

Сравнительный анализ мобильного приложения для измерения параметров сагиттального баланса «СпиноМетр» с системой Surgimap: апробация межэкспертной надежности

Д.В. Иванов¹, И.В. Кириллова¹, Л.Ю. Коссович¹, С.В. Лихачев², А.В. Полиенко¹, А.В. Харламов¹, А.Е. Шульга²

¹Федеральное 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 им. В.И. Разумовского» Минздрава России, г. Саратов, Россия

Comparative analysis of the SpinoMeter mobile application and Surgimap system for measuring the sagittal balance parameters: inter-observer reliability test

D.V. Ivanov¹, I.V. Kirillova¹, L.Yu. Kossovich¹, S.V. Likhachev², A.V. Polienko¹, A.V. Kharlamov¹, A.E. Shulga²

¹Saratov State University, Saratov, Russian Federation

²Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky, Saratov, Russian Federation

Цель. Оценка достоверности, точности и эффективности мобильного приложения для измерения сагиттального баланса позвоночно-тазового комплекса «СпиноМетр» в сравнении с системой предоперационного планирования для настольного компьютера Surgimap. **Материалы и методы.** Сотрудниками лаборатории «Системы поддержки принятия врачебных решений» ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского» в 2019 году было разработано мобильное приложение «СпиноМетр», предназначенное для измерения актуальных и расчета оптимальных параметров сагиттального баланса позвоночно-тазового комплекса конкретного пациента. При помощи программы Surgimap и «СпиноМетра» измерены параметры сагиттального баланса позвоночно-тазового комплекса: тазовый индекс (PI), поясничный лордоз (LL), наклон крестца (SS) и наклон таза (PT). Межэкспертная надежность оценена по данным рентгенограмм в положении стоя у 52 пациентов с последствиями травм и патологией поясничного отдела позвоночника с синдромом дисбаланса. Исследования проводились на базе НИИ травматологии, ортопедии и нейрохирургии ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Минздрава России. Измеренные значения параметров сагиттального баланса представлены в таблицах и в виде графиков. Для всех данных проверялась гипотеза о нормальном распределении результатов измерений при помощи критерия Колмогорова-Смирнова. Для проверки гипотезы об однородности результатов измерений для нормально распределенных совокупностей применялся парный t-критерий Стьюдента. В случае отсутствия нормального распределения применялся критерий Вилкоксона для связанных выборок. **Результаты.** Для параметров PI, PT, SS и лордоз L1–S1 на уровне значимости 5 % была подтверждена гипотеза об однородности измерений. Среднее значение параметра лордоз L4–S1, измеренного «СпиноМетром», смещено относительно измерений этого параметра, проведенных программой Surgimap, в сторону занижения. Величина смещения не превосходила 0,7 %. **Заключение.** Показано, что мобильное приложение «СпиноМетр» эквивалентно программе Surgimap в части измерения параметров сагиттального баланса на основании рентгенограмм в положении стоя. **Ключевые слова:** сагиттальный баланс, мобильное приложение, параметры сагиттального баланса

The **purpose** of the study was to assess the reliability, accuracy and effectiveness of a mobile application SpinoMeter for measuring the sagittal balance of the spino-pelvic complex in comparison with the desktop preoperative planning system Surgimap. **Methods** SpinoMeter mobile application was developed in 2019 at the laboratory for Medical Decision Support Systems of Saratov State University. SpinoMeter is intended for measuring the actual and for calculating the optimal parameters of the sagittal balance of the spino-pelvic complex of a particular patient. Pelvic incidence (PI), lumbar lordosis (LL), sacral slope (SS) and pelvic tilt (PT) were measured with the help of Surgimap and SpinoMeter. Inter-observer reliability was assessed on X-rays in a standing position of 52 patients having consequences of injuries and pathology of the lumbar spine with imbalance syndrome. The research site was the Scientific Research Institute of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery of Saratov State Medical University. Measurements of the sagittal balance parameters were presented in tables and diagrams. For all data, the hypothesis of a normal distribution of the measurement results was tested using the Kolmogorov-Smirnov test. To test the hypothesis of homogeneity of the measurement results for normally distributed samples, the paired Student t-test was used. In the absence of a normal distribution, the Wilcoxon test was used for related samples. **Results** For PI, PT, SS and L1-S1 lordosis at a significance level of 5 %, the hypothesis of uniformity of measurements was confirmed. The average value of L4-S1 lordosis, measured by SpinoMeter, was shifted down relative to the measurements of this parameter by the Surgimap program. The shift did not exceed 0.7 %. **Conclusion** SpinoMeter mobile application is equivalent to the Surgimap system in terms of measuring the sagittal balance parameters based on radiographs in a standing position.

