

## Точность и воспроизводимость измерения площади фантомных поражений кожи неправильной формы с помощью мобильного приложения LesionMeter

© Е.А. ИЛЮХИН<sup>1</sup>, В.Л. БУЛАТОВ<sup>2</sup>, М.И. ГАЛЬЧЕНКО<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Хирургическая клиника «Medalp», Санкт-Петербург, Россия;

<sup>2</sup>ФГБНУ «Институт экспериментальной медицины», Санкт-Петербург, Россия;

<sup>3</sup>ООО «HiQo Solutions», Санкт-Петербург Россия

### РЕЗЮМЕ

Цифровая планиметрия с помощью современных электронных устройств требует проверки для применения в научных целях и в реальной клинической практике.

**Цель исследования.** Оценить точность и воспроизводимость измерений площади фантомных поражений кожи неправильной формы на поверхности, имеющей кривизну, с помощью мобильного приложения LesionMeter.

**Материал и методы.** Проведено экспериментальное сравнительное исследование измерения площади неправильных фигур на кривой поверхности с использованием приложения и с помощью контрольного метода (палетка). Применен корреляционный анализ, определены абсолютная и относительная погрешности измерений с дополнительной оценкой распределения, статистической значимости, проверкой качества линейных моделей и согласованности результатов измерений, оценена воспроизводимость метода.

**Результаты.** Коэффициент корреляции Пирсона составил 0,990 (95% ДИ 0,985; 0,993),  $p < 2,2 \times 10^{-16}$  (отличное соответствие). Диаграмма Бленда—Альтмана: средняя абсолютная погрешность (bias)  $-0,095$  (95% ДИ  $-0,16$ ;  $-0,027$ ) см<sup>2</sup>; верхняя граница bias  $+0,62$  (95% ДИ 0,51; 0,74) см<sup>2</sup>; нижняя граница bias  $-0,82$  (95% ДИ  $-0,93$ ;  $-0,70$ ) см<sup>2</sup>. Максимальная абсолютная погрешность (недооценка площади фантомной раны приложением) получена при измерении объектов площадью от 2 до 7,5 см<sup>2</sup>. Относительная погрешность измерений фигур площадью  $\approx 0,5$  см<sup>2</sup> равна 15% (95% ДИ 12; 17%). При увеличении площади фигуры на 1 см<sup>2</sup> относительная погрешность уменьшается в среднем на 1% (95% ДИ  $-1,6$ ;  $-0,4$ %).

**Выводы.** Точность измерения фантомных ран на кривой поверхности с помощью приложения LesionMeter соответствует точности контрольного способа (измерения палеткой) и данным литературы по аналогичным методам планиметрии.

**Ключевые слова:** цифровая планиметрия, площадь, измерение, приложение, язва, рана, пятно, кожа, точность.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

Илюхин Е.А. — <https://orcid.org/0000-0002-8288-8239>

Булатов В.Л. — <https://orcid.org/0000-0002-1799-3112>

Гальченко М.И. — <https://orcid.org/0000-0002-5476-6058>

Автор, ответственный за переписку: Илюхин Е.А. — e-mail: [evgeny@ilyukhin.info](mailto:evgeny@ilyukhin.info)

### КАК ЦИТИРОВАТЬ:

Илюхин Е.А., Булатов В.Л., Гальченко М.И. Точность и воспроизводимость измерения площади фантомных поражений кожи неправильной формы с помощью мобильного приложения LesionMeter. *Флебология*. 2020;14(4):266–274. <https://doi.org/10.17116/flebo202014041266>

## Reliability and Accuracy of Measuring the Surface Area of Phantom Skin Lesions with Lesionmeter Mobile Application

© Е.А. ILYUKHIN<sup>1</sup>, V.L. BULATOV<sup>2</sup>, M.I. GALCHENKO<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Surgical clinic Medalp, St. Petersburg, Russia;

<sup>2</sup>Institute of Experimental Medicine, St. Petersburg, Russia;

<sup>3</sup>HiQo Solutions LLC, St. Petersburg, Russia

### ABSTRACT

Digital planimetry with modern electronic devices requires verification for the use in studies and in real clinical practice.

**Objective.** To assess the accuracy and reproducibility of measuring the surface area of phantom skin lesions of irregular shape on a curved surface using the LesionMeter mobile application.

**Material and methods.** We conducted an experimental comparative study of measuring the surface area of irregular figures on a curved surface using the application and the reference method (template). A correlation analysis was carried out, bias and relative bias of measurements were determined with an additional estimation of allocation, statistical significance, quality control of linear models and consistency of measurement results. The reproducibility of the method was also evaluated.

**Results.** Pearson's correlation coefficient was 0.990 with 95% CI 0.985; 0.993 ( $p < 2.2 \times 10^{-16}$  (excellent coherence)). Blend-Altman plot: mean absolute error (bias) =  $-0.095$  (95% CI  $-0.16$ ;  $-0.027$ ) cm<sup>2</sup>; upper limit of bias =  $+0.62$  (95% CI 0.51; 0.74) cm<sup>2</sup>; lower limit of bias =  $-0.82$  (95% CI  $-0.93$ ;  $-0.70$ ) cm<sup>2</sup>. The maximum bias (underestimation of phantom wound area by the application)

was obtained for objects with surface area 2-7.5 cm<sup>2</sup>. The relative bias measurement for figures with surface area ≈0.5 cm<sup>2</sup> was 15% (95% CI 12; 17%). Figure area enlargement by 1 cm<sup>2</sup> was followed by relative bias decrease by 1% (95% CI -1.6; -0.4%).

