

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ИЗУЧЕНИЯ ВАРИАЦИЙ ПОДКОЖНОГО ЖИРА: СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ КАЛИПЕРОВ

С.Г. Руднев<sup>1,2</sup>, А.В. Анисимова<sup>3</sup>, Л.В. Синдеева<sup>4</sup>, Л.В. Задорожная<sup>3</sup>, С.С. Лукина<sup>5</sup>,  
А.В. Малахина<sup>5</sup>, А.Ю. Вашура<sup>5</sup>, Г.Я. Цейтлин<sup>5</sup>, Е.З. Година<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН ИВМ РАН, Москва

<sup>2</sup>ФГБУ «ЦНИИОИЗ» Минздрава России, Москва

<sup>3</sup>МГУ имени М.В. Ломоносова, НИИ и Музей антропологии, Москва

<sup>4</sup>ФГБОУ ВО «КрасГМУ им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого», Красноярск

<sup>5</sup>ФГБУ «НМИЦ ДГОИ им. Д. Рогачёва» Минздрава России, Москва

Калиперометрия, или измерение толщины кожно-жировых складок на определённых участках тела, традиционно используется в биологической и медицинской антропологии для характеристики подкожного жировоголожения, оценки типа телосложения, состава тела и нутритивного статуса. Результаты калиперометрии зависят не только от техники измерений, но и от типа калипера. Разнообразие типов калиперов и межгрупповые различия результатов измерений затрудняют возможность обобщения и сопоставления данных популяционных выборочных исследований.

Цель исследования – характеристика точности и воспроизводимости результатов измерений кожно-жировых складок при применении различных типов калиперов.

С участием пяти измерителей выполнено сравнительное экспериментальное исследование 11 калиперов пяти типов: Вереск (ООО «Вереск», Красноярск), КЭЦ-100 (ОАО «ТВЕС», Тулиновский приборостроительный завод, Тамбовская обл.), FatTrack II (Accu-Measure, США), GPM (DKSH, Швейцария) и Lange (Beta Technology; Cambridge Scientific Industries, США). Исследование проводилось в три этапа: с использованием металлического калибровочного блока GPM, «сэндвичей» из мягкой силиконовой резины kSil™ GP250 (Silicone Engineering, Великобритания) и на основе измерений четырёх жировых складок (над трицепсом, под лопаткой, над гребнем подвздошной кости и на голени), используемых в схеме соматотипирования Хит-Картера, у 11 взрослых добровольцев.

При измерениях калибровочного блока и «сэндвичей» из силиконовой резины металлическими калиперами (Вереск, GPM, Lange) выборочные стандартные отклонения и коэффициенты вариации были, в среднем, втрое меньше, чем при измерениях пластиковыми калиперами (КЭЦ-100, FatTrack II). В сравнении с калипером GPM, калиперы Вереск, КЭЦ-100 и Lange статистически значимо завышали толщину «сэндвичей» и суммарную толщину указанных четырёх жировых складок, а калипер FatTrack II давал сопоставимые результаты (значимые различия отсутствовали).

В целом, проведённое исследование выявило преимущества использования традиционно рекомендуемых типов калиперов. Из пяти рассмотренных типов калиперов лучшие показатели имел калипер GPM (итоговая субъективная экспертная оценка 8,9 баллов из 10). Калипер Lange при сравнительно высокой воспроизводимости результатов завышал толщину складки (итоговая оценка 7,0 баллов). Пластиковый калипер FatTrack II был сравним по точности с GPM на фоне сниженной воспроизводимости результатов (итоговая оценка 6,2 балла). При сравнительно высокой повторяемости результатов, калипер Вереск отличался низким качеством статической и динамической калибровки (итоговая оценка 5,8 баллов). Худшими показателями (максимальная суммарная техническая ошибка, минимальный коэффициент надёжности измерений, низкое качество калибровки) отличался калипер КЭЦ-100 (итоговая оценка 2,1 балла), что ставит под серьёзное сомнение целесообразность его применения в центрах здоровья в рамках профилактического скрининга населения России, и в целом – в научной и практической работе.

Для обеспечения возможности сравнения с результатами других исследований описание данных калиперометрии должно включать:

– информацию о типе калипера и его соответствии требованиям стандартизации измерений (металлический/пластиковый; площадь контактных участков; характеристика давления, оказываемого на складку; дискретность измерений и др.);

- сведения о результатах сравнения использованного типа калипера с эталонным оборудованием;
- информацию о статической и динамической калибровке калипера;
- данные об уровне подготовки специалистов, производящих измерения, расчётные значения технических ошибок измерений и коэффициентов надёжности.

Ключевые слова: антропометрия, кожно-жировые складки, калиперометрия, измерительное оборудование, сравнение, точность, воспроизводимость, техническая ошибка измерений, коэффициент надёжности

## Введение

Методические проблемы, связанные с ошибками измерений, воспроизводимостью результатов при повторных измерениях одним или несколькими измерителями и, наконец, сравнением результатов измерений, проведённых разными инструментами, всегда находились в центре внимания биологов человека. Именно поэтому авторы руководств, посвящённых антропометрическим измерениям, подробно останавливались на необходимости тщательной подготовки персонала, соблюдения методических рекомендаций, отбора и верификации инструментария (см., например, [Бунак, 1941; Human biology, 1969; Ross, Eiben, 1992; Ulijaszek, Mascie-Taylor, 1994; Roche, Sun, 2003; NHANES, 2007; Handbook of anthropometry, 2012]).