Keywords: sagittal balance, mobile application, sagittal balance parameters

ВВЕДЕНИЕ

Впервые термин «позвоночно-тазовый баланс» упоминается в статье Duval-Beaupere [1]. Сегодня фундаментальному и прикладному изучению сагиттального баланса позвоночно-тазового комплекса посвящают работы такие известные иностранные и отечественные ученые и клиницисты как Le Huec [2], Shwabb [3], Крутько [4] и другие.

Считается [5], что соблюдение сагиттального баланса или нейтрального вертикального выравнивания позвоночника в сагиттальной плоскости – это основ-

ная цель хирургических, эргономических и физиотерапевтических процедур. Оптимальный сагиттальный баланс позволяет получить и оптимальное с точки зрения биомеханики напряженно-деформированное состояние позвоночника и установленных имплантатов. Более того, с точки зрения биомеханики была обоснована [6] необходимость коррекции сагиттального профиля пациента при выполнении операций на позвоночно-тазовом комплексе. Современные исследова-

Сравнительный анализ мобильного приложения для измерения параметров сагиттального баланса «СпиноМетр» с системой surgimap: апробация межэкспертной надежности / Д.В. Иванов, И.В. Кириллова, Л.Ю. Коссович, С.В. Лихачев, А.В. Полиенко, А.В. Харламов, А.Е. Шульга // Гений ортопедии. 2021. Т. 27, № 1. С. 74-79. DOI 10.18019/1028-4427-2021-27-1-74-79

Ivanov D.V., Kirillova I.V., Kossovich L.Yu., Likhachev S.V., Polienko A.V., Kharlamov A.V., Shulga A.E. Comparative analysis of the SpinoMeter mobile application and Surgimap system for measuring the sagittal balance parameters: inter-observer reliability test. *Genij Ortopedii*, 2021, vol. 27, no 1, pp. 74-79. DOI 10.18019/1028-4427-2021-27-1-74-79

ния показывают [7, 8], что сагиттальный баланс играет большую роль в развитии дегенеративных изменений в смежных позвоночно-двигательных сегментах (ПДС) при протяженной фиксации. Выявлено, что пациенты с послеоперационным сагиттальным дисбалансом имели существенно более высокие риски развития дегенеративных изменений в смежных ПДС [7].

Параметры сагиттального баланса используются сегодня [9, 10] для оценки послеоперационного периода и осложнений при лечении пациентов с дегенеративно-дистрофическими заболеваниями позвоночно-тазового комплекса (ПТК).

Современным клиницистам и исследователям доступны новые инструменты оценки параметров сагиттального баланса: системы PACS [11], системы предоперационного планирования [12] для настоль-

ных компьютеров, а также мобильные приложения для смартфонов [13, 14]. Последние являются, по нашему мнению, крайне перспективным инструментом практикующих хирургов и рентгенологов.

В данной работе проведена сравнительная оценка точности и воспроизводимости измерений параметров сагиттального баланса, выполняемых при помощи мобильного приложения «СпиноМетр». В качестве «эталоном» была рассмотрена программа Surgimap, применяющаяся отечественными [15] и иностранными [16] врачами при планировании хирургического лечения патологии позвоночника с вовлечением позвоночно-тазового перехода.

Измерялись угловые параметры сагиттального баланса: PI, PT, SS, лордоз на уровне L4-S1 и лордоз на уровне L1-S1, которые схематично изображены на рисунке 1.

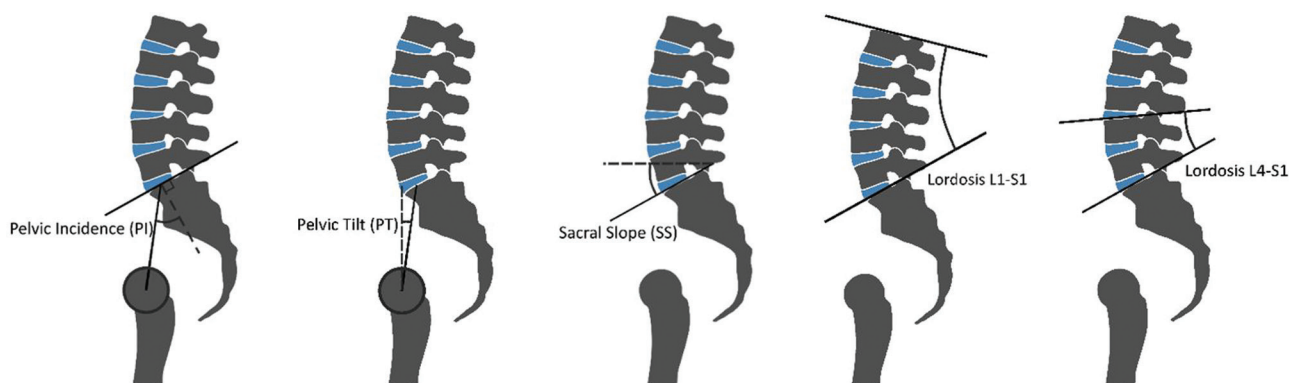


Рис. 1. Схематичное изображение измеряемых параметров сагиттального баланса (слева-направо): PI, PT, SS лордоз L1-S1, лордоз L4-S1