**Conclusion.** The accuracy and reliability of measuring the phantom wounds on a curved surface with the LesionMeter application correspond to accuracy of the reference method (template) and literature data on similar planimetric methods.

**Keywords:** digital planimetry, area, measurement, application, ulcer, wound, stain, skin, lesion, accuracy.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Ilyukhin E.A. — <https://orcid.org/0000-0002-8288-8239>

Bulatov V.L. — <https://orcid.org/0000-0002-1799-3112>

Galchenko M.I. — <https://orcid.org/0000-0002-5476-6058>

**Corresponding author:** Ilyukhin E.A. — e-mail: [evgeny@ilyukhin.info](mailto:evgeny@ilyukhin.info)

#### TO CITE THIS ARTICLE:

Ilyukhin EA, Bulatov VL, Galchenko MI. Reliability and Accuracy of Measuring the Surface Area of Phantom Skin Lesions with Lesionmeter Mobile Application. *Flebologiya*. 2020;14(4):266–274. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/flebo202014041266>

## Введение

Лечение пациентов с любыми кожными поражениями (трофические язвы, раны, пигментные или сосудистые образования) зачастую требует предварительного определения площади наблюдаемого образования, а также оценки динамики площади в процессе наблюдения. На сегодняшний день существует большое количество различных методов измерения площади кожных ран и образований [1]. Использование большинства методов трудоемко и сопряжено со значительными сложностями. Методы цифровой планиметрии давно используются в медицине и продемонстрировали высокую точность в сравнении с другими методами измерения повреждений кожи [2, 3]. Модификации таких методов, разработанные для удобного использования с помощью современных электронных устройств, требуют проверки для применения в научных целях и в реальной клинической практике [4]. Точность и воспроизводимость являются ключевыми параметрами методов измерения [5, 6].

Цель настоящего исследования — оценка точности и воспроизводимости измерений площади фантомных поражений кожи неправильной формы на поверхности, имеющей кривизну, с помощью мобильного приложения LesionMeter.

## Материал и методы

*Описание тестируемого приложения.* Мобильное приложение для измерения поражений кожи неправильной формы LesionMeter (далее — приложение) предназначено для использования на смартфонах и планшетах под управлением операционных систем Android и iOS [7]. С 2019 г. приложение распространяется бесплатно при поддержке МОО «Ассоциация флебологов» [8]. Для измерения площади рядом с объектом измерения укладывают эталонный объект (пластиковую карту размером со стандартную банковскую или дисконтную карту (54×85,6 мм); далее — карта), проводят съемку измеряемого и эталон-

ного объектов на встроенную в мобильное устройство камеру. Происходит автоматическое распознавание и обводка контура эталонного объекта (с помощью библиотеки OpenCV в системе Android и набора Core Image в системе iOS), а также ручная обводка контура объекта измерения, автоматический подсчет количества пикселей обведенных фигур и расчет площади объекта измерения по пропорции.

*Дизайн исследования.* Проведено экспериментальное сравнительное исследование измерения площади неправильных фигур на кривой поверхности с помощью приложения и с использованием контрольного метода. В качестве контрольного выбран метод измерения с помощью палетки (прозрачная пленка с нанесенной лазерным принтером сеткой квадратов со стороной 1 мм). Фантомные поражения кожи (далее — фантомные раны) для измерения рисовали на нелинейчатой кривой поверхности (передняя поверхность бедра).

Исследование состояло из двух частей.

1. Определение основных показателей точности приложения путем сравнения результатов однократного измерения приложением и палеткой 120 фантомных ран различной площади и конфигурации. Для определения требуемого объема выборки (количества измерений) предварительно проведено сравнение результатов однократного измерения приложением и палеткой 40 фантомных ран различной площади и конфигурации.

2. Оценка воспроизводимости измерений приложением путем анализа результатов многократного измерения приложением 4 фантомных ран различной площади и конфигурации.

*Описание экспериментов.* На коже передней поверхности бедра шариковой ручкой рисовали фигуры неправильной формы (фантомные раны) различной площади и конфигурации (**рис. 1**).

Измерительную палетку прикладывали к поверхности с фантомными ранами так, чтобы все края плотно прилегали к коже, после чего производили фотографирование и печать увеличенного изображе-



**Рис. 1. Общий вид фантомных ран.**  
**Fig. 1. Phantom wounds.**

ния на принтере. Подсчет площади осуществляли путем сложения квадратных миллиметров, полностью попавших в контур фигуры, и всех квадратных миллиметров, частично вошедших в контур фигуры с коэффициентом, равным 0,5. Мобильное приложение LesionMeter было установлено на два смартфона — с диагональю экрана 147 мм (5,8") и 158,0 мм (6,2"). Рядом с фантомной раной в произвольном положении укладывали эталонную карту. Фотографирование фантомной раны и пластиковой карты в одном поле проводили в нормальных условиях при искусственном освещении с расстояния, при котором происходит четкое распознавание и подсвечивание контуров пластиковой карты приложением (20—25 см). Оптическая ось камеры была ориентирована перпендикулярно центру исследуемой фигуры. Для точного позиционирования курсора при обведении контура измеряемого объекта в настройках приложения использовали инструмент «Курсор» (по умолчанию установлен «Палец»). Палец устанавливали в любое место экрана рядом с раной, после появления курсора его подводили к краю раны и обводили ее контур. Подсчет площади обведенной фигуры осуществляли приложением в автоматическом режиме.

#### Исследуемые параметры и статистические методы

Расчет объема выборки определяли в программе G\*Power (z-test: Correlation — inequality of two independent Pearson r's) [9]. Для обработки данных применяли язык статистического программирования R. В основном исследовании для определения параметров выборки проведен разведочный анализ данных [10]. Для очистки выборки от выбросов применен метод Тьюки, выбросами считались значения, выходящие за пределы интервала:

$$(Q1 - 1,5 \cdot IQR) - (Q3 + 1,5 \cdot IQR),$$

где Q1 и Q3 — первый и третий квартили, IQR — интерквартильный размах.