Калиперометрия, или измерение толщины кожно-жировых складок на определённых участках тела при помощи специальных инструментов – калиперов<sup>1</sup>, является неотъемлемой частью большинства программ антропометрических измерений, направленных на изучение физического развития и здоровья населения [Бунак, 1941; Anthropometric standardization ... 1988; Антропология в медицине, 1989; Norton, Olds, 2004; Година с соавт., 2011; Marfell-Jones et al., 2012; Handbook of anthropometry, 2012]. Калиперометрия традиционно используется в биологической и медицинской антропологии для характеристики подкожного жирового отложения [Hammond, 1955; Чтецов, 1968; Лутовинава с соавт., 1970; Пермьякова, 2010; Иванова с соавт., 2011; Дорохов с соавт., 2015], оценки типа телосложения [Carter, Heath, 1990; Дорохов с соавт., 2015], состава тела [Matiegka, 1921; Durnin,

<sup>1</sup> От англ. caliper (циркуль). Данный термин был заимствован в 1960-х гг. из англоязычной литературы, где его полное название – skinfold caliper, или циркуль для измерения складок кожи и подкожного жира. Считается [Tanner, 1981], что первые инструментальные измерения кожно-жировых складок у человека были выполнены немецким пастором и врачом Людвигом Котельманом [Kotelman, 1879] и вслед за ним французским анатомом, физиологом и энциклопедистом Полем Рише [Richer, 1890].

Womersley, 1974; Slaughter et al., 1988; Ackland et al., 2012] и нутритивного статуса [Frisancho, 1990; Must et al., 1991; WHO, 1995; Gibson, 2005; Тютельян с соавт., 2008]. Широкому распространению метода при решении указанных задач способствовали неинвазивность, портативность, доступность, сравнительно невысокая цена, относительная простота инструментария и возможность применения в лабораторных, стационарных и полевых условиях.

Для получения воспроизводимых и сопоставимых результатов антропометрических измерений и калиперометрии от измерителей требуется определённый уровень подготовки [Бунак, 1941; Ulijaszek, Kerr, 1999; Cameron, 2013]. С 1996 года действует международная система аккредитации специалистов в области спортивной антропометрии [Marfell-Jones et al., 2012]. Точность и воспроизводимость результатов измерений жировых складок зависят не только от техники измерений, но и от типа калипера [Lohman, Pollock, 1981], а современные требования стандартизации измерений содержат рекомендации по использованию определённых наименований калиперов [Carter, Heath, 1990; Norton et al., 2004; Marfell-Jones et al., 2012].

Основные требования к конструкции калиперов были сформулированы в середине 1950-х годов [Edwards et al., 1955] и впоследствии приняты на международном уровне [Human biology, 1969]. Они включают:

- наличие у калипера достаточно широких прямоугольных контактных площадок, служащих для сжатия складки в момент измерений, с хорошо округлёнными краями и углами<sup>2</sup>;
- обеспечение постоянного давления контактных площадок на складку, равного 10 г/мм<sup>2</sup>,

<sup>2</sup> В упомянутой работе [Edwards et al., 1955] рекомендовалось использовать прямоугольные контактные участки размером 6х15 мм (т.е. площадью 90 мм<sup>2</sup>), как у калиперов Franzen и Harpenden. Калипер Holtain имеет контактные участки площадью 78 мм<sup>2</sup> [Fidanza et al., 2003], а калипер Lange – 30 мм<sup>2</sup>.

во всём диапазоне измерений, от двух до 40 мм и выше<sup>3</sup>;

- использование шкалы измерений с ценой деления до 1 мм (лучше 0,1–0,2 мм).

Жировые складки являются легко сжимаемыми, поэтому обеспечение постоянного давления на складку, не зависящего от их размера и измерителя, является необходимым условием получения сопоставимых результатов. Известно, что измеренный размер складки сильно зависит от давления, оказываемого на складку, в диапазоне значений давления 2–10 г/мм<sup>2</sup>, и меньше зависит в диапазоне 10–90 г/мм<sup>2</sup> [Keys, Brozek, 1953; Лутовинова с соавт., 1970]. При низком давлении на складку (порядка 2–3 г/мм<sup>2</sup>) резко снижается воспроизводимость результатов измерений [Edwards et al., 1955], а высокое давление, оказываемое на складку (от 30 г/мм<sup>2</sup> и выше), искажает её толщину благодаря значительному углублению контактных площадок в подкожно-жировую клетчатку и вызывает крайне неприятные болевые ощущения у испытуемых [Лутовинова с соавт., 1970]. Взятые вместе, эти факторы обусловили выбор требований стандартизации измерительного оборудования. Начальный этап разработки профессиональных инструментов для калиперометрии включал проведение натуральных экспериментов с использованием близких по назначению технических устройств и ряда приспособлений к ним для выявления критически значимых особенностей, оптимизации функций и дизайна создаваемого оборудования с целью получения надёжных результатов, минимизации дискомфорта пациенту и удобства постоянного применения.

В те же годы были сконструированы первые серийные инструменты, удовлетворяющие указанным требованиям – калиперы Harpenden [Edwards et al., 1955; Tanner, Whitehouse, 1955] и Lange

[Lange, Brozek, 1961]. Более ранние инструменты не соответствовали основным требованиям стандартизации либо не подходили по другим причинам. Например, калипер Franzen (1929), известный как первый калипер с пружиной, не обеспечивал постоянства давления на складку во всём диапазоне измерений, малахистометр Correnti (1947) имел слишком большие контактные площадки и был неудобен для повседневного использования, модификация калипера Вернье компании Glogau and Co., известная как Minnesota caliper [Keys, Brozek, 1953; Fidanza, 2003], не была доведена до серийного образца, а калипер Best (1954) давал постоянное, но более высокое давление на складку (30 г/мм<sup>2</sup>) и имел не соответствующую по форме и размеру круглую контактную площадку диаметром 3 мм. В российских ауксологических исследованиях наряду с другими разработками применялась модификация калипера Best с прямоугольными контактными площадками и стандартным давлением на складку, равным 10 г/мм<sup>2</sup> [Миклашевская с соавт., 1988].