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом исследования послужили рентгенограммы позвоночника и таза в боковой проекции, выполненные пациентам НИИТОН СМГУ. Критериями включения послужили качество рентгенограмм, достаточное для определения границ позвонков и головок бедренных костей, визуализация на одной рентгенограмме L1-S1 позвонков и головок бедренных костей, выполнение рентгенограмм в положении стоя. Средний возраст пациентов составил 46 (32–57) лет. В исследование вошли рентгенограммы 52 больных, при этом пациентов с последствиями травмы позвоночника было 24 (46 % от общего числа), со спондилолистезом 3–4 степени по Мейердингу – 28 (54 % от общего числа) человек.

При измерении параметров сагиттального баланса по рентгенограммам пользовались двумя программными средствами: приложение для настольного компьютера Surgimap версии 2.3.1.2 (115 East 23rd St, Suite #501, New York, NY 10010, USA) и мобильное приложение «СпиноМетр» (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, рег. номер № 2019665169 от 20.11.2019 г.).

Подробная информация о программе Surgimap размещена на сайте производителя [12]. Мобильное приложение «СпиноМетр» было разработано при выполнении проекта «Разработка прототипа системы поддержки принятия врачебных решений в реконструктивной хирургии позвоночно-тазового комплекса» Фонда перспективных исследований. Разработкой и поддержкой приложения занимается лаборатория «Системы поддержки принятия врачебных решений» ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».

Мобильное приложение «СпиноМетр» позволяет измерять актуальные параметры сагиттального баланса позвоночника на рентгенограммах, на мониторе компьютера для конкретного пациента и рассчитывать их теоретические (оптимальные) значения. При работе приложения используются только датчики положения телефона в пространстве, что позволяет работать при любой освещенности помещения и качестве рентгенограммы.

Сначала приведем основные параметры сагиттального баланса, которые позволяет измерять и рассчитывать «СпиноМетр»:

Тазовые параметры:

- Pelvic Incidence (PI) – угол между линией, проведенной от центра замыкательной пластинки S1 к головке бедренной кости, и линией, перпендикулярной замыкательной пластинке S1;
- Pelvic Tilt (PT) – угол между линией, проведенной от центра замыкательной пластинки S1 к головке бедренной кости, и вертикалью;
- Sacral Slope (SS) – угол между горизонтальной линией и замыкательной пластинкой S1.

Параметры позвоночника:

- Lordosis L4-S1 – угол между замыкательной пластинкой S1 и верхней замыкательной пластинкой L4;
- Global Lordosis L1-S1 (GLL) – величина угла между замыкательными пластинками L1 и S1.

При помощи «СпиноМетра» также можно измерять дополнительные параметры сагиттального баланса:

- Spino-Cranial Angle (SCA) – угол между линией, проведенной через нижнюю замыкательную пластику C7, и линией, соединяющей центр sella turcica (турецкое седло) и опорную точку C7;

• Spino-Sacral Angle (SSA) – угол между замыкательной пластинкой S1 и линией, соединяющей центр C7 с серединой замыкательной пластинки S1;

• Lordosis C2-C7 Angle – угол между нижней замыкательной пластинкой C7 и нижней замыкательной пластинкой C2;

• Occipito-C2 Angle – угол между замыкательной пластинкой C2 и линией Макгрегора;

• C7 Slope – угол между нижней замыкательной пластинкой C7 и горизонтальной линией.

Интегративный индекс баланса (FBI) также может быть рассчитан при помощи разработанного мобильного приложения. При его расчете оценивают три угловые величины:

• C7TA – угол трансляции C7 позвонка;

• Angle of femur obliquity (FOA) – угол наклона бедра относительно вертикали;

• Angle of tilt compensation (PTCA) – угол компенсаторного наклона таза.

Затем FBI рассчитывается по формуле $FBI = C7TA + FOA + PTCA$.

Результаты измерений накапливаются в телефоне и могут быть отправлены коллегам удобным способом

посредством самого приложения (почта, СМС, мессенджеры). Все основные параметры сагиттального баланса с описаниями и формулами всегда доступны в телефоне врача, а простой «транспорт» для до- и интраоперационного измерения углов адаптирован специально для медицинского применения.

При измерении параметров в программе Surgimap пользовались инструментами «Cobb angle» и «Pelvic parameters» (рис. 2). При измерении параметров в мобильном приложении «СпиноМетр» пользовались инструментом «Сагиттальный баланс. Тазовые параметры, параметры позвоночника» (рис. 3).

