеоперационного периода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Концепция работы современных систем поддержки принятия решений, на наш взгляд, должна включать в себя следующие этапы: геометрическое планирование, биомеханическое моделирование постоперационного состояния и прогнозирование результатов лечения в отдаленном постоперационном периоде на основе статистического анализа данных.

Внедрение в клиническую практику систем поддержки принятия решений позволит повысить качество медицинской помощи и реабилитации при одновременной оптимизации расходов здравоохранения за счет планируемого снижения длительности пребывания пациентов в стационаре, числа послеоперационных осложнений, преждевременных ревизионных вмешательств и сроков последующей медицинской реабилитации.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда перспективных исследований (договор № 6/130/2018-2021).

ЛИТЕРАТУРА

1. Clinical Decision Support. The road ahead. 1st Ed. / R.A. Greenes, editor. Boston: Academic Press, 2006. 544 p.
2. Назаренко Г.И., Гулиев Я.И., Ермаков Д.Е. Медицинские информационные системы: теория и практика. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. 320 с.
3. Стандартизация в электронном здравоохранении / О.Э. Карпов, Г.С. Клименко, Г.С. Лебедев, О.С. Якимов. М.: ДПК Пресс, 2016. 432 с.
4. Современные тенденции развития рынка медицинских информационных систем / С.В. Фролов, С.Н. Маковеев, С.В. Семенова, С.Г. Фареев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2010. Т. 16, № 2. С. 266-272.
5. Литвин А.А., Литвин В.А. Системы поддержки принятия решений в хирургии // Новости хирургии. 2014. Т. 22, № 1. С. 96-100. DOI: 10.18484/2305-0047.2014.1.96.
6. Лапрун И.Б. ИТ в отечественной медицине. Все еще в начале пути? // Врач и информационные технологии. 2008. № 1. С. 28-37.
7. Intracranial pressure level prediction in traumatic brain injury by extracting features from multiple sources and using machine learning methods / W. Chen, C. Cockrell, K.R. Ward, K. Najarian // Proceedings of the IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine. Hong Kong, China, IEEE Xplore, 2010. P. 510-515. DOI: 10.1109/BIBM.2010.5706619.
8. An automated method for hemorrhage detection in traumatic pelvic injuries / P. Davuluri, J. Wu, K.R. Ward, C.H. Cockrell, K. Najarian, R.S. Hobson // Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2011. P. 5108-5111. DOI: 10.1109/IEMBS.2011.6091265.
9. Preoperative planning of orthopedic procedures using digitalized software systems / E.L. Steinberg, E. Segev, M. Drexler, T. Ben-Tov, S. Nimrod // Isr. Med. Assoc. J. 2016. Vol. 18, No 6. P. 354-358.
10. Assessment of cup orientation in hip resurfacing: a comparison of TraumaCad and computed tomography / D.J. Westacott, J. McArthur, R.J. King, P. Foguet // J. Orthop. Surg. Res. 2013. Vol. 8. P. 8. DOI: 10.1186/1749-799X-8-8.
11. Predictive value of robotic-assisted total hip arthroplasty / Y.F. El Bitar, T.J. Jackson, D. Lindner, I.B. Botser, C.E. Stake, B.G. Domb // Orthopedics. 2015. Vol. 38, No 1. P. e31-e37. DOI: 10.3928/01477447-20150105-57.
12. Three methods of guided growth for pediatric lower extremity angular deformity correction / P. Hosseinzadeh, D.R. Ross, J.L. Walker, V.R. Talwalkar, H.J. Iwinski, T.A. Milbrandt // Iowa Orthop. J. 2016. Vol. 36. P. 123-127.
13. Helmy N.A., El-Sayyad M.M., Kattabei O.M. Intra-rater and inter-rater reliability of Surgimap Spine software for measuring spinal postural angles from digital photographs // Bull. Fac. Phys. Ther. 2015. Vol. 20. P. 193-199. DOI: 10.4103/1110-6611.174719.
14. Davila J.A., Kransdorf M.J., Duffy G.P. Surgical planning of total hip arthroplasty: accuracy of computer-assisted EndoMap software in predicting component size // Skeletal Radiol. 2006. Vol. 35, No 6. P. 390-393. DOI: 10.1007/s00256-006-0106-4.
15. Use of multi-planar reconstruction (MPR) and 3-dimensional (3D) CT to assess stability criteria in C2 vertebral fractures / W. Krupski, E. Kurys-Denis, L. Matuszewski, B. Plezia // J. Pre Clin. Res. 2007. Vol. 1, No 1. P. 80-83.
16. Nemaris SURGIMAP® The Physician Driven Imaging Solution®. Inc. Product. User Guide. URL: <https://www.surgimap.com/wp-content/uploads/2015/06/Surgimap-User-Guide-Version-3.8.pdf> (Дата обращения: 09.08.2018).
17. https://www.hectec.de/content/images/demo/new_images/3d/2017_mediCAD-SPINE3D_EN_05-2017_Web.pdf (Дата обращения: 09.08.2018)
18. DICOM PS 3.3, Digital Imaging and Communications in Medicine. Part 3: Information Object Definitions. Virginia, USA: National Electrical Manufacturers Associations. 2003. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-iso-17432-2009> (Дата обращения: 09.08.2018).