Позднее на основе калипера Harpenden был предложен менее громоздкий и более лёгкий калипер Holtain (Таннера-Уайтхауса), также известный как калипер GPM<sup>4</sup>, дающий практически одинаковые результаты с калипером Harpenden [Parizkova, Roth, 1972; Tanner, Whitehouse, 1975]. В ряде работ калипер Holtain был признан наиболее надёжным и удобным инструментом для измерения жировых складок [Parizkova, Roth, 1972; Cameron, 1978].

Преимуществами традиционного оборудования являются устойчивое серийное производство, наличие технической поддержки и многолетняя апробация в научных исследованиях. Абсолютное большинство референтных ауксологических данных калиперометрии для различных стран и регионов мира получено с использованием калиперов Holtain (см., например, [Fok et al., 2006; Addo, Himes, 2010; Abdulrazzaq et al., 2011; Cicek et al., 2014; Nagy et al., 2014; Marrodan et al., 2017]), Harpenden [Wohlfahrt-Weje et al., 2014; Khadiikar et al., 2015; Kuhle et al., 2015] и, реже, калиперов Lange [Addo, Himes, 2010]. В одной из недавних публикаций, наряду с калипером Holtain, рекомендовано использование электронного металлического калипера Skyindex [Cameron, 2013].

Применительно к проверке и регулировке точности показаний калиперов, как и любого другого измерительного оборудования, применяется тер-

<sup>3</sup> Относительное постоянство давления на складку обеспечивается, в том числе, за счёт использования пружины и минимизации трения в участке соединения подпружиненных браншей калипера. Толщина кожного покрова человека зависит от возраста и составляет, в среднем, 0,6–0,9 мм для мужчин и 0,5–0,7 мм для женщин [Escoffier et al., 1989], поэтому кожно-жировые складки толщиной менее 2 мм на практике не встречаются. У взрослых людей толщина кожно-жировых складок, равная 40 мм, соответствует среднему процентному содержанию жира в массе тела (%ЖМТ) порядка 32–34% для мужчин и 40–42% для женщин [Slaughter et al., 1988] и значению индекса массы тела (ИМТ) порядка 34–36 кг/м<sup>2</sup> [Romero-Corral et al., 1998]. С увеличением распространённости ожирения в 2000-х гг. возникла проблема несоответствия конструкции калиперов максимально наблюдаемым значениям толщины складок [Grady, 2001] и сформировался запрос на инструменты с расширенным диапазоном измерений.

<sup>4</sup> Калипер GPM по своим характеристикам и внешнему виду практически идентичен калиперу Holtain. Ранее он выпускался компанией Siber-Hegner (Цюрих, Швейцария), а с 2002 года – концерном DKSH (аббревиатура происходит от фамилий основателей образовавших его компаний: Diethelm, Keller и Siber-Hegner).

мин «калибровка». Прежде всего, устройство для измерения жировых складок должно безошибочно определять известные линейные размеры. Назовём это свойство статической калибровкой. Примерами статической калибровки являются проверка точности показаний калипера с использованием металлического эталона или совмещение стрелки индикаторного устройства с нулевой отметкой шкалы измерений, а также обнуление датчика измерений в случае калипера с цифровой шкалой индикации. Кроме того, ввиду сжимаемости складок калипер должен обладать известными компрессионными свойствами (см. выше). Назовём эти качества динамической калибровкой<sup>5</sup>. Примерами динамической калибровки являются замена пружины калипера на заводе-изготовителе и последующая диагностика с использованием специального оборудования (см., например, [Carlyon et al., 1998; Hewitt et al., 2002]).

В настоящее время производится несколько десятков типов калиперов. Профессиональные инструменты для измерения жировых складок (например, калиперы Harpenden, Holtain и Lange), как правило, выполнены в металлическом корпусе, более долговечны, обеспечивают высокую воспроизводимость результатов и допускают возможность как статической, так и динамической калибровки. Со второй половины 1970-х годов также выпускаются пластиковые калиперы. При сравнительно низкой цене<sup>6</sup> они менее надёжны и долговечны, могут характеризоваться сниженной точностью и воспроизводимостью результатов, как правило, не допускают возможности динамической калибровки и недостаточно апробированы в научных исследованиях [Lohman, Pollock, 1981; Gibson, 2005]. В основном они востребованы в фитнес-индустрии и для самоконтроля в домашних условиях. Одним из исключений является калипер Slim Guide, рекомендованный Международным обществом продвижения кинантропометрии (ISAK) «в качестве альтернативы эталонному калиперу Harpenden» [Marfell-Jones et al., 2012].

Широко применяются регрессионные формулы для оценки состава тела по данным калиперомет-

рии, полученные на основе сравнения результатов измерений жировых складок калиперами Harpenden [Durnin, Rahaman, 1967; Durnin, Womersley, 1974; Slaughter et al., 1988] и Lange [Durnin, Womersley, 1974; Jackson, Pollock, 1978] с эталонными оценками состава тела. Некоторые модели калиперов (например, металлический калипер Skyndex I и пластиковый калипер FatTrack PRO) имеют встроенный микропроцессор с функциями хранения данных и оценки состава тела с использованием указанных формул. Однако в целом, в связи с проблемой сопоставимости данных, в современных руководствах по антропометрии подчёркивается необходимость осторожной интерпретации оценок состава тела на основе регрессионных формул, если данные наблюдений были собраны калиперами других типов по сравнению с использованными при их построении [Norton et al., 2004]. То же относится и к оценке соматотипа по схеме Хит-Картера, где для измерения жировых складок настоятельно рекомендуется использовать калиперы Harpenden или Holtain, а в качестве альтернативы – калипер Slim Guide [Carter, 2002].