Угловые параметры PI, PT и SS в программе Surgimap измерялись при помощи инструмента «Pelvic parameters», лордозы (L1-S1) и (L4-S1) измерялись инструментами «Cobb angle». На рисунке 1 метка Cobb 1 соответствует лордозу на уровне L4-S1, а метка Cobb 2 – лордозу на уровне L1-S1. Параметр наклона таза SS вычисляется программой Surgimap как разность между значениями параметров PI и PT.

Пошаговый алгоритм измерения при помощи мобильного приложения «СпиноМетр» угловых параметров сагиттального баланса продемонстрирован на рисунке 4.

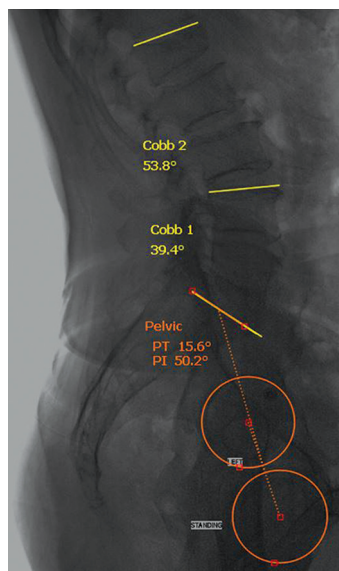


Рис. 2. Инструменты «Cobb angle» и «Pelvic parameters» программы Surgimap

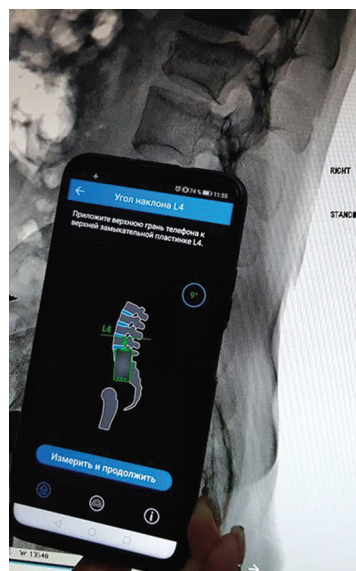


Рис. 3. Измерение угла наклона позвонка L4 при помощи мобильного приложения «СпиноМетр»

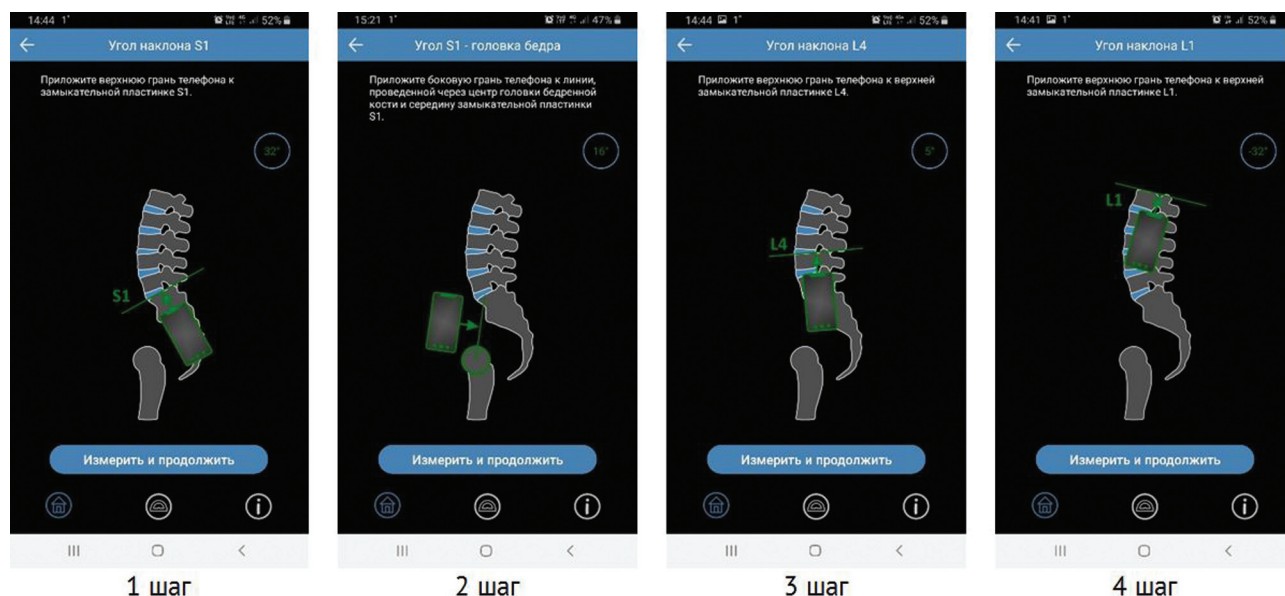


Рис. 4. Пошаговое измерение угловых параметров сагиттального баланса в мобильном приложении «СпиноМетр»: показаны снимки экрана мобильного телефона

Программа Surgimap выдает измеренные угловые параметры сагиттального баланса в виде, показанном на рисунке 5. Мобильное приложение «СпиноМетр» выдает измеренные угловые параметры сагиттального баланса в виде, показанном на рисунке 6.