19. Pelvic deformity influences acetabular version and coverage in hip dysplasia / M. Fujii, Y. Nakashima, T. Sato, M. Akiyama, Y. Iwamoto // Clin. Orthop. Relat. Res. 2011. Vol. 469, No 6. P. 1735-1742. DOI: 10.1007/s11999-010-1746-1.
20. Pictorial review: non-traumatic paediatric hip / M. Garcia Vazquez-Noguerol, V.T. Rodriguez, P.B. Lobato, E. Vázquez-Fernández, J.M. Veito Fuentes; Vigo/ES // European Congress of Radiology (ECR). 2013. Poster No C-1423. DOI: 10.1594/ecr2013/C-1423.
21. Developmental pattern of the hip in patients with hereditary multiple exostoses / Y.Z. Wang, K.W. Park, C.S. Oh, Y.S. Ahn, Q.L. Kang, S.T. Jung, H.R. Song // BMC Musculoskelet. Disord. 2015. Vol. 16. P. 54. DOI 10.1186/s12891-015-0514-5.
22. Reimers J. The stability of the hip in children. A radiological study of the results of muscle surgery in cerebral palsy // Acta Orthop. Scand. Suppl. 1980. Vol. 184. P. 1-100. DOI: 10.3109/ort.1980.51.suppl-184.01.
23. Perception of imposed leg length inequality in normal subjects / S. O'Brien, G. Kernohan, C. Fitzpatrick, J. Hill, D. Beverland // Hip Int. 2010. Vol. 20, No 4. P. 505-511. DOI: 10.1177/112070001002000414.
24. Диагностика фемороацетабулярного импинджмент-синдрома: роль магнитно-резонансной томографии / О.Ю. Блищ, И.Г. Пчелин, В.А. Фокин, Г.Е. Труфанов // Медицинская визуализация. 2014. № 1. С. 94-101.
25. Is vertical-center-anterior angle equivalent to anterior coverage of the hip? // T. Sakai, T. Nishii, K. Sugamoto, H. Yoshikawa, N. Sugano // Clin. Orthop. Relat. Res. 2009. Vol. 467, No 11. P. 2865-2871. doi: 10.1007/s11999-009-0802-1.
26. Radiographic Determination of Hip Rotation Center and Femoral Offset in Japanese Adults: A Preliminary Investigation toward the Preoperative Implications in Total Hip Arthroplasty / T. Takamatsu, T. Shishido, Y. Takahashi, T. Masaoka, T. Tateiwa, K. Kubo, K. Endo, M. Aoki, K. Yamamoto // Biomed. Res. Int. 2015. Vol. 2015. P. 610763. DOI: 10.1155/2015/610763.
27. Профилактика варизации шеечно-диафизарного угла бедренной кости при внутрикостном дистракционном остеосинтезе аппаратами Блискунова / В.В. Драган, М.В. Андрианов, А.В. Ткач, Ю.И. Андрияшек, А.В. Плоткин, А.В. Данилюк, А.В. Заричный, И.Б. Федосов, С. Пратхам // Літопис травматології та ортопедії. 2011. № 1-2. С. 82-84.
28. Пулатов А.Р., Минеев В.В. Сравнительный анализ хирургического лечения нестабильных форм юношеского эпифизеолиза головки бедренной кости // Медицинский альманах. 2012. № 1 С. 145-147. URL: http://www.medalmanac.ru/ru/old/archive/year_2012/numb_1_2012/traumatology_orthopedy/2594 (дата обращения 08.05.2018).
29. Маркс В.О. Ортопедическая диагностика: рук. -справ. Минск : Наука и техника, 1978. 512 с.
30. Чеченова Ф.В. Эпифизарная дисплазия головок бедер – дисплазия Майера : автореф. дис. ... канд. мед. наук : 14.00.22. М., 2009. 21 с.
31. Radiographic measurements of hip dysplasia at skeletal maturity – new reference intervals based on 2,058 19-year-old Norwegians / L.B. Laborie, I.Ø. Engesaete, T.G. Lehmann, F. Sera, C. Dezauteux, L.B. Engesaeter, K. Rosendahl // Skeletal Radiol. 2013. Vol. 42, No 7. P. 925-935. DOI 10.1007/s00256-013-1574-y.
32. What are the radiographic reference values for acetabular under- and overcoverage? / M. Tannast, M.S. Hanke, G. Zheng, S.D. Steppacher, K.A. Siebenrock // Clin. Orthop. Relat. Res. 2015. Vol. 473, No 4. P. 1234-1246. DOI: 10.1007/s11999-014-4038-3.
33. Accurate simulation of hip joint range of motion / M. Kang, H. Sadri, L. Moccozet, N. Magnenat-Thalmann, P. Hoffmeyer // Proceedings of the Conference: Computer Animation. 2002. DOI: 10.1109/CA.2002.1017539.