Данные сравнений калиперов различных типов неоднородны. Результаты сравнений могут зависеть от возраста калиперов и интенсивности их использования, давности калибровки и качества измерений. В целом принимается, что калипер Lange завышает толщину складки в сравнении с калиперами Harpenden и Holtain [Gruber et al., 1990; Zillikens, Conway, 1990; Gibson, 2005], хотя более ранние исследования выявили отсутствие значимых различий между калиперами Harpenden и Lange [Sloan, Shapiro, 1972; Womersley et al., 1973]. Для минимизации зависимости от измерителей при сравнении динамических свойств калиперов известен стандартный приём, состоящий в использовании образцов губчатой резины различной толщины с характеристиками, имитирующими свойства подкожно-жирового слоя [Schmidt, Carter, 1990; Gore et al., 1995].

В современных российских антропологических исследованиях для измерения жировых складок применяется как зарубежное, так и отечественное оборудование. Из импортных устройств используются калиперы GPM [Пермякова, 2010; Немцев с соавт., 2015], FatTrack [Иванова с соавт., 2011; Воронков с соавт., 2013; Васильева с соавт., 2016], Lange (см., например, [Воронов с соавт., 2009]), Slim Guide [Kalichman, Kobylansky, 2006] и другие. Из отечественных инструментов чаще упоминаются металлический калипер Вереск [Синдеева, 2014; Койносов, 2015; Штейнердт, 2015] и пластиковый калипер КЭЦ-100 [Соловьёва, 2012; Совершаева с соавт., 2014]. Последний входит в состав оснащения центров здоровья, на

<sup>5</sup> Используемое нами определение статической и динамической калибровки отличается от приведённого в работе других авторов [Carlyon et al., 2004].

<sup>6</sup> Для сравнения, на сегодняшний день цена пластиковых устройств начинается от 500–1000 рублей, а рекомендованного металлического калипера Holtain составляет порядка 22 тыс. рублей [Holtain Ltd, 2017]. В 2014 году компания Skyndex, LLC анонсировала выпуск эргономичного беспроводного металлического калипера Skyndex Pro120 с встроенной технологией Bluetooth и измеряемым размером складки до 120 мм по цене около 90 тыс. рублей [CISION PR Newswire, 2014]. См. также [Wood, 2008].

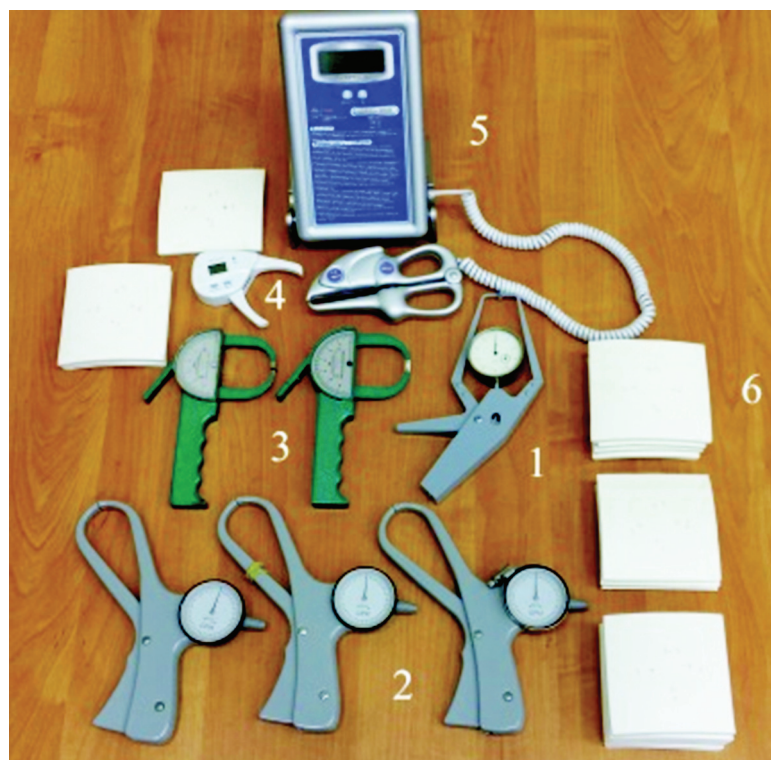


Рис. 1. Использованное оборудование и материалы. Калиперы: 1 – Вереск, 2 – GPM, 3 – Lange, 4 – FatTrack II, 5 – КЭЦ-100; 6 – «сэндвичи» из силиконовой резины различной толщины для эмуляции измерений жировых складок

базе которых с 2010 года проводится массовый профилактический скрининг населения России. Сравнений отечественных калиперов для измерения жировых складок между собой и с традиционным импортным оборудованием никогда не проводилось.

*Цель исследования* – сравнительная характеристика точности и воспроизводимости результатов измерений кожно-жировых складок при применении различных типов калиперов.

### Материалы и методы

При проведении эксперимента были использованы пять типов калиперов для измерения жировых складок, из них три разновидности устройств металлического (Вереск, GPM, Lange) и две – пластикового типа (КЭЦ-100, FatTrack II), в том числе два типа калиперов отечественного производства (Вереск, КЭЦ-100) (рис. 1). Всего в эксперименте было задействовано 11 единиц калиперов (табл. 1).

Металлический калипер Вереск (ООО «Вереск», Красноярск) массой 0,31 кг имеет двойную механическую шкалу измерений с минимальной ценой деления 0,1 мм. Площадь контактных участков калипера составляет 45 мм<sup>2</sup>, а максимальная измеряемая толщина складки равна 105 мм.

В настоящее время калипер этого типа не производится. На разных этапах эксперимента были доступны три калипера Вереск разной интенсивности и длительности применения (табл. 1). Калипер Вереск имеет регулируемую точку отсчёта. Перед началом измерений показания шкалы выставлялись на нулевую отметку. Динамическая калибровка не производилась.