И программа Surgimap, и мобильное приложение «СпиноМетр» вычисляют оптимальные значения следующих параметров сагиттального баланса: PT, SS, лордоз на уровне L4-S1 и лордоз на уровне L1-S1, которые также показаны в правых столбцах на рисунках 5 и 6: столбец «Norm» программы Surgimap и столбец «Теория» мобильного приложения «СпиноМетр».

Measurement Table		
Measurement	Baseline	Norm
▼ Pelvic		
PT	15.6°	[7.6 to 18.4]
PI	50.2°	50.2°
SS	34.6°	[30.6 to 43.8]
Cobb 1	39.4°	
Cobb 2	53.8°	

Рис. 5. Измеренные в программе Surgimap угловые параметры сагиттального баланса

Результат	
Тазовые параметры	
Pelvic Incidence (PI)	42°
Pelvic Tilt (PT)	
Результат	Теория
13°	6° ± 6°
Sacral Slope (SS)	
Результат	Теория
29°	36° ± 6°
Параметры позвоночника	
Lordosis L4 - S1	
Результат	Теория
23°	43° ± 7°
Global Lordosis L1 - S1 (GLL)	
Результат	Теория
44°	61° ± 11°

Рис. 6. Измеренные в мобильном приложении «СпиноМетр» угловые параметры сагиттального баланса

Обработка результатов измерений PT, SS, лордоз на уровне L4-S1 и лордоз на уровне L1-S1 осуществлялась в программном обеспечении MS Excel 2019 и SPSS Ver. 25.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Измеренные значения параметров сагиттального баланса представлены рисунками 7–11.

Далее представим результаты статистического анализа парных выборок по 52 измерениям для каждого параметра PI, PT, SS, лордоз L1-S1, лордоз L4-S1. Описательные статистики приведены в таблице 1. Для нормально распределенных показате-

телей представлены выборочные средние значения и в скобках предельные ошибки, соответствующие 95 % уровню надежности. Для показателей, распределение которых отличалось от нормального (в таблице 1 обозначены звездочками), представлены выборочные медианы и в скобках указаны диапазоны изменения показателя.

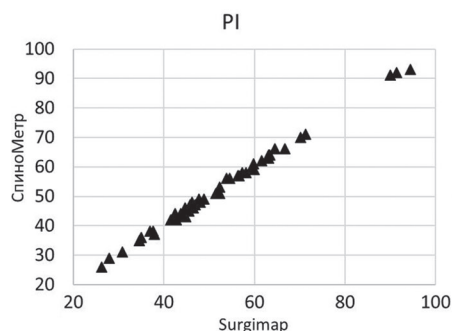


Рис. 7. Диаграмма значений параметра PI, измеренных обоими программными средствами

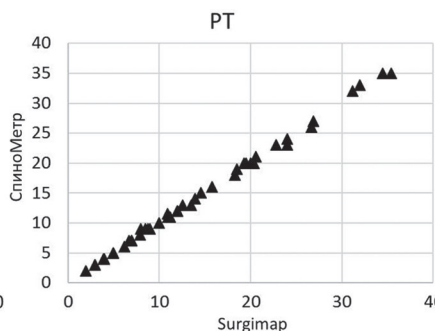


Рис. 8. Диаграмма значений параметра PT, измеренных обоими программными средствами

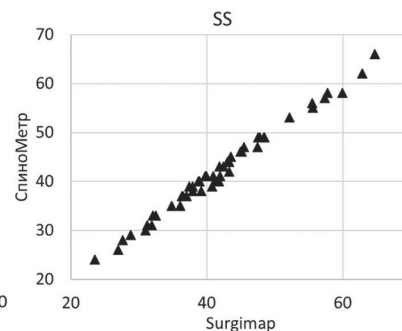


Рис. 9. Диаграмма значений параметра SS, измеренных обоими программными средствами

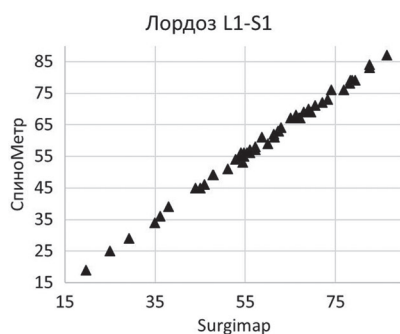


Рис. 10. Диаграмма значений параметра лордоз L1-S1, измеренных обоими программными средствами