34. Differences in hip morphology between the sexes in patients undergoing hip resurfacing / H.D. Atkinson, K.S. Johal, C. Willis-Owen, S. Zadow, R.D. Oakshott // J. Orthop. Surg. Res. 2010. Vol. 5. P. 76. DOI: 10.1186/1749-799X-5-76.
35. Eklöf O., Ringertz H., Samuelsson L. The percentage of migration as indicator of femoral head position // Acta Radiol. 1988. Vol. 29, No 3. P. 363-366.
36. Severe Pelvic Obliquity Affects Femoral Offset in Patients with Total Hip Arthroplasty but Not Leg-Length Inequality / X. Zhou, Q. Wang, X. Zhang, Y. Chen, X. Peng, Y. Mao, Y. Yang, B. Fu, X. Wang, T. Tang // PLoS One. 2015. Vol. 10, No 12. P. e0144863 DOI: 10.1371/journal.pone.0144863.
37. The centre edge angle of Wiberg of acetabulum in adult Jordanian population / M. El-Heis, M. Gharaibeh, M. Al-Omari, R. Khasawneh // MOJ Orthop. Rheumatol. 2018. Vol. 10, No 2. P. 168-170.
38. Роль крестца и нижнепоясничного отдела позвоночника в определении пространственного положения и развитии патологии проксимального отдела бедренной кости / В.М. Прохоренко, П.С. Турков, В.Ю. Кузин, А.М. Перфильев // Бюллетень СО РАМН. 2012. Т. 32, № 6. С. 41-45.
39. Cotrel Y., Dubouset J. C-D instrumentation en chirurgie rachidienne: principes, techniques, erreurs et pièges. Montpellier, France: Sauramps médical, 1992. 159 p.
40. Marty C., Legave J., Duval-Beaupère G. Normal sagittal equilibrium of the spine. Its relations with the pelvic parameters. Its dysfunctionings: origin of lowback pain // Resonances Europeennes du Rachis. 1997. No 15. P. 21-28.
41. Correlation of radiographic, clinical, and patient assessment of shoulder balance following fusion versus nonfusion of the proximal thoracic curve in adolescent idiopathic scoliosis / T.R. Kuklo, L.G. Lenke, E.J. Graham, D.S. Won, F.A. Sweet, K.M. Blanke, K.H. Bridwell // Spine. 2002. Vol. 27, No 18. P. 2013-2020.
42. Тесаков Д.К., Тесакова Д.Д. Рентгенологические методики измерения дуг сколиотической деформации позвоночника во фронтальной плоскости и их сравнительный анализ // Проблемы здоровья и экологии. 2007. № 3. С. 94-103.
43. Крутько А.В. Саргитальный баланс. Гармония в формулах : справ. информация для практ. расчетов. Новосибирск, 2016. 67 с.
44. Jean L. The sagittal pelvic thickness: a determining parameter for the regulation of the sagittal spinopelvic balance // ISRN Anat. 2013. Vol. 2013. P. 364068. DOI: 10.5402/2013/364068.
45. Pelvic parameters: origin and significance / J.C. Le Huec, S. Aunoble, L. Philippe, P. Nicolas // Eur. Spine J. 2011. Vol. 20, No Suppl. 5. P. 564-571. DOI: 10.1007/s00586-011-1940-1.
46. Lumbo-pelvic lordosis and the pelvic radius technique in the assessment of spinal sagittal balance: strengths and caveats / I.G. Sergides, P.F. McCombe, G. White, S. Mokhtar, W.R. Sears // Eur. Spine J. 2011. Vol. 20, No Suppl. 5. P. 591-601. DOI: 10.1007/s00586-011-1926-z.
47. Compensatory spinopelvic balance over the hip axis and better reliability in measuring lordosis to the pelvic radius on standing lateral radiographs of adult volunteers and patients / R.P. Jackson, M.D. Peterson, A.C. McManus, C. Hales // Spine. 1998. Vol. 23, No 16. P. 1750-1767.
48. Pelvic lordosis and alignment in spondylolisthesis / R.P. Jackson, T. Phipps, C. Hales, J. Surber // Spine. 2003. Vol. 28, No 2. P. 151-60. DOI: 10.1097/01.BRS.0000041586.19349.36.
49. Pelvic incidence: a fixed value or can you change it? / H.M. Place, A.M. Hayes, S.B. Huebner, A.M. Hayden, H. Israel, J.L. Brechbuhler // Spine J. 2017. Vol. 17, No 10. P. 1565-1569. DOI: 10.1016/j.spinee.2017.06.037.
50. Хаджимуратова С.Х., Жарков П.Л. Количественная оценка поясничного отдела позвоночника у взрослых по данным рентгенограмметрии // Радиология – практика. 2009. № 6. С. 30-36.
51. Киселев А.М., Киселев А.А. Современные технологии хирургического лечения спондилолистеза пояснично-крестцового отдела позвоночника : пособие для врачей. М. : Медики, 2015, 37 с.
52. Preoperative T1 Slope as a Predictor of Change in Cervical Alignment and Range of Motion After Cervical Disc Arthroplasty / J. Zhao, R. Jiang, Y. Yang, R. Gu, Z. Gao, J. Xiao, S. Chen, M. Yang // Med. Sci. Monit. 2017. Vol. 23. P. 5844-5850.