Металлический калипер GPM (DKSH, Швейцария) массой 0,5 кг имеет измеренную площадь контактных участков порядка 70 мм<sup>2</sup> и механическую шкалу измерений с ценой деления 0,2 мм. Диапазон измерений составляет от 0 до 45 мм. В наличии были три калипера GPM разной длительности и частоты применения, динамическая калибровка не производилась.

Металлический калипер Lange (Beta Technology; Cambridge Scientific Industries, США) массой 0,18 кг имеет механическую шкалу измерений с ценой деления 1 мм. Площадь контактных участков калипера составляет 30 мм<sup>2</sup>, а максимальная измеряемая толщина складки равна 60 мм. Были доступны два калипера Lange разного года выпуска, имеющие значительные сроки и интенсивность использования, динамическая калибровка не производилась.

Пластиковый электронный цифровой калипер КЭЦ-100 (ОАО «ТВЕС», Тамбовская обл.) состоит

Таблица 1. Общая характеристика набора калиперов и схема их использования в эксперименте

№ п/п	Калипер / условное обозначение	Фирма-производитель	В каком учреждении используется	Год начала применения, общее количество измерений	Применение на этапах эксперимента (номер этапа)		
					1	2	3
<i>Металлические калиперы</i>							
1	Вереск / В1	ООО «Вереск», Красноярск	КрасГМУ им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого	2010 г., 4000–5000	+	+	+
2	Вереск / В2	ООО «Вереск», Красноярск	КрасГМУ им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого	2008 г., 12 000–14 000		+	
3	Вереск / В3	ООО «Вереск», Красноярск	КрасГМУ им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого	2005 г., 40 000–45 000		+	
4	GPM / G1	DKSH, Швейцария	НИИ МА МГУ им. М.В. Ломоносова	2004 г., 2500–3000	+	+	+
5	GPM / G2	DKSH, Швейцария	НИИ МА МГУ им. М.В. Ломоносова	2004 г., 18 000–20 000	+	+	
6	GPM / G3	DKSH, Швейцария	НИИ МА МГУ им. М.В. Ломоносова	2004 г., 40 000–45 000	+	+	+
7	Lange / L1	Beta Technology, США	НИИ МА МГУ им. М.В. Ломоносова	2010 г., 3000–4000	+	+	
8	Lange / L2	Cambridge Scientific Industries, США	РГУФКСМиТ	2000 г., 35 000	+	+	+
<i>Пластиковые калиперы</i>							
9	КЭЦ-100 / К1	ООО «ТВЕС», Тамбовская обл.	НМИЦ ДГОИ им. Д. Рогачёва	Ранее не использовался	+	+	+
10	КЭЦ-100 / К2	ООО «ТВЕС», Тамбовская обл.	КрасГМУ им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого	Не более 20–30		+	
11	FatTrack II / F	Accu-Measure, США	НМИЦ ДГОИ им. Д. Рогачёва	2016 г., 2000	+	+	+

Примечания. Обозначения этапов эксперимента: 1 – измерения металлического эталона; 2 – измерения «сэндвичей» из силиконовой резины; 3 – измерения кожно-жировых складок.

из собственно калипера массой 0,3 кг и пульта управления массой 0,6 кг (рис. 1). Некоторые разновидности устройства допускают возможность подключения к персональному компьютеру для обмена данными. Измеренная толщина жировой складки отображается на электронном табло с дискретностью измерений 1 мм в диапазоне 2–100 мм. Площадь контактных участков в паспорте устройства не указана. При включении питания происходит автоматическая настройка калипера с обнулением датчика измерений. Авторам были доступны три новых калипера КЭЦ-100. Один из них имел заводской брак (контактные площадки калипера в исходном положении не совмещались) и был исключён из рассмотрения. Два других калипера КЭЦ-100 использовались в эксперименте (см. табл. 1). Согласно описанию, средний срок службы устройства составляет 5 лет.

Пластиковый пружинный калипер FatTrack II (Accu-Measure, США), самый лёгкий и компактный из рассматриваемых типов калиперов (рис. 1),

имеет электронную шкалу индикации результатов с дискретностью измерений 0,1 мм и звуковую индикацию стандартного сжатия складки. Измеренная площадь контактных участков составила 16 мм<sup>2</sup>. В отличие от четырёх других типов калиперов, пружина устройства FatTrack II действует на растяжение, а не на сжатие браншей, поэтому в свободном положении бранши калипера полностью раскрыты (рис. 1). Измеритель сжимает складку собственным усилием, а регистрация результата измерения происходит в момент установления стандартного давления на складку. Устройство допускает возможность автоматической и ручной калибровки, имеется функция оценки состава тела по встроенным формулам с сохранением трёх профилей. Диапазон измерений составляет от 0 до 63 мм. По опыту наших специалистов, максимальный срок годности калипера при условии регулярного использования (с учётом замены батареек) составляет около 1 года, а максимальный ресурс – порядка 8–10 тысяч измерений.

На различных этапах эксперимента в проведении измерений принимали участие пять исследователей: АВА (специалист-антрополог со значительным опытом измерений калипером GPM), АВМ (медсестра, имеющая значительный опыт повседневного применения калипера FatTrack II в клинической практике), ЛВЗ (эксперт в области антропометрии с 30-летним опытом использования разных типов калиперов, в том числе GPM и Lange), ЛВС (эксперт в области антропометрии с 20-летним опытом использования калипера Вереск и других типов калиперов) и ССЛ (опытный лаборант-исследователь, периодически использующий калипер FatTrack II в своей деятельности).

Исследование проводили в августе-декабре 2016 года в три этапа.