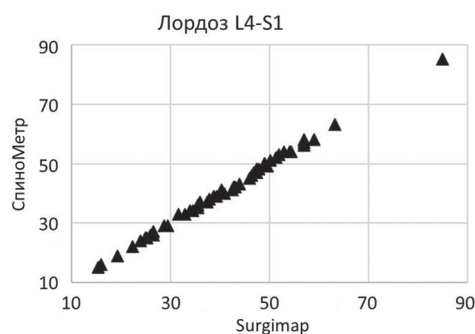


Рис. 11. Диаграмма значений параметра лордоз L4-S1, измеренных обоими программными средствами

Средние и медианные значения измеренных параметров сагиттального баланса

Программные средства	Параметры				
	PI	PT	SS	Лордоз L1-S1	Лордоз L4-S1
Surgimar	52,30 (4,04)	11,0 (33,4)*	41,5 (41,1)*	59,41 (4,14)	39,63 (4,02)
СпиноМетр	52,54 (4,04)	11,0 (33,0)*	42,17 (2,55)	59,83 (4,19)	40,23 (3,78)

Для всех данных проверялась гипотеза о нормальном распределении результатов измерений с помощью критерия Колмогорова-Смирнова.

Для проверки гипотезы об однородности результатов измерений для нормально распределенных совокупностей применялся парный t-критерий Стьюдента. В случае отсутствия нормального распределения применялся критерий Вилкоксона для связанных выборок.

Анализ измерений для параметра PI

На уровне значимости 5 % измерения, проводимые обоими программными средствами (программа Surgimar, мобильное приложение «СпиноМетр»), имели нормальное распределение. Применение парного критерия Стьюдента на уровне значимости 5 % подтвердило гипотезу об однородности распределений измерений.

Анализ измерений для параметра PT

Гипотеза о нормальном распределении результатов измерений была отвергнута на уровне значимости менее 0,35 % для измерений, проведенных программой Surgimar, и на уровне значимости менее 0,25 % для измерений, проведенных мобильным приложением «СпиноМетр». Применение критерия Вилкоксона для связанных выборок на уровне значимости 5 % подтвердило гипотезу об однородности распределений измерений.

Анализ измерений для параметра SS

Гипотеза о нормальном распределении результатов измерений была отвергнута на уровне значимости менее 5 % для измерений, проведенных программой Surgimar, но на том же уровне значимости 5 % подтвердилась для измерений, проведенных мобильным приложением «СпиноМетр». Применение критерия Вилкоксона для связанных выборок на уровне значимости 5 % подтвердило гипотезу об однородности распределений измерений.

Анализ измерений для параметра лордоз L1-S1

На уровне значимости 5 % измерения, проводимые обоими программными средствами, имели нормальное распределение. Применение критерия Вилкоксона для связанных выборок на уровне значимости менее 0,1 % отвергло гипотезу об однородности распределений измерений. Обнаружено смещение среднего значения измерений, проведенных мобильным приложением «СпиноМетр», в сторону занижения относительно измерений, проведенных программой Surgimar, не превосходящее 0,7 %.

Анализ измерений для параметра лордоз L4-S1

На уровне значимости 5 % измерения, проводимые обоими программными средствами, имели нормальное распределение. Применение парного критерия Стьюдента на уровне значимости 5 % подтвердило гипотезу об однородности распределений измерений.

ОБСУЖДЕНИЕ

В данной работе выполнен сравнительный анализ мобильного приложения «СпиноМетр» с приложением для настольного компьютера Surgimar применительно к измерению параметров сагиттального баланса на рентгенограммах в положении стоя пациентов НИИ-ТОН СГМУ. В статье также представлены отличительные особенности мобильного приложения «СпиноМетр» и его функциональные возможности.

Результаты данного исследования согласовываются с работой Lee J. с соавторами [17]. Однако в данном исследовании проанализирована точность мобильного приложения «СпиноМетр» в сравнении не с PACS-системой, а с наиболее известной в России системой предоперационного планирования Surgimar. Так же, как у Lee J.B. с соавт. [17], в данной работе показано, что мобильные приложения обеспечивают высокую точность измерений параметров сагиттального баланса и в этом плане ничем не уступают приложениям для настольных компьютеров. Более того, измерения показателя SS, выполненные при помощи мобильного приложения «СпиноМетр», имели нормальное распределение, в отличие от соответствующих измерений, выполненных программой Surgimar. Выявленное смещение в измерениях параметра лордоз L1-S1 может быть следствием того, что измерение угловых параметров программой Surgimar осуществлялось с использованием различных инструментов («Cobb angle» и «Pelvic parameters»). В то время как при использовании мобильного приложения все угловые параметры измеряются единым способом.