Исследуемые параметры:

1. Коэффициент корреляции Пирсона для измерений приложением и палеткой; дополнительная оценка соответствия измерений: диаграмма рассеяния и линейная регрессионная модель; оценка качества линейной регрессионной модели по систематическому смещению: угловой коэффициент и свободный член; статистическая значимость регрессионной модели: тест Фишера; нормальность распределения остатков (остатки — разность площади, измеренной палеткой, и площади, соответствующей линейной регрессионной модели): диаграмма квантиль-квантиль; зависимость остатков от площади фантомной раны: диаграмма рассеяния остатков в зависимости от средней площади исследуемых пар измерений.

2. Абсолютная погрешность в парных измерениях площади. В качестве абсолютной погрешности в каждой паре измерений исследовали bias (смещение), которое вычисляется по формуле  $bias = S_p - S_c$ . При анализе абсолютной погрешности оценивали нормальность распределения bias (тест Шапиро—Уилка, диаграмма квантиль-квантиль), направление смещения (диаграмма распределения на фоне кривой Гаусса), согласованность результатов измерений мобильным приложением и палеткой (диаграмма Бленда—Альтмана) [11, 12]. Средняя абсолютная ошибка (Mean Absolute Error — MAE) абсолютной погрешности по модулю bias, средняя абсолютная процентная ошибка (Mean Absolute Percentage Error — MAPE) по модулю bias.

3. В качестве относительной погрешности в каждой паре измерений исследовали bias relative (относительное смещение), которое вычисляется по формуле:

$$bias\ relative = \frac{S_p - S_c}{S_c},$$

где  $S_p$  — площадь, измеренная приложением;  $S_c$  — площадь, измеренная разлинованной пленкой. При анализе относительной погрешности оценивали нормальность распределения bias relative (тест Шапиро—Уилка, диаграмма квантиль-квантиль); зависимость относительной погрешности измерения (bias relative) от площади фантомной раны (диаграмма рассеяния с графиком средних значений, график линейной зависимости модуля bias relative от площади); состоятельность линейной модели зависимости модуля bias relative от площади (угловой коэффициент и свободный член); статистическую значимость линейной модели (тест Фишера).

4. При оценке воспроизводимости измерений приложением использованы методы описательной статистики с расчетом медианы, первого и третьего квартилей, интерквартильного размаха, абсолютной и относительной погрешности результатов повторных измерений приложением.

Для дополнительного анализа согласованности измерений приложением и палеткой использованы критерий эффективности Нэша—Сатклиффа (NSE),

RMSE-observations standard deviation ratio (RSR), percent bias (PBIAS) [13, 14].

## Результаты

Для расчета объема выборки провели однократное измерение 40 фантомных ран различной площади и конфигурации палеткой и приложением. Коэффициент корреляции Пирсона между двумя группами составил 0,992 (ДИ 95% 0,99; 1),  $p=0$ . При эмпирически выбранном ожидаемом коэффициенте корреляции, равном 0,996, ошибке первого рода  $\alpha=0,05$  и ошибке второго рода  $\beta=0,1$  требуемый объем выборки составил 111 измерений, что обеспечивает мощность исследования 90% по коэффициенту корреляции Пирсона.

**Часть 1. Однократное измерение 120 фантомных ран различной площади и конфигурации.** Медиана площадей фигур составила 2,15 см<sup>2</sup>, интерквартильный размах — IQR=0,30–3,62 см<sup>2</sup>, минимальная площадь — 0,08 см<sup>2</sup>, максимальная площадь — 12,29 см<sup>2</sup>. С целью устранения возможных статистических выбросов полученных смещений применен метод Тьюки. На рис. 2 в виде точек представлены 8 пар измерений со смещением, отнесенным к выбросам, которые исключены из дальнейшего анализа.

**Корреляционный анализ.** Для выборок, полученных при измерении 120 фигур палеткой и приложением, коэффициент корреляции Пирсона составил 0,990 (95% ДИ 0,985; 0,993),  $p<2.2e-16$ , что свидетельствует об отличном соответствии измерений палеткой и приложением. При приближении количества измерений к расчетному значению коэффициента корреляции стало уменьшаться, не достигнув 0,996 ( $\chi^2=11,51$ ;  $p=0,001$ ). Для дополнительной оценки соответствия измерений палеткой и приложением

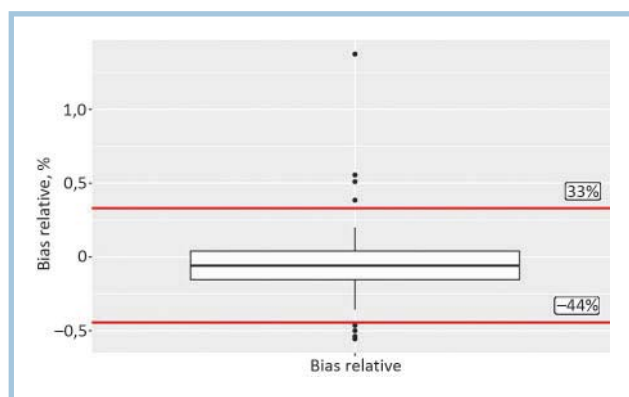


Рис. 2. Диаграмма размаха для bias relative.

Красными линиями обозначен интервал, за пределами которого точки соответствуют выбросам (по методу Тьюки).

Fig. 2. Scatter plot for bias relative.