На первом этапе оценивали статические свойства калиперов на основе проверки точности и воспроизводимости результатов измерений несжимаемого объекта. Для этого использовали металлический эталон – калибровочный блок GPM из комплекта одноимённого антропометрического оборудования. Указанный блок имеет 4 участка измерений толщиной 10, 20, 30 и 50 мм, соответственно. Цикл измерений эталона, в порядке возрастания толщины участков измерений, проводили последовательно 8 калиперами (табл. 1) и повторяли 10 раз. Измерения эталона проводили в лаборатории ауксологии человека НИИ и Музея антропологии МГУ имени М.В. Ломоносова, в них участвовали два исследователя (АВА и ЛВС). Через каждые два или три цикла измерений они сменяли друг друга. В общей сложности, с учётом недоступности измерения участка блока толщиной 50 мм калиперами GPM, было выполнено 290 замеров металлического эталона.

На втором этапе сопоставляли динамические свойства калиперов путём измерений сжимаемого материала – мягкой силиконовой резины kSil™ GP250 (Silicone Engineering, Великобритания). Данный материал имеет пористую структуру с закрытыми порами. Он является гибким, упругим и легко сжимаемым (твёрдость по Шору 5A), что примерно соответствует свойствам подкожно-жирового слоя [Controzzi et al., 2014]. Исходный материал имел форму широкого листа (пластины) толщиной 10 мм, из которого были изготовлены образцы для измерений размером 10x10 см. Указанные образцы использовали непосредственно или путём наложения друг на друга для формирования «сэндвича» нужной толщины, от 10 до 50 мм (рис. 1). Основной цикл измерений набора из пяти «сэндвичей» разной толщины проводили в лаборатории ауксологии человека НИИ и Музея антропологии МГУ имени М.В. Ломоносова последовательно теми же 8 калиперами, что и при измерениях металлического эталона, и повторя-

ли 20 раз. В ходе измерений калипер держали строго в вертикальной плоскости по отношению к измеряемому образцу, при этом контактные площадки калипера располагали друг под другом посередине между краем и центром образца. В основном цикле измерений второго этапа участвовали два исследователя (АВА и ЛВЗ). Через каждые два или три цикла измерений они сменяли друг друга. Каждый исследователь выполнил в общей сложности по 10 циклов измерений. В дополнение к этому, на базе КрасГМУ им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого исследователь ЛВС провёл серию измерений набора «сэндвичей» тремя калиперами Вереск, один из которых (В1) был использован в основной серии измерений, и доступным экземпляром калипера КЭЦ-100 (К2). На базе НМИЦ ДГОИ им. Д. Рогачёва два других исследователя (АВМ и ССЛ) провели измерения «сэндвичей» калипером FatTrack II. В общей сложности, на втором этапе были задействованы пять исследователей, все 11 калиперов, и выполнено 1040 измерений «сэндвичей» из силиконовой резины.

На третьем этапе анализировали динамические свойства калиперов на основе измерений жировых складок. На добровольной основе с письменным подтверждением информированного согласия было проведено выборочное обследование 11 человек в возрасте от 17 до 46 лет. Измерения проводили в лаборатории ауксологии человека НИИ и Музея антропологии МГУ имени М.В. Ломоносова (n=5) и на кафедре анатомии и биологической антропологии РГУФКСМиТ (n=6), где большинство обследованных имели высокие спортивные разряды (табл. 2). Индекс массы тела (ИМТ) рассчитывали приближённо на основе самоопределения длины и массы тела. По стандартной методике [Carter, 2002] с использованием шести калиперов (табл. 1) измеряли толщину четырёх жировых складок, используемых при определении соматотипа по схеме Хит-Картера: под лопаткой, на задней поверхности плеча (над трицепсом), на животе (над гребнем подвздошной кости) и на голени. Измерения в указанной последовательности проводили на правой стороне тела для каждого из шести калиперов и повторяли три раза. Указанный цикл измерений был выполнен независимо друг от друга тремя исследователями (АВА, АВМ и ЛВЗ). Всего на третьем этапе было выполнено 2376 измерений жировых складок<sup>7</sup>.

<sup>7</sup> В ходе эксперимента с использованием упомянутых шести калиперов также были выполнены измерения 8 из 11 добровольцев исследователем ССЛ. Ввиду выбранного метода анализа групповых различий (сопоставляли выборочные средние суммарной толщины складок для всей выборки, см. далее) соответствующие данные были исключены из рассмотрения.

Таблица 2. Общая характеристика группы обследованных (n=11)

№ п/п	Пол	Возраст, лет	Вид спорта, спортивное звание/разряд	Длина тела, см	Масса тела, кг	ИМТ, кг/м <sup>2</sup>	ΣЖС, мм
1	Жен.	22	Скалолазание, сноуборд	175	62	20,2	40,3
2	Жен.	22	Нет	169	84	29,4	92,1
3	Жен.	25	Нет	172	67	22,6	45,9
4	Жен.	25	Нет	164	87	32,3	89,6
5	Муж.	46	Шахматы, кмс	188	93	26,3	56,2
6	Муж.	18	Баскетбол, кмс	202	103	25,2	27,3
7	Муж.	25	Смешанные единоборства, мс	181	70	21,4	24,1
8	Муж.	21	Футбол, плавание	178	76	24,0	33,6
9	Муж.	18	Мотокросс, 2 разряд	179	60	18,7	16,9
10	Муж.	17	Триатлон, кмс	190	80	22,2	19,1
11	Муж.	18	Велосипедный спорт, кмс	177	76	24,3	35,0

Примечания. ИМТ – индекс массы тела, ΣЖС – суммарная толщина жировых складок под лопаткой, на трицепсе, на животе и на голени (измерения выполнены калипером GPM (G1), исследователь ЛВЗ).

Все измерения выполнялись в стандартизованных условиях в закрытом помещении при комнатной температуре. Перед проведением измерений все использованные материалы и измерительное оборудование находились в помещении не менее суток.