Мобильное приложение «СпиноМетр» содержит конкретные формулы и методику расчета оптималь-

ных параметров сагиттального баланса. Это ключевая опция для пользователей, позволяющая повысить точность измерений и валидность результатов при повторных измерениях у одного пациента при оценке динамики результата. [18]. Данная возможность отсутствует в приложении Surgimar, которое в этом смысле представляет собой «черный ящик».

Существенное преимущество мобильного приложения «СпиноМетр» по сравнению с аналогами – идентификация пациентов по QR-коду и возможность загрузки результатов измерений в обезличенную базу данных для дальнейшего статистического анализа и их применения для прогнозирования результатов лечения. Другими словами, врач не вводит данные пациента вручную, а только сканирует уникальный QR-код пациента, содержащий деперсонализированную информацию о пациенте. Таким образом, исключается возможность ошибочного ввода данных, и никакие персональные данные пациентов не хранятся на телефоне врача и не передаются по сети Интернет. Более того, врач, измеряя параметры сагиттального баланса пациента, при его согласии и согласии клиники, участвует в процедуре накопления данных. В то же время, измеренные и рассчитанные параметры сохраняются в телефоне, а врач может ими воспользоваться в любое время и в текстовом виде отправить себе или коллегам по электронной почте или при помощи установленного на его телефоне мессенджера.

Дополнительно к основному функционалу «СпиноМетра» была реализована функция измерения углов «транспортёр», которая может быть использована врачом при необходимости измерения какого-либо одного

угла или для интраоперационных измерений на мониторе электронно-оптического преобразователя.

Описанные выше возможности и показанная в данной статье высокая точность мобильного приложения «СпиноМетр» делает его уникальным инструментом измерения и расчета оптимальных параметров сагит-

тального баланса позвоночно-тазового комплекса, доступным каждому врачу.

Ограничениями данного исследования можно считать сравнительно малое количество пациентов. И не у всех пациентов были хирургически значимые нарушения сагиттального баланса.

ВЫВОДЫ

Показано, что мобильное приложение «СпиноМетр» эквивалентно программе Surgimar в части из-

мерения параметров сагиттального баланса по данным вертикальной рентгенографии позвоночника.

Конфликт интересов. Конфликт интересов отсутствует.

Работа выполнена при поддержке Фонда перспективных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

- Duval-Beaupère G., Schmidt C., Cosson P. A barycentremetric study of the sagittal shape of spine and pelvis: the conditions required for an economic standing position // Ann. Biomed. Eng. 1992. Vol. 20, No 4. P. 451-462. DOI: 10.1007/BF02368136
- Le Huec J.C., Hasegawa K. Normative values for the spine shape parameters using 3D standing analysis from a database of 268 asymptomatic Caucasian and Japanese subjects // Eur. Spine J. 2016. Vol. 25, No 11. P. 3630-3637. DOI: 10.1007/s00586-016-4485-5
- Sagittal plane considerations and the pelvis in the adult patient / F. Schwab, V. Lafage, A. Patel, J.P. Farcy // Spine. 2009. Vol. 34, No 17. P. 1828-1833. DOI: 10.1097/brs.0b013e3181a13c08
- Крутько А.В. Сагиттальный баланс. Гармония в формулах. Новосибирск, 2016. 63 с.
- Макиров С.К., Юз А.А., Джахаф М.Т. Методики оценки параметров сагиттального позвоночно-крестцового баланса // Хирургия позвоночника. 2015. Т. 12, № 3. С. 55-63. DOI: 10.14531/ss2015.3.55-63
- Биомеханические предпосылки формирования проксимального переходного кифоза после транспедикулярной фиксации поясничного отдела позвоночника / А.Л. Кудяшев, В.В. Хоминев, А.В. Теремшонов, К.Е. Коростелёв, Е.Б. Нагорный, А.В. Доль, Д.В. Иванов, И.В. Кириллова, Л.Ю. Коссович // Российский Журнал Биомеханики. 2017. Т. 21, № 3. С. 313-323. DOI: 10.15593/RJBiomech/2017.3.05
- Оценка значимости сагиттального баланса и патологии межпозвонковых дисков в развитии дегенеративных изменений смежных позвоночно-двигательных сегментов после спондилодеза / М. Хао, С.В. Масевнин, Д.А. Пташников, Д.А. Михайлов // Фундаментальные Исследования. 2014. № 10, Часть 9. С. 1811-1817. URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=36519> (дата обращения 21.02.2020).
- Proximal junctional kyphosis in adolescent idiopathic scoliosis after 3 different types of posterior segmental spinal instrumentation and fusions: incidence and risk factor analysis of 410 cases / Y.L. Kim, L.G. Lenke, K.H. Bridwell, J. Kim, S.K. Cho, G. Cheh, J. Yoon // Spine. 2007. Vol. 32, No 24. P. 2731-2738. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31815a7ead
- Sagittal imbalance cascade for simple degenerative spine and consequences: algorithm of decision for appropriate treatment / J.C. Le Huec, S. Charosky, C. Barrey, J. Rigal, S. Aunoble // Eur. Spine J. 2011. Vol. 20, No Suppl. 5. P. 699-703. DOI: 10.1007/s00586-011-1938-8
- Sagittal balance and pelvic parameters – a paradigm shift in spinal surgery / R.D. Johnson, A. Valore, A. Villaminar, M. Comisso, M. Balsano // J. Clin. Neurosci. 2013. Vol. 20, No 2. P. 191-196. DOI: 10.1016/j.jocn.2012.05.023
- RadiAnt DICOM Viewer [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.radiantviewer.com> (дата обращения: 28.02.2020).
- Surgimar [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.surgimar.com/> (дата обращения: 28.02.2020).
- Surgimar for Android [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.surgimar.com/> (дата обращения: 28.02.2020).
- SagittalMeter Pro. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.sagittalmeter> (дата обращения: 28.02.2020).
- Котельников А.О., Рябых С.О., Бурцев А.В. «Hip-spine» синдром – взгляд на проблему с точки зрения биомеханики // Гений Ортопедии. 2019. Т. 25, № 4. С. 541-549. DOI: 10.18019/1028-4427-2019-25-4-541-549
- Use of Surgimar Spine in sagittal plane analysis, osteotomy planning, and correction calculation / M. Akbar, J. Terran, C.P. Ames, V. Lafage, F. Schwab // Neurosurg. Clin. N. Am. 2013. Vol. 24, № 2. P. 163-172. DOI: 10.1016/j.nec.2012.12.007
- Validity of a Smartphone Application (Sagittalmeter Pro) for the Measurement of Sagittal Balance Parameters / J.B. Lee, I.S. Kim, J.J. Lee, J.H. Park, C.B. Cho, S.H. Yang, J.H. Sung, J.T. Hong // World Neurosurg. 2019. Vol. 126. P. e8-e15. DOI: 10.1016/j.wneu.2018.11.242
- Sagittal balance of the spine / J.C. Le Huec, W. Thompson, Y. Mohsinaly, C. Barrey, A. Faundez // Eur. Spine J. 2019. Vol. 28, No 9. P. 1889-1905. DOI: 10.1007/s00586-019-06083-1