The red lines indicate the interval beyond which the points correspond to outliers (according to the Tukey's range test).

ем была построена диаграмма рассеяния и линейная регрессионная модель (рис. 3).

Параметры полученной модели были следующими: угловой коэффициент — 1,001 (95% ДИ 0,974; 1,028),  $p<2e-16$ , свободный член — 0,098 (95% ДИ — 0,197; 0,000),  $p=0,051$ . Учитывая приближение углового коэффициента к 1 и его статистическую значимость, а также приближение свободного члена к 0 и его статистическую незначимость, можно сделать вывод об отсутствии систематического смещения линейной модели. Тест Фишера показывает статистическую значимость модели ( $F=5545$ ;  $df=110$ ;  $p<2.2e-16$ ).

Для оценки дополнительных параметров качества линейной модели была построена диаграмма квантиль-квантиль для остатков, которые означают разность площади, измеренной палеткой, и площади, соответствующей линейной регрессионной модели (рис. 4).

Диаграмма квантиль-квантиль показывает, что наличествуют выбросы на хвостах диаграммы,

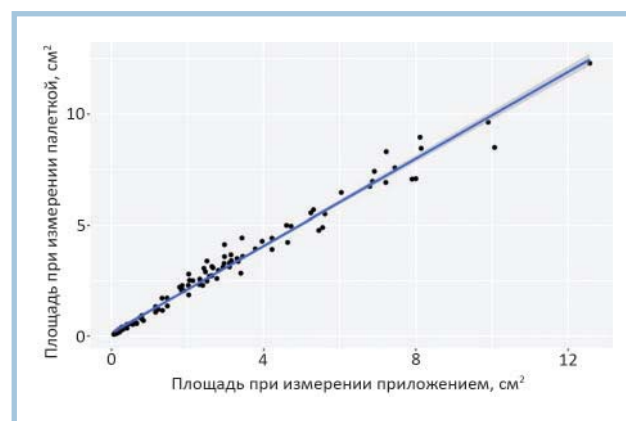


Рис. 3. Диаграмма рассеяния и линейная регрессионная модель для результатов измерения палеткой и приложением.

Fig. 3. Scatter plot and linear regression model for template and application measurements.

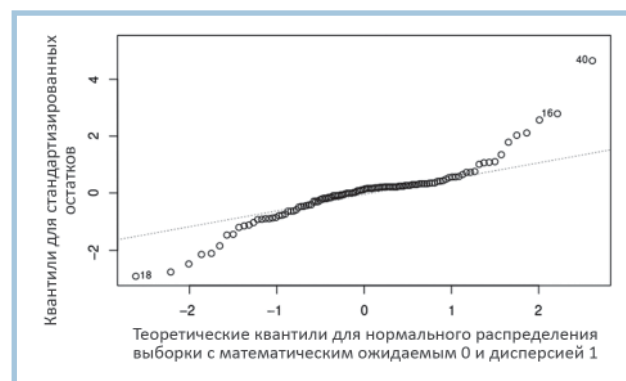


Рис. 4. Диаграмма квантиль-квантиль для остатков.

Fig. 4. Quantile-quantile plot for the residues.

т.е. выборка остатков не подчиняется нормальному распределению. Для оценки качества линейной функции измерения приложением и палеткой была построена диаграмма зависимости остатков от площади измеряемой фантомной раны (рис. 5).

Диаграмма показывает, что при измерении фигур площадью до  $2 \text{ см}^2$  остатки принимают преимущественно околонулевые значения, площадью  $2\text{--}7,5 \text{ см}^2$  — отрицательные (до  $-0,1 \text{ см}^2$ ), более  $7 \text{ см}^2$  — положительные, однако таких измерений мало.

**Абсолютная погрешность (bias).** На основании теста Шапиро—Уилка гипотеза о нормальности распределения абсолютной погрешности отвергнута,  $W=0,89483$ ;  $p=2,371e-07$ . Распределение абсолютной погрешности измерений представлено на рис. 6а и 6б.

На диаграмме квантиль-квантиль точки абсолютной погрешности не выстраивают прямую на хвостах распределения (рис. 6а), в связи с чем дополнительно

но построен график распределения абсолютной погрешности на фоне кривой нормального распределения Гаусса (см. рис. 6б). Как показано на рис. 6б, распределение абсолютной погрешности скошено влево, что означает систематически меньшие результаты измерения площади приложением в сравнении с палеткой. Для оценки согласованности результатов измерений мобильным приложением и палеткой построена диаграмма Бленда—Альтмана (рис. 7), в которой ось абсцисс — среднее по паре измерений, ось ординат — абсолютная погрешность.

На основании диаграммы Бленда—Альтмана среднее значение абсолютной погрешности оказалось равным  $-0,095$  (95% ДИ  $-0,16$ ;  $-0,027$ )  $\text{см}^2$ , т.е. ожидаемы незначительно меньшие результаты при измерении фигур мобильным приложением относительно измерения палеткой. Верхняя граница абсолютной погрешности была равна  $0,62$  (95% ДИ  $0,51$ ;  $0,74$ )  $\text{см}^2$ , нижняя граница была равна  $-0,82$  (95% ДИ  $-0,93$ ;  $-0,70$ )  $\text{см}^2$ . Ожидаемые максимальные отклонения измерений приложением не будут превышать  $0,74 \text{ см}^2$  по модулю. Наблюдалось систематическое увеличение модуля абсолютной погрешности при увеличении размера фигуры. В диапазоне  $2,5\text{--}7,5 \text{ см}^2$  отмечали систематически меньшие результаты при измерении фантомных ран приложением относительно измерения сеткой. Диапазон  $7,5\text{--}12,5 \text{ см}^2$  исследован слабо, однако результаты измерений укладываются в ранее указанные диапазоны. Средняя абсолютная ошибка (Mean Absolute Error — MAE) абсолютной погрешности по модулю абсолютной погрешности равна  $0,24 \text{ см}^2$ , средняя абсолютная процентная ошибка (Mean Absolute Percentage Error — MAPE) —  $11,8\%$ .