Измерения жировых складок проводились с соблюдением правил биоэтики. В соответствии с законом о персональных данных, полученные данные были деперсонифицированы. Статистическую обработку выполняли в пакетах программ Minitab 17.3 и MS Excel 2010.

Проверку нормальности проводили по критерию Колмогорова-Смирнова. Межгрупповые различия оценивали на основе парного t-критерия или двухвыборочного t-критерия. Значимые различия определяли при  $p < 0,05$ . Точность измерений металлического эталона оценивали непосредственно, а «сэндвичей» и жировых складок – используя данные измерений калиперами GPM (Таннера-Уайтхуса) в качестве референтных значений. Методом парных сравнений анализировали два типа внутригрупповой изменчивости толщины «сэндвичей»: для выявления различий между измерителями при измерениях устройствами одного типа (один калипер, разные измерители) и между калиперами одного типа при измерениях одним исследователем (один измеритель, разные калиперы). Сравнение результатов измерений жировых складок проводили для суммарной толщины четырёх складок.

Воспроизводимость результатов измерений металлического эталона и «сэндвичей» из силиконовой резины оценивали путём сравнения выборочных стандартных отклонений и коэффициентов вариации. Воспроизводимость результатов измерений жировых складок оценивали на осно-

ве расчёта индивидуальной технической ошибки измерений (technical error of measurements, TEM) для каждого измерителя, типа калипера и жировой складки по формуле:

$$TEM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\sum_{j=1}^K M_{ij}^2 - (\sum_{j=1}^K M_{ij})^2) / N(K-1)}$$

где  $M_{ij}$  – результат  $j$ -го измерения для  $i$ -го обследованного,  $N$  – количество обследованных,  $K$  – количество повторных измерений [Mueller et al., 1988; Ulijaszek, Kerr, 1999]. По той же формуле для каждого типа калипера определяли межиндивидуальную ошибку измерений  $TEM_m$  (где  $M_{ij}$  – результат измерения  $i$ -го обследованного  $j$ -м измерителем, а  $K$  – количество измерителей). Суммарную техническую ошибку измерений  $\Sigma TEM$  для каждого типа калипера вычисляли по формуле:

$$\Sigma TEM = \sqrt{(\sum_{i=1}^K TEM_i^2 / K) + TEM_m^2}$$

где  $TEM_i$  – техническая ошибка измерений для  $i$ -го измерителя, а  $K$  – количество измерителей. Для определения доли межиндивидуальной вариации данных (выборочной дисперсии), не связанной с ошибками измерений, рассчитывали коэффициент надёжности (coefficient of reliability)  $R$  по формуле:  $R = 1 - (\Sigma TEM^2 / S^2)$ ,

где  $S$  – выборочное стандартное отклонение. Оценки  $TEM$ ,  $TEM_m$ ,  $\Sigma TEM$  и  $R$  для четырёх жировых складок усредняли и сопоставляли с референтными значениями [Ulijaszek, Kerr, 1999].

На основе характеристики точности, воспроизводимости результатов измерений и ряда других факторов, таких как удобство считывания информации, эргономичность дизайна и соотношение цена-качество, получали субъективную сравнительную количественную оценку калиперов по 10-балльной шкале.



## Результаты

### *Измерения металлического эталона*

Все использованные металлические калиперы (Вереск, GPM, Lange) при измерениях металлического эталона обеспечивали хорошо воспроизводимые результаты: выборочное стандартное отклонение (S), как правило, не превышало 0,1–0,2 мм (табл. 3). Пластиковые калиперы характеризовались, в среднем, более низкой воспроизводимостью (стандартное отклонение в пределах 0,3–0,5 мм). Для обоих типов калиперов выборочные стандартные отклонения мало зависели от толщины измеряемого образца, а коэффициент вариации (V) с увеличением толщины образца уменьшался.

Минимальные, но, как правило, значимые (ввиду высокой воспроизводимости результатов измерений) отклонения выборочных средних от должных значений наблюдались для калиперов GPM (в пределах 0,2–0,3 мм) (табл. 3). Один из двух калиперов Lange (L1) значимо занижал, а другой (L2) завышал толщину эталона (отклонения до –0,5 и +1,0 мм соответственно). Максимальные отклонения от должных значений среди металлических калиперов наблюдались для калипера Вереск: в зависимости от толщины измеряемого образца, показания калипера были завышены, в среднем, на 0,6–2,1 мм. Пластиковый калипер КЭЦ-100 давал завышенные результаты для трёх значений толщины образца (значимые различия в пределах 0,4–1,3 мм). В случае калипера FatTrack II значимые различия с эталоном отсутствовали, а при толщине измеряемого образца 20 и 30 мм результаты оказались точны (имели нулевой разброс). Для калиперов GPM и FatTrack II абсолютная погрешность измерений металлического эталона не зависела от толщины измеряемого образца, а для калиперов Вереск, Lange и КЭЦ-100 росла с толщиной образца (табл. 3).

### *Измерения «сэндвичей» из силиконовой резины*

Воспроизводимость результатов измерений «сэндвичей» из силиконовой резины металлическими калиперами была много выше, чем пластиковыми калиперами (табл. 4): средние стандартные отклонения и коэффициенты вариации при измерениях металлическими калиперами были втрое меньше. В случае металлических калиперов с увеличением толщины «сэндвича» средние стандартные отклонения монотонно росли, а в случае пластиковых калиперов изменялись менее регулярно. Средние коэффициенты вариации с увеличением толщины «сэндвича» снижались: для металлических калиперов – с 3,2% до 0,9%, а для пластиковых калиперов – с 10,3% до 3,0%.