53. Reliability of Measuring Thoracic Kyphosis Angle, Lumbar Lordosis Angle and Straight Leg Raise with an Inclinator / A.S. Van Blommestein, J.S. Lewis, M.C. Morrissey, S. MacRae // The Open Spine Journal. 2012. Vol. 4. P. 10-15. DOI: 10.2174/1876532701204010010.
54. Yochum T.R., Rowe L.J., editors. Yochum and Rowe's Essentials of Skeletal Radiology. 3rd ed. Lippincott Williams & Wilkins. 2004. Vol. 1. 1800 p.
55. Кривошапкин А.Л., Некрасов А.Д., Семин П.А. Грыжа поясничного межпозвоночного диска: минимально инвазивная хирургия и альтернативная локомоция. Новосибирск : Академическое изд-во «Гео», 2014. 227 с.
56. Postoperative trunk shift in Lenke 1 and 2 curves: how common is it? and analysis of risk factors / P.D. Trobisch, A.F. Samdani, J.M. Pahys, P.J. Cahill // Eur. Spine J. 2011. Vol. 20, No 7. P. 1137-1140. DOI: 10.1007/s00586-011-1820-8.
57. Травматизм, ортопедическая заболеваемость. Состояние травматолого-ортопедической помощи населению России в 2016 году : сб. / под ред. С.П. Миронова. М. : ФГБУ "НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова" Минздрава России, 2017. 149 с.
58. Morphology and biomechanics of human heart / N.O. Chelnokova, A.A. Golyadkina, I.V. Kirillova, A.V. Polienko, D.V. Ivanov // Progress in Biomedical Optics and Imaging. Proceedings of SPIE 3. Optical Elastography and Tissue Biomechanics III. 2016. Vol. 9710. Id. 971013. DOI: 10.1117/12.2208423.
59. Patient-specific modeling of human cardiovascular system elements / L.Yu. Kossovich, I.V. Kirillova, A.A. Golyadkina, A.V. Polienko, N.O. Chelnokova, D.V. Ivanov, V.V. Murylev // Progress in Biomedical Optics and Imaging. Proceedings of SPIE 3. Optical Elastography and Tissue Biomechanics III. 2016. Vol. 9710. Id. 971014. DOI: 10.1117/12.2208426.
60. Patient-specific modeling of pathologically tortuous carotid artery / L. Kossovich, A. Golyadkina, I. Kirillova, A. Kalinin, A. Polienko, L. Menishova, E. Kossovich, K. Morozov // Cardiotexnic 2014 – Proceedings of the 2nd International Congress on Cardiovascular Technologies 2. Rome, Italy, 2014. P. 31-35.

REFERENCES

- Greenes R.A., editor. *Clinical Decision Support. The road ahead*. 1st Ed. Boston, Academic Press, 2006, 544 p.
- Nazarenko G.I., Guliev Ia.I., Ermakov D.E. *Meditsinskie informatsionnye sistemy: teoriia i praktika* [Medical Information Systems: Theory and Practice]. M., FIZMALIT, 2005, 320 p. (in Russian)
- Karpov O.E., Klimenov G.S., Lebedev G.S., Iakimov O.S. *Standartizatsiia v elektronnom zdavookhraneni* [Standardization in electron Health Service]. M., DPK Press, 2016, 432 p. (in Russian)
- Frolov S.V., Makoveev S.N., Semenova S.V., Farea S.G. *Sovremennye tendentsii razvitiia rynka meditsinskikh informatsionnykh sistem* [Current trends in the development of medical information system market]. *Vestnik Tambovskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta*, 2010, vol. 16, no. 2, pp. 266-272. (in Russian)
- Litvin A.A., Litvin V.A. *Sistemy podderzhki priiniatii reshenii v khirurgii* [Decision support systems in surgery]. *Novosti Khirurgii*, 2014, vol. 22, no. 1, pp. 96-100. (in Russian) DOI: 10.18484/2305-0047.2014.1.96.
- Laprun I.B. *IT v otechestvennoi meditsine. Vse eshche v nachale puti?* [IT in native medicine. Still at the beginning?]. *Vrach i Informatsionnye Tekhnologii*, 2008, no. 1, pp. 28-37. (in Russian)
- Chen W., Cockrell C., Ward K.R., Najarian K. Intracranial pressure level prediction in traumatic brain injury by extracting features from multiple sources and using machine learning methods. *Proceedings of the IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine*. Hong Kong, China, IEEE Xplore, 2010, pp. 510-515. DOI: 10.1109/BIBM.2010.5706619.
- Davuluri P., Wu J., Ward K.R., Cockrell C.H., Najarian K., Hobson R.S. An automated method for hemorrhage detection in traumatic pelvic injuries. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. 2011, pp. 5108-5111. DOI: 10.1109/IEMBS.2011.6091265.