**Относительная погрешность (bias relative).** На основании теста Шапиро—Уилка гипотеза о нормальности распределения относительной погрешности

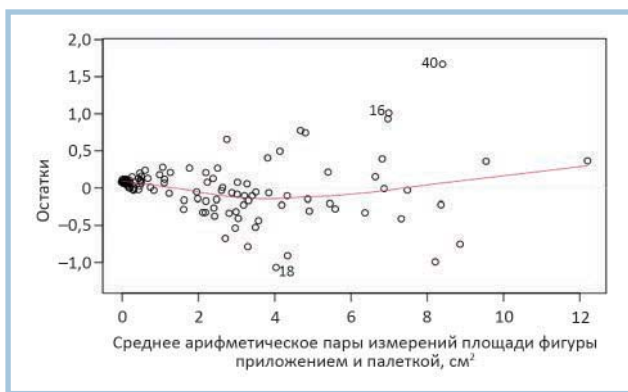


Рис. 5. Диаграмма рассеяния остатков в зависимости от средней площади исследуемых пар измерений.

Fig. 5. Residue scatter plot depending on the mean area of the studied pairs of measurements.

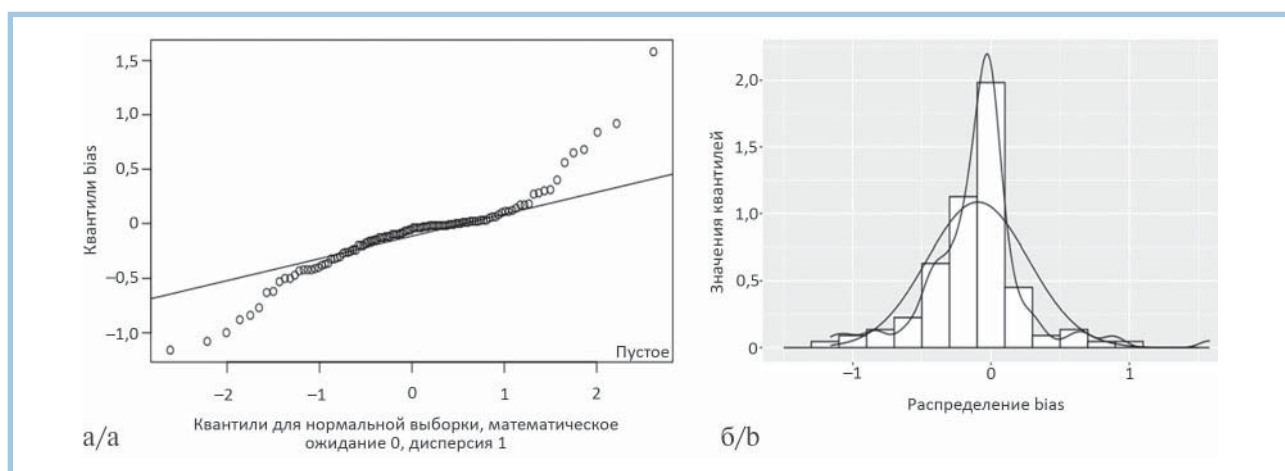


Рис. 6. Диаграмма нормальности распределения значений абсолютной погрешности: диаграмма квантиль-квантиль для bias (а) и гистограмма распределения bias на фоне кривой Гаусса (б).

Fig. 6. Diagram of absolute bias distribution normality. Quantile-quantile plot for bias (a); bias distribution histogram (b).

не может быть отвергнута,  $W=0,9881$ ;  $p=0,43$ . На диаграмме квантиль-квантиль точки относительной погрешности распределены по прямой линии, т.е. нормально (рис. 8).

Зависимость относительной погрешности измерения от площади фантомной раны представлена на рис. 9.

Наблюдается небольшое отклонение в область отрицательных значений при измерении фантомных ран площадью до  $7,5 \text{ см}^2$ . Можно отметить, что относительная погрешность редко превышает 20%, причем такие значения в основном относятся к измерению малых фигур. Построена линейная модель зависимости модуля относительной погрешности измерения от площади фантомной раны (рис. 10).

Линейная модель состоятельна, угловой коэффициент составил  $-0,01$  (95% ДИ  $-0,016$ ;  $-0,004$ ),

$p=0,0007$ , свободный член —  $0,15$  (95% ДИ  $0,124$ ;  $0,167$ ),  $p<2e-16$ . Тест Фишера показывает статистическую значимость модели ( $F=12,27$ ;  $df=110$ ;  $p=0,0007$ ). Полученные данные означают, что усредненная точечная оценка ошибки измерений малых фигур ( $\approx 0,5 \text{ см}$ ) составляет 15% (95% ДИ 12; 17%). При росте площади фигуры на  $1 \text{ см}^2$  ошибка уменьшается в среднем на 1% (95% ДИ  $-1,6$ ;  $-0,4$ %).

Результаты дополнительного анализа согласованности измерений приложением и палеткой представлены в табл. 1.