Рукопись поступила 13.04.2020

Сведения об авторах:

- Иванов Дмитрий Валерьевич, к. ф.-м. н., ФГБОУ ВО «СГУ им. Н.Г. Чернышевского», г. Саратов, Россия, Email: ivanovdv@gmail.com
- Кириллова Ирина Васильевна, к. ф.-м. н., ФГБОУ ВО «СГУ им. Н.Г. Чернышевского», г. Саратов, Россия, Email: ivkirillova@yandex.ru
- Коссович Леонид Юрьевич, д. ф.-м. н., профессор, ФГБОУ ВО «СГУ им. Н.Г. Чернышевского», г. Саратов, Россия, Email: prezident@sgu.ru
- Лихачев Сергей Вячеславович, к. м. н., ФГБОУ ВО «СГМУ им. В.И. Разумовского», г. Саратов, Россия, Email: likha4@mail.ru
- Полиенко Асель Валерьевна, ФГБОУ ВО «СГУ им. Н.Г. Чернышевского», г. Саратов, Россия, Email: st_aav@mail.ru
- Харламов Александр Владимирович, к. э. н., доцент, ФГБОУ ВО «СГУ им. Н.Г. Чернышевского», г. Саратов, Россия, Email: harlamovav@info.sgu.ru
- Шульга Алексей Евгеньевич, к. м. н., ФГБОУ ВО «СГМУ им. В.И. Разумовского», г. Саратов, Россия, Email: doc.shulga@yandex.ru

Information about the authors:

- Dmitry V. Ivanov, Ph.D. of Physico-mathematical Sciences, Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky, Saratov, Russian Federation, Email: ivanovdv@gmail.com
- Irina V. Kirillova, Ph.D. of Physico-mathematical Sciences, Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky, Saratov, Russian Federation, Email: ivkirillova@yandex.ru
- Leonid Yu. Kossovich, Ph.D. of Physico-mathematical Sciences, Professor, Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky, Saratov, Russian Federation, Email: prezident@sgu.ru
- Sergei V. Likhachev, M.D., Ph.D., Saratov State University, Saratov, Russian Federation, Email: likha4@mail.ru
- Asel V. Polienko, Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky, Saratov, Russian Federation, Email: st_aav@mail.ru
- Alexander V. Kharlamov, Ph.D. of Economic Sciences, Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky, Saratov, Russian Federation, Email: harlamovav@info.sgu.ru
- Alexei E. Shulga, M.D., Ph.D., Saratov State University, Saratov, Russian Federation, Email: doc.shulga@yandex.ru