- Steinberg E.L., Segev E., Drexler M., Ben-Tov T., Nimrod S. Preoperative planning of orthopedic procedures using digitalized software systems. *Isr. Med. Assoc. J.*, 2016, vol. 18, no. 6, pp. 354-358.
- Westacott D.J., McArthur J., King R.J., Foguet P. Assessment of cup orientation in hip resurfacing: a comparison of TraumaCad and computed tomography. *J. Orthop. Surg. Res.*, 2013, vol. 8, pp. 8. DOI: 10.1186/1749-799X-8-8.
- El Bitar Y.F., Jackson T.J., Lindner D., Botser I.B., Stake C.E., Domb B.G. Predictive value of robotic-assisted total hip arthroplasty. *Orthopedics*, 2015, vol. 38, no. 1, pp. e31-e37. DOI: 10.3928/01477447-20150105-57.
- Hosseinzadeh P., Ross D.R., Walker J.L., Talwalkar V.R., Iwinski H.J., Milbrandt T.A. Three methods of guided growth for pediatric lower extremity angular deformity correction. *Iowa Orthop. J.*, 2016, vol. 36, pp. 123-127.
- Helmy N.A., El-Sayyad M.M., Kattabei O.M. Intra-rater and inter-rater reliability of Surgimap Spine software for measuring spinal postural angles from digital photographs. *Bull. Fac. Phys. Ther.*, 2015, vol. 20, pp. 193-199. DOI: 10.4103/1110-6611.174719.
- Davila J.A., Kransdorf M.J., Duffy G.P. Surgical planning of total hip arthroplasty: accuracy of computer-assisted EndoMap software in predicting component size. *Skeletal Radiol.*, 2006, vol. 35, no. 6, pp. 390-395. DOI: 10.1007/s00256-006-0106-4.
- Krupski W., Kurys-Denis E., Matuszewski L., Plezia B. Use of multi-planar reconstruction (MPR) and 3-dimensional (3D) CT to assess stability criteria in C2 vertebral fractures. *J. Pre Clin. Clin. Res.*, 2007, vol. 1, no. 1, pp. 80-85.
- Nemaris SURGIMAP® *The Physician Driven Imaging Solution®. Inc. Product. User Guide*. Available at: <https://www.surgimap.com/wp-content/uploads/2015/06/Surgimap-User-Guide-Version-3.8.pdf> (accessed 09.08.2018).
- https://www.hectec.de/content/images/demo/new_images/5d/2017_mediCAD-SPINE3D_EN_05-2017_Web.pdf (accessed: 09.08.2018)
- DICOM PS 3.3, Digital Imaging and Communications in Medicine. Part 3: Information Object Definitions*. Virginia, USA, National Electrical Manufacturers Associations, 2003. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-iso-17432-2009> (accessed 09.08.2018).
- Fujii M., Nakashima Y., Sato T., Akiyama M., Iwamoto Y. Pelvic deformity influences acetabular version and coverage in hip dysplasia. *Clin. Orthop. Relat. Res.*, 2011, vol. 469, no. 6, pp. 1735-1742. DOI: 10.1007/s11999-010-1746-1.
- Garcia Vazquez-Noguerol M., Rodriguez V.T., Lobato P.B., Vázquez-Fernández E., Vieito Fuentes J.M.; Vigo/ES. Pictorial review: non-traumatic paediatric hip. *European Congress of Radiology (ECR)*. 2013, poster No C-1423. DOI: 10.1594/ecr2013/C-1423.
- Wang Y.Z., Park K.W., Oh C.S., Ahn Y.S., Kang Q.L., Jung S.T., Song H.R. Developmental pattern of the hip in patients with hereditary multiple exostoses. *BMC Musculoskelet. Disord.*, 2015, vol. 16, pp. 54. DOI 10.1186/s12891-015-0514-5.
- Reimers J. The stability of the hip in children. A radiological study of the results of muscle surgery in cerebral palsy. *Acta Orthop. Scand. Suppl.*, 1980, vol. 184, pp. 1-100. DOI: 10.3109/ort.1980.51.suppl-184.01.
- O'Brien S., Kernohan G., Fitzpatrick C., Hill J., Beverland D. Perception of imposed leg length inequality in normal subjects. *Hip Int.*, 2010, vol. 20, no. 4, pp. 505-511. DOI: 10.1177/112070001002000414.
- Blishch O.Iu., Pchelin I.G., Fokin V.A., Trufanov G.E. Diagnostika femoroacetabularnogo impindzhment-sindroma: rol magnitno-rezonansnoi tomografii [Diagnosis of femoroacetabular impingement-syndrome: the role of magnetic resonance tomography]. *Meditsinskaia Vizualizatsiia*, 2014, no. 1, pp. 94-101. (in Russian)
- Sakai T., Nishii T., Sugamoto K., Yoshikawa H., Sugano N. Is vertical-center-anterior angle equivalent to anterior coverage of the hip? *Clin. Orthop. Relat. Res.*, 2009, vol. 467, no. 11, pp. 2865-2871. doi: 10.1007/s11999-009-0802-1.