**Часть 2. Оценка воспроизводимости измерений с помощью приложения.** Площади тестовых фантомных ран, измеренные палеткой, составили:  $0,19$ ,  $1,63$ ,  $5,78$ ,  $10,59 \text{ см}^2$ . Для каждой фантомной раны было выполнено по 10 измерений с помощью приложения. Для представления основных параметров изме-

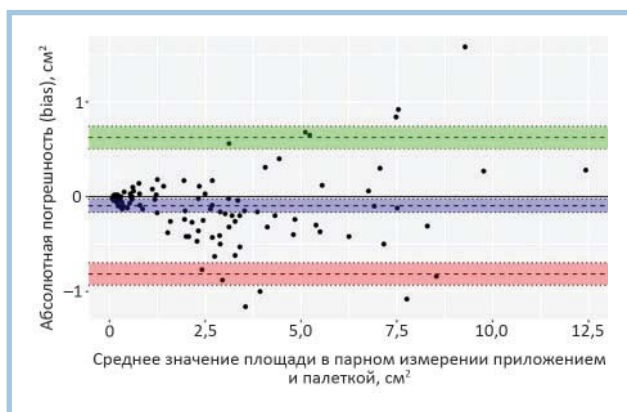


Рис. 7. Диаграмма Бленда—Альтмана абсолютных погрешностей измерений приложением.

Fig. 7. Blend-Altman diagram of absolute bias for application measurements.

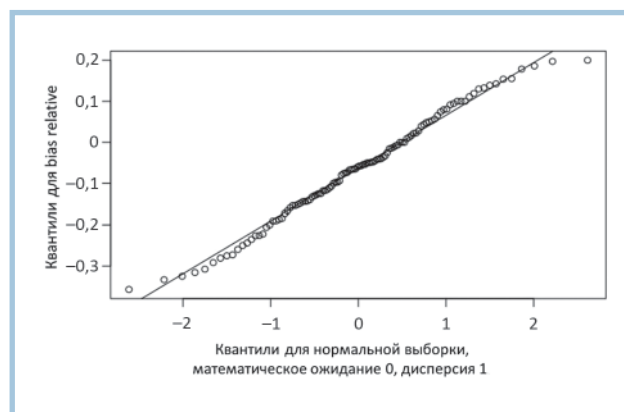


Рис. 8. Диаграмма нормальности распределения значений относительной погрешности: диаграмма квантиль-квантиль для bias relative.

Fig. 8. Quantile-quantile diagram for bias relative.

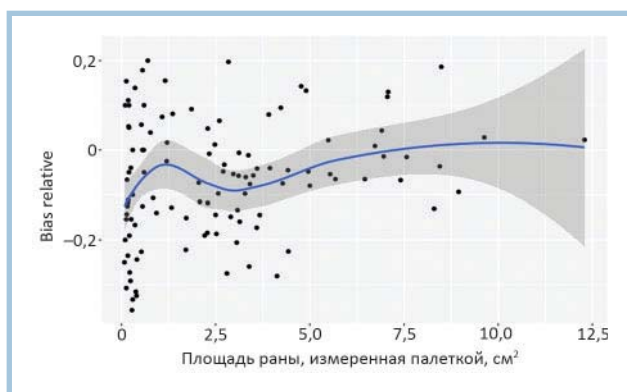


Рис. 9. Диаграмма рассеяния с графиком средних значений (синяя кривая) зависимости bias relative (относительной погрешности измерения приложением) от площади фантомной раны, измеренной палеткой.

Fig. 9. Scatter plot with a mean value curve (blue) of dependence of bias relative and phantom wound area measured by the template.

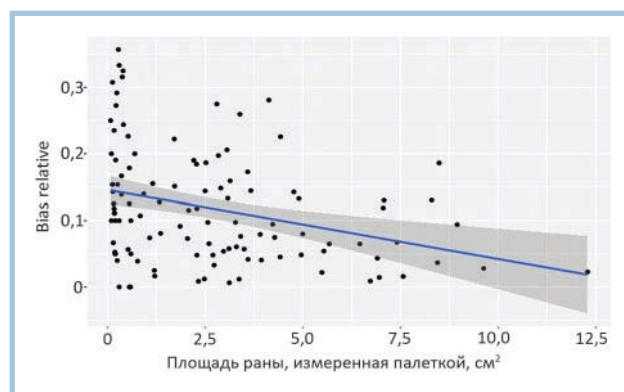


Рис. 10. График линейной зависимости модуля относительной погрешности от площади фантомной раны.

Fig. 10. Linear correlation of bias relative amplitude and phantom wound area.

**Таблица 1. Показатели качества двух рядов измерений**  
**Table 1. Quality of two series of measurements**

Показатель качества	Значение критерия	Интерпретация
Критерий эффективности Нэша—Сатклиффа (NSE)	0,98	Значение критерия более 0,65. Интерпретируется как очень хорошее соответствие рядов
RMSE-observations standard deviation ratio (RSR)	0,15	Близок к нулю, интерпретируется как хороший результат
Percent bias (PBIAS)	−3,60%	Значение по модулю менее 10%. Интерпретируется как очень хорошее соответствие рядов

**Таблица 2. Описательная статистика и погрешности десятикратных измерений четырех тестовых фигур**  
**Table 2. Descriptive statistics and biases of 10-fold measurements of four test phantom lesions**

Фигура	Площадь фантомной раны, см <sup>2</sup>	АПМП, см <sup>2</sup>	Me, см <sup>2</sup>	Q1, см <sup>2</sup>	Q3, см <sup>2</sup>	IQR, см <sup>2</sup>	ОПМП, %
1	0,19	0,020	0,185	0,165	0,20	0,04	10,53
2	1,63	0,255	1,375	1,355	1,46	0,11	15,64
3	5,78	1,035	4,745	4,545	4,88	0,33	17,91
4	10,59	1,475	9,115	8,715	9,54	0,82	13,93

*Примечание.* АПМП — абсолютная погрешность мобильного приложения; Me — медиана; Q1 — первый квартиль; Q3 — третий квартиль; IQR — интерквартильный размах; ОПМП — относительная погрешность мобильного приложения.