Из таблицы 4 видно, что в случае металлических калиперов внутригрупповые различия толщины «сэндвичей» для устройств одного типа были много меньше, чем межгрупповые различия (между типами калиперов). На этом основании результаты измерений калиперами одного типа были объединены. Средние измеренные значения толщины «сэндвичей» калиперами Lange были значимо выше, чем калиперами GPM (на 2,5 мм), а калиперами Вереск – чем калиперами Lange (на 1,5 мм) (рис. 2). В сравнении с калиперами GPM, калиперы Вереск завышали толщину «сэндвичей», в среднем, на 4,1 мм. Один из калиперов Вереск (B3) существенно отличался результатами измерений от двух других (B1 и B2) в сторону увеличения (табл. 4). После исключения данных калипера B3 значимость различий сохранялась (средние различия с калиперами Lange составили 1,1 мм, а с калиперами GPM – 3,6 мм). Различия средних для калиперов Lange и GPM, а также Вереск и GPM, росли в диапазоне значений толщины «сэндвича» от 10 до 30 мм и далее стабилизировались. Различия калиперов Вереск и Lange мало зависели от толщины измеряемого образца.

Пластиковые калиперы КЭЦ-100 значимо завышали толщину «сэндвичей» в сравнении с FatTrack II (в среднем, на 4,0 мм). Выборочные средние для калиперов FatTrack II были близки к таковым для калиперов GPM. Для калиперов КЭЦ-100 и Вереск определялись небольшие, но значимые различия для каждого размера «сэндвичей» (за исключением толщины 10 мм).

Анализ внутригрупповой изменчивости результатов измерений толщины «сэндвичей» для выявления различий между измерителями при измерениях устройствами одного типа (один калипер, разные измерители) выявил следующие особенности:

- на устройствах GPM (всего три калипера и два измерителя) 11 из 12 парных сравнений значимых различий не выявили;
- на устройствах Lange (всего два калипера и два измерителя) были выявлены значимые различия в 4-х из 10 случаев (при толщине «сэндвича» 40 и 50 мм);
- на устройстве Вереск (B1) (один калипер и два измерителя) значимые различия были выявлены в двух случаях из 5: при низкой (10 мм) и высокой (50 мм) толщине «сэндвича»;
- на устройстве КЭЦ-100 (K1) (один калипер и два измерителя) значимые различия были выявлены в двух случаях из 5: при толщине «сэндвича» 10 и 20 мм;
- на устройстве FatTrack II (один калипер и 4 измерителя) в 24 случаях из 30 наблюдались значимые различия, при этом 5 из 6 случаев

**Таблица 3. Измерения металлического эталона: средние арифметические значения (M, мм), стандартные отклонения (S, мм) и коэффициенты вариации (V, %) для серий из 10 измерений**

Калипер	Толщина измеряемого образца, мм											
	10			20			30			50		
	M	S	V	M	S	V	M	S	V	M	S	V
<i>Металлические калиперы</i>												
Вереск (B1)	10,6*	0,1	1,2	20,9*	0,1	0,6	31,2*	0,1	0,3	52,1*	0,1	0,2
GPM (G1)	9,7*	0,1	0,8	19,8*	0,1	0,5	29,8*	0,0	0,1	-	-	-
GPM (G2)	9,9*	0,1	0,8	19,8*	0,2	0,8	29,9*	0,2	0,5	-	-	-
GPM (G3)	10,0	0,1	0,7	20,0	0,1	0,4	30,2*	0,1	0,2	-	-	-
Lange (L1)	9,9*	0,1	0,7	19,8*	0,2	0,5	29,5*	0,1	0,2	49,6*	0,1	0,3
Lange (L2)	10,2*	0,2	2,2	20,4*	0,3	1,3	30,7*	0,2	0,7	51,0*	0,0	0,0
Среднее		<b>0,1</b>	<b>1,1</b>		<b>0,2</b>	<b>0,7</b>		<b>0,1</b>	<b>0,3</b>		<b>0,1</b>	<b>0,2</b>
<i>Пластиковые калиперы</i>												
КЭЦ-100 (K1)	10,9*	0,3	2,9	20,3	0,5	2,4	30,4*	0,5	1,7	51,3*	0,5	0,9
FatTrack II (F)	10,2	0,4	4,1	20,0	0,0	0,0	30,0	0,0	0,0	50,3	0,5	1,0
Среднее		<b>0,4</b>	<b>3,5</b>		<b>0,3</b>	<b>1,2</b>		<b>0,3</b>	<b>0,9</b>		<b>0,5</b>	<b>1,0</b>

Примечания. \* – Значимые различия по сравнению с должным значением (на основе 95% доверительных интервалов). Полуужирным шрифтом выделены средние значения стандартных отклонений и коэффициентов вариации для металлических и пластиковых калиперов, соответственно.

отсутствия значимых различий имели место для одной пары специалистов (АВА и ЛВЗ).

В целом, для металлических калиперов большинство парных сравнений (20 из 27) не выявили значимых различий между измерителями. Напротив, для пластиковых калиперов в большинстве случаев (26 из 35 парных сравнений) были установлены значимые различия между измерителями.

Анализ внутригрупповой изменчивости результатов измерений толщины «сэндвичей» для выявления различий между калиперами одного типа при измерениях одним исследователем (один измеритель, разные калиперы) выявил следующие особенности:

- в случае калиперов GPM (всего два измерителя и три калипера) два из них (G1 и G2) в 7 случаях из 8 дали близкие результаты (различия не значимы), а для третьего (G3) выборочные средние были значимо ниже, чем для G1 и G2;
- калиперы Lange (L1 и L2) (всего два измерителя и два калипера) дали близкие результаты в 4-х случаях из 10 (при небольшой толщине «сэндвича»), а в остальных случаях были установлены значимые различия;
- в случае калиперов Вереск (один измеритель и три калипера) два из них (B1 и B2) дали близкие результаты (различия не значимы), а для третьего (B3) выборочные средние были значимо выше по сравнению с B1 и B2;
- выявлена сходная структура значимости парных различий выборочных средних для двух измерителей (13 из 17 совпадений).