- Takamatsu T., Shishido T., Takahashi Y., Masaoka T., Tateiwa T., Kubo K., Endo K., Aoki M., Yamamoto K. Radiographic Determination of Hip Rotation Center and Femoral Offset in Japanese Adults: A Preliminary Investigation toward the Preoperative Implications in Total Hip Arthroplasty. *Biomed. Res. Int.*, 2015, vol. 2015, pp. 610763. DOI: 10.1155/2015/610763.
- Dragan V.V., Andrianov M.V., Tkach A.V., Andriiashek Iu.I., Plotkin A.V., Daniliuk A.V., Zarichnyi A.V., Fedosov I.B., Pratkham S. Profilaktika varizatsii sheechno-diafizarnogo ugla bedrennoi kosti pri vnutrikostnom distraktsionnom osteosinteze apparatami Bliskunova [Preventing varization of femoral neck-shaft angle for intraosseous distraction osteosynthesis using the Bliskunov devices]. *Litopis Travmatologii ta Ortopedii*, 2011, no. 1-2, pp. 82-84. (in Russian)
- Pulatov A.R., Mineev V.V. *Sravnitelnyi analiz khirurgicheskogo lecheniia nestabilnykh form iunosheskogo epifizeoliza golovki bedrennoi kosti* [A comparative analysis of surgical treatment of juvenile femoral head epiphysiolysis unstable forms]. *Meditsinskii Almanakh*, 2012, no. 1, pp. 145-147. (in Russian) Available at: http://www.medalmanac.ru/ru/old/archive/year_2012/numb_1_2012/traumatology_orthopedy/2594 (accessed 08.05.2018).
- Marks V.O. *Ortopedicheskaia diagnostika: ruk.-sprav.* [Orthopedic Diagnosis: reference manual]. Minsk, Nauka i tekhnika, 1978, 512 p. (in Russian)
- Chechenova F.V. *Epifizarnaia displaziia golovok beder – displaziia Maiera*. Avtoref. kand. diss. med. nauk [Epiphyseal Dysplasia of the Femoral Heads. Synopsis of Dr. med. sci. diss.]. Moscow, 2009. 21 p.
- Laborie L.B., Engesaete I.Ø., Lehmann T.G., Sera F., Dezateux C., Engesaeter L.B., Rosendahl K. Radiographic measurements of hip dysplasia at skeletal maturity – new reference intervals based on 2,038 19-year-old Norwegians. *Skeletal Radiol.*, 2013, vol. 42, no. 7, pp. 925-935. DOI 10.1007/s00256-013-1574-y.
- Tannast M., Hanke M.S., Zheng G., Steppacher S.D., Siebenrock K.A. What are the radiographic reference values for acetabular under- and overcoverage? *Clin. Orthop. Relat. Res.*, 2015, vol. 473, no. 4, pp. 1234-1246. DOI: 10.1007/s11999-014-4038-5.
- Kang M., Sadri H., Mocozet L., Magnenat-Thalmann N., Hoffmeyer P. Accurate simulation of hip joint range of motion. *Proceedings of the Conference: Computer Animation*. 2002. DOI: 10.1109/CA.2002.1017539.
- Atkinson H.D., Johal K.S., Willis-Owen C., Zadow S., Oakshott R.D. Differences in hip morphology between the sexes in patients undergoing hip resurfacing. *J. Orthop. Surg. Res.*, 2010, vol. 5, pp. 76. DOI: 10.1186/1749-799X-5-76.
- Eklöf O., Ringertz H., Samuelsson L. The percentage of migration as indicator of femoral head position. *Acta Radiol.*, 1988, vol. 29, no. 3, pp. 363-366.
- Zhou X., Wang Q., Zhang X., Chen Y., Peng X., Mao Y., Yang Y., Fu B., Wang X., Tang T. Severe Pelvic Obliquity Affects Femoral Offset in Patients with Total Hip Arthroplasty but Not Leg-Length Inequality. *PLoS One*, 2015, vol. 10, no. 12, pp. e0144863 DOI: 10.1371/journal.pone.0144863.
- El-Heis M., Gharaibeh M., Al-Omari M., Khasawneh R. The centre edge angle of Wiberg of acetabulum in adult Jordanian population. *MOJ Orthop. Rheumatol.*, 2018, vol. 10, no. 2, pp. 168-170.
- Prokhorenko V.M., Turkov P.S., Kuzin V.Iu., Perfilov A.M. Rol kresttsa i nizhnepoiasnichnogo otdela pozvonochnika v opredelenii prostranstvennogo polozeniia i razvitiia patologii proksimalnogo otdela bedrennoi kosti [The role of sacrum and lower lumbar spine in determining the spatial position of the proximal femur as well as in its pathology development]. *Biulleten SO RAMN*, 2012, vol. 32, no. 6, pp. 41-45. (in Russian)

39. Cotrel Y., Dubouset J. *C-D instrumentation en chirurgie rachidienne: principes, techniques, erreurs et pièges*. Montpellier, France, Sauramps médical, 1992, 159 p.
40. Marty C., Legave J., Duval-Beaupère G. Normal sagittal equilibrium of the spine. Its relations with the pelvic parameters. Its dysfunctions: origin of lowback pain. *Resonances Europeennes du Rachis*, 1997, no. 15, pp. 21-28.