рений площадей с помощью мобильного приложения построена диаграмма размаха медиан, нижних и верхних квартилей, минимальных и максимальных значений измерений площади и выбросы (рис. 11).

При визуальном анализе данной диаграммы отмечается наличие выбросов измерений фигур 1 и 2. Учитывая малый размер выборки (по 10 измерений каждой фигуры), а также характер поставленной задачи, а именно изучение воспроизводимости метода в реальных условиях, принято решение не исключать выбросы, а использовать робастные методы статистики. В качестве абсолютной погрешности использовали медиану отклонений, в качестве относительной погрешности — медиану модуля отклонений, отнесенную к площади, измеренной палеткой и умноженной на 100%. В табл. 2 представлены цифровые показатели описательной статистики и погреш-

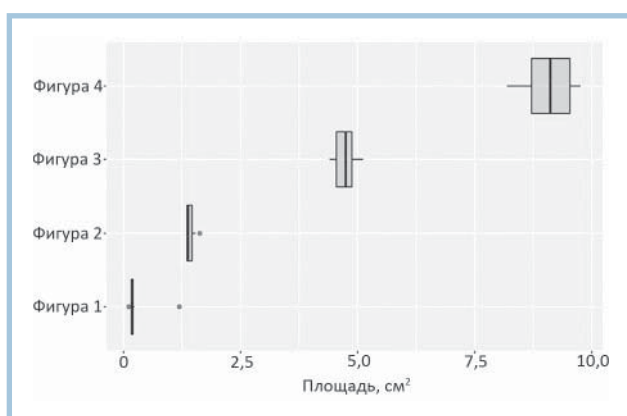
ности измерений, полученных с помощью мобильного приложения.

## Обсуждение

Приложения для цифровой планиметрии с помощью современных электронных устройств появляются достаточно регулярно [6, 15]. Однако без технической поддержки со стороны разработчика или владельца они быстро устаревают и становятся недоступны. Кроме того, такие приложения редко проходят процедуру оценки точности измерений или валидацию на практике. На момент проведения представленного исследования авторы не нашли ни одного действующего приложения измерения кожных образований или фигур неправильной формы для мобильных электронных устройств.

Высокое значение коэффициента корреляции в нашем исследовании говорит о тесной линейной связи измерений, полученных двумя разными методами, однако для оценки согласованности этого недостаточна. Именно хорошая согласованность выборок измерений приложением и палеткой свидетельствует о сходстве методов и высокой воспроизводимости результатов при незначительном систематическом занижении площади приложением. Модели измерений приложением LesionMeter и контрольным методом хорошо согласованы, что подтверждается диаграммой Бленда—Альтмана и дополнительным исследованием качества линейных моделей по парам измерений.

Полученные в настоящем исследовании погрешности измерения фантомных ран приложением LesionMeter соответствуют таковым в литературе. Диапазон относительной погрешности при измерении ран по цифровым фотографиям составляет



**Рис. 11. Диаграмма размаха измерений площади 4 тестовых фигур с помощью мобильного приложения.**

**Fig. 11. Box plots of surface area measurements of 4 test phantom wounds with a mobile application.**

21—28%, а при измерении аналогичным приложением — 13% [6, 16]. Мы получили значение относительной погрешности для фигур площадью 0,5 см<sup>2</sup>, равное 15% (95% ДИ 12; 17%), причем относительная погрешность уменьшается при увеличении площади измеряемого объекта.

Некоторое снижение значения коэффициента корреляции в конечной фазе набора расчетного количества измерений означает низкую вероятность приближения коэффициента корреляции к единице при дальнейшем увеличении количества измерений. То есть нет оснований ожидать полного совпадения результатов измерения приложением и палеткой при любом количестве измерений.

Весьма вероятно, что расположение карты относительно оси конечности и относительно плоскости поверхности, на которой расположен измеряемый объект, может влиять на результат измерений. В настоящей работе по отношению к оси конечности карта располагалась произвольно, однако исследователь старался уложить ее так, чтобы карта примерно располагалась в одной плоскости с фантомной раной. Кроме того, при фотографировании исследователь перемещал электронное устройство и старался уловить момент, когда приложение предлагает наиболее точную автообводку контура карты.

Отмечено наличие выбросов при малых размерах фигур. Этот факт свидетельствует о необходимости особой аккуратности в обводке контура образований малой площади. При использовании приложения следует учитывать занижение площади приложением.

Приложение позволяет вести контроль динамики площади различных образований с высокой точностью, в удобной форме, без значимых затрат времени, что крайне важно как в повседневной клинической практике, так и при проведении исследований.

## Заключение

Точность измерения фантомных ран на кривой поверхности приложением LesionMeter соответствует точности контрольного метода (измерение палеткой) и данным литературы по аналогичным методам планиметрии.

**Благодарности.** Особая благодарность Станиславу Суздалью, руководителю HiQo Solutions LLC, и Анне Янцевиц, переводчику, преподавателю английского языка HiQo Solutions LLC, за перевод с русского на английский.

### Участие авторов:

Концепция и дизайн исследования — Е.А. Илюхин, В.Л. Булатов

Сбор данных — Е.А. Илюхин, В.Л. Булатов

Статистическая обработка данных — М.И. Гальченко

Написание текста — Е.А. Илюхин, В.Л. Булатов, М.И. Гальченко

Редактирование — Е.А. Илюхин

### Конфликт интересов

Один из авторов (Е.А. Илюхин) участвовал в разработке и является правообладателем тестируемого приложения. Приложение распространяется на бесплатной основе. Выполнение статистической обработки данных финансировано Ассоциацией флебологов России.