41. Kuklo T.R., Lenke L.G., Graham E.J., Won D.S., Sweet F.A., Blanke K.M., Bridwell K.H. Correlation of radiographic, clinical, and patient assessment of shoulder balance following fusion versus nonfusion of the proximal thoracic curve in adolescent idiopathic scoliosis. *Spine*, 2002, vol. 27, no. 18, pp. 2013-2020.
42. Tesakov D.K., Tesakova D.D. Rentgenologicheskie metodiki izmereniia dug skolioticheskoi deformatsii pozvonochnika vo frontalnoi ploskosti i ikh sravnitelnyi analiz [X-ray techniques of measuring the spine scoliotic deformity arcs in the frontal plane and their comparative analysis]. *Problemy Zdorovia i Ekologii*, 2007, no. 3, pp. 94-103. (in Russian)
43. Krutko A.V. Sagittalnyi balans. Garmonii v formulakh: sprav. informatsiia dlia prakt. raschetov [Sagittal Balance: Harmony in the formulas: reference information for practical calculations]. Novosibirsk, 2016, 67 p. (in Russian)
44. Jean L. The sagittal pelvic thickness: a determining parameter for the regulation of the sagittal spinopelvic balance. *ISRN Anat.*, 2013, vol. 2013, pp. 364068. DOI: 10.5402/2013/364068.
45. Le Huec J.C., Aunoble S., Philippe L., Nicolas P. Pelvic parameters: origin and significance. *Eur. Spine J.*, 2011, vol. 20, no. Suppl. 5, pp. 564-571. DOI: 10.1007/s00586-011-1940-1.
46. Sergides I.G., McCombe P.F., White G., Mokhtar S., Sears W.R. Lumbo-pelvic lordosis and the pelvic radius technique in the assessment of spinal sagittal balance: strengths and caveats. *Eur. Spine J.*, 2011, vol. 20, no. Suppl. 5, pp. 591-601. DOI: 10.1007/s00586-011-1926-z.
47. Jackson R.P., Peterson M.D., McManus A.C., Hales C. Compensatory spinopelvic balance over the hip axis and better reliability in measuring lordosis to the pelvic radius on standing lateral radiographs of adult volunteers and patients. *Spine*, 1998, vol. 23, no. 16, pp. 1750-1767.
48. Jackson R.P., Phipps T., Hales C., Surber J. Pelvic lordosis and alignment in spondylolisthesis. *Spine*, 2003, vol. 28, no. 2, pp. 151-60. DOI: 10.1097/01.BRS.0000041586.19349.36.
49. Place H.M., Hayes A.M., Huebner S.B., Hayden A.M., Israel H., Brechbuhler J.L. Pelvic incidence: a fixed value or can you change it? *Spine J.*, 2017, vol. 17, no. 10, pp. 1565-1569. DOI: 10.1016/j.spinee.2017.06.037.
50. Khadzhimuratova S.Kh., Zharkov P.L. Kolichestvennaia otsenka podvizhnosti poiasnichnogo otdela pozvonochnika u vzroslykh po dannym rentgenogrammetrii [Quantitative evaluation of the lumbar spine mobility in adults by roentgenogrammetry data]. *Radiologiya – Praktika*, 2009, no. 6, pp. 30-36. (in Russian)
51. Kiselev A.M., Kiselev A.A. *Sovremennye tekhnologii khirurgicheskogo lecheniia spondilolisteza poiasnichno-kresttsovogo otdela pozvonochnika: posobie dlia vrachei* [Modern technologies of surgical treatment of the lumbosacral spine spondylolisthesis: guide for physicians]. M., Moniki, 2015, 37 p. (in Russian)
52. Zhao J., Jiang R., Yang Y., Gu R., Gao Z., Xiao J., Chen S., Yang M. Preoperative T1 Slope as a Predictor of Change in Cervical Alignment and Range of Motion After Cervical Disc Arthroplasty. *Med. Sci. Monit.*, 2017, vol. 23, pp. 5844-5850.
53. Van Blommestein A.S., Lewis J.S., Morrissey M.C., MacRae S. Reliability of Measuring Thoracic Kyphosis Angle, Lumbar Lordosis Angle and Straight Leg Raise with an Inclinometer. *The Open Spine Journal*, 2012, vol. 4, pp. 10-15. DOI: 10.2174/1876532701204010010.
54. Yochum T.R., Rowe L.J., editors. *Yochum and Rowe's Essentials of Skeletal Radiology*. 3rd ed. Lippincott Williams & Wilkins, 2004, vol. 1, 1800 p.
55. Krivoshapkin A.L., Nekrasov A.D., Semin P.A. *Gryzha poiasnichnogo mezhpozvonkovogo diska: minimalno invazivnaia khirurgiia i alternativnaia lokomotsiia* [Lumbar intervertebral disk hernia: minimally invasive surgery and alternative locomotion]. Novosibirsk, Akademicheskoe izd-vo «Geo», 2014, 227 p. (in Russian)
56. Trobisch P.D., Samdani A.F., Pahys J.M., Cahill P.J. Postoperative trunk shift in Lenke 1 and 2 curves: how common is it? and analysis of risk factors. *Eur. Spine J.*, 2011, vol. 20, no. 7, pp. 1137-1140. DOI: 10.1007/s00586-011-1820-8.
57. Mironov S.P., ed. *Travmatizm, ortopedicheskaia zaboлеваemost. sostoianie travmatologo-ortopedicheskoi pomoshchi naseleniiu Rossii v 2016 godu: sb.* [Injuries, orthopedic morbidity. The state of traumatological-and-orthopedic care to the population of Russia in 2016: Proc.] M., FGBU "NMITs TO im. N.N. Priorova" Minzdrava Rossii, 2017, 149 p. (in Russian)
58. Chelnokova N.O., Golyadkina A.A., Kirillova I.V., Polienko A.V., Ivanov D.V. *Morphology and biomechanics of human heart* *Progress in Biomedical Optics and Imaging. Proceedings of SPIE 3. Optical Elastography and Tissue Biomechanics III*. 2016, vol. 9710, id. 971013. DOI: 10.1117/12.2208423.
59. Kossovich L.Yu., Kirillova I.V., Golyadkina A.A., Polienko A.V., Chelnokova N.O., Ivanov D.V., Murylev V.V. *Patient-specific modeling of human cardiovascular system elements* *Progress in Biomedical Optics and Imaging. Proceedings of SPIE 3. Optical Elastography and Tissue Biomechanics III*. 2016, vol. 9710, id. 971014. DOI: 10.1117/12.2208426.
60. Kossovich L., Golyadkina A., Kirillova I., Kalinin A., Polienko A., Menishova L., Kossovich E., Morozov K. Patient-specific modeling of pathologically tortuous carotid artery. *Cardiotech 2014 – Proceedings of the 2nd International Congress on Cardiovascular Technologies 2*. Rome, Italy, 2014, pp. 31-35.

Рукопись поступила 08.10.2018

Сведения об авторах:

1. Колесникова Анна Сергеевна, к. ф.-м. н., ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского», г. Саратов, Россия, Email: kolesnikova.88@mail.ru
2. Федонников Александр Сергеевич, к. м. н., ФГБОУ ВО «Саратовский ГМУ имени В.И. Разумовского» Минздрава России, г. Саратов, Россия, Email: fedonnikov@sgmu.ru
3. Кириллова Ирина Васильевна, к. ф.-м. н., ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского», г. Саратов, Россия, Email: cdss@sgu.ru
4. Ульянов Владимир Юрьевич, д. м. н., ФГБОУ ВО «Саратовский ГМУ имени В.И. Разумовского» Минздрава России, г. Саратов, Россия, Email: v.u.ulyanov@gmail.com
5. Левченко Кристина Константиновна, д. м. н., ФГБОУ ВО «Саратовский ГМУ имени В.И. Разумовского» Минздрава России, г. Саратов, Россия, Email: obeydik@yandex.ru
6. Киреев Сергей Иванович, д. м. н., ФГБОУ ВО «Саратовский ГМУ имени В.И. Разумовского» Минздрава России, г. Саратов, Россия, Email: kireevsi@rambler.ru
7. Коссович Леонид Юрьевич, д. ф.-м. н., профессор, ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского», г. Саратов, Россия, Email: president@sgu.ru
8. Норкин Игорь Алексеевич, д. м. н., профессор, ФГБОУ ВО «Саратовский ГМУ имени В.И. Разумовского» Минздрава России, г. Саратов, Россия, Email: sarniito@yandex.ru

Information about the authors:

1. Anna S. Kolesnikova, Ph.D. of Physical and Mathematical Sciences, Saratov Chernyshevsky National Research State University, Saratov, Russian Federation, Email: kolesnikova.88@mail.ru
2. Aleksandr S. Fedonnikov, M.D., Ph.D., Saratov Razumovsky State Medical University, Saratov, Russian Federation, Email: fedonnikov@sgmu.ru
3. Irina V. Kirillova, Ph.D. of Physical and Mathematical Sciences, Saratov Chernyshevsky National Research State University, Saratov, Russian Federation, Email: cdss@sgu.ru
4. Vladimir Iu. Ulianov, M.D., Ph.D., Saratov Razumovsky State Medical University, Saratov, Russian Federation, Email: v.u.ulyanov@gmail.com
5. Kristina K. Levchenko, M.D., Ph.D., Saratov Razumovsky State Medical University, Saratov, Russian Federation, Email: obeydik@yandex.ru
6. Sergei I. Kireev, M.D., Ph.D., Saratov Razumovsky State Medical University, Saratov, Russian Federation, Email: kireevsi@rambler.ru
7. Leonid Iu. Kossovich, Ph.D. of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Saratov Chernyshevsky National Research State University, Saratov, Russian Federation, Email: president@sgu.ru
8. Igor A. Norkin, M.D., Ph.D., Professor, Saratov Razumovsky State Medical University, Saratov, Russian Federation, Email: sarniito@yandex.ru