### Conflict of interests

One of the authors (E.A. Ilyukhin) participated in the development of the studied mobile application. The application is distributed free of charge. The Russian Phlebology Association funds statistical analysis.

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. The authors declare no conflict of interest.**

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Савченко Ю.П., Федосов С.Р. Методы определения размеров раневой поверхности. *Вестник хирургии им. И.И. Грекова*. 2007;166(1):105-106. Savchenko YuP, Fedosov SR. Metody opredeleniya razmerov ranевой poverkhnosti. *Vestnik khirurgii imeni I.I. Grekova*. 2007;166(1):105-106. (In Russ.).
2. Johnson M, Miller R, Saunders WB. Measuring healing in leg ulcers: Practice considerations. *Appl Nurs Res*. 1996;9(4):204-208. [https://doi.org/10.1016/S0897-1897\(96\)80099-1](https://doi.org/10.1016/S0897-1897(96)80099-1)
3. Charles H. Wound assessment: measuring the area of a leg ulcer. *Br J Nurs*. 1998;7:765-772. <https://doi.org/10.12968/bjon.1998.7.13.5646>
4. Mirzaalian Dastjerdi H, Töpfer D, Rupitsch S, Maier A. Measuring Surface Area of Skin Lesions With 2D and 3D Algorithms. *Int J Biomed Imaging*. 2019;2019:4035148. <https://doi.org/10.1155/2019/4035148>
5. Foltynski P. Ways to increase precision and accuracy of wound area measurement using smart devices: Advanced app Planimator. *PLoS One. Public Library of Science*. 2018;13:3. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192485>
6. Sigam P, Denz M. Надежность и точность вычисления площади раневой поверхности с использованием мобильных технологий. *Журнал телемедицины и электронного здравоохранения*. [Электронный ресурс]. 2015;1(пилотный выпуск). Sigam P, Denz M. Nadezhnost' i tochnost' vychisleniya ploshchadi ranевой poverkhnosti s ispol'zovaniem mobil'nykh tekhnologij. *Zhurnal telemeditsiny i elektronnoho zdравookhraneniya*. [Elektronnyj resurs]. 2015;1(pilotnyj vypusk). (In Russ.).
7. Илюхин Е., Иванов К., Михеев М. Мобильное приложение измерения площади язв LesionMeter. [Электронный ресурс]. Ссылка активна на 09.08.20. Илюхин Е, Иванов К, Михеев М. Mobil'noe prilozhenie izmereniya ploshchadi yazv LesionMeter. [Elektronnyj resurs]. Accessed August 09, 2020. <https://phlebounion.ru/projects/mobilnoe-prilozhenie-izmereniya-plov-adi-yazv-lesionmeter>
8. Официальный сайт МОО «Ассоциация флебологов». Ссылка активна на 09.08.20. Ofitsial'nyj sajt MOO «Assotsiatsiya flebologov». Accessed August 09, 2020. <https://phlebounion.ru>



9. Erdfelder E, Aul F, Buchner A, Lang AG. Statistical power analyses using G\*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. *Behav Res Methods*. 2009;41:1149-1160. <https://doi.org/10.3758/BRM.41.4.1149>
10. Zuur AF, Ieno EN, Elphick CS. A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. *Methods Ecol Evol Wiley*. 2010;1(1):3-14. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210x.2009.00001.x>
11. Bland JM, Altman DG. Applying the Right Statistics : Analyses of Measurement Studies. *Ultrasound Obstet Gynecol*. 2003;22:85-93. <https://doi.org/10.1002/uog.122>
12. Bland JM, Altman DG. Measuring agreement in method comparison studies. *Stat Methods Med Res*. 1999;8(2):135-160. <https://doi.org/10.1177/096228029900800204>
13. Moriasi DN, Arnold JG, Van Liew MW, Bingner RL, Harmel RD, Veith TL. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE)*. 2007;50(3):885-900. <https://doi.org/10.13031/2013.23153>
14. Гальченко М.И., Бунякина Е.В. Исследование критериев валидации теоретических моделей на основе экспериментальных данных. Сборник статей и докладов научно-исторической конференции «220 лет военно-морскому инженерному образованию России». *ВМПИ*. 2019;1:48-56. Galchenko MI, Bunyakina EV. Issledovanie kriteriev validatsii teoreticheskikh modelej na osnove eksperimental'nykh dannykh. Sbornik statej i dokladov nauchno-istoricheskoy konferentsii «220 let voenno-morskomu inzhenernomu obrazovaniyu Rossii». *VMPI*. 2019;1:48-56. (In Russ.).
15. Гюльмамедов А., Жадинский А., Жадинский Н., Белозерцев А., Заболоцкий В., Полунин Г. Разработка способа измерения площади раны, заживающей вторичным натяжением. *Актуальні проблеми сучасної медицини: Вісник української медичної стоматологічної академії*. 2008;1(2):21-22. Gyulmamedov A, Zhadinsky A, Zhadinsky N, Belozertsev A, Zabolotsky V, Polunin G. Razrabotka sposoba izmereniya ploshchadi rany, zzhivayushchej vtorichnym natyazheniem. *Actual Problems of Modern Medicine: Bulletin of the Ukrainian Medical Dental Academy*. 2008;1(2):21-22. (In Russ.).
16. Gethin G, Cowman S. Wound measurement comparing the use of acetate tracings and Visitrak™ digital planimetry. *J Clin Nurs*. 2006;15(4):422-427. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2702.2006.01364.x>

Поступила 09.08.2020

Received 09.08.2020

Принята к печати 31.08.2020

Accepted 31.08.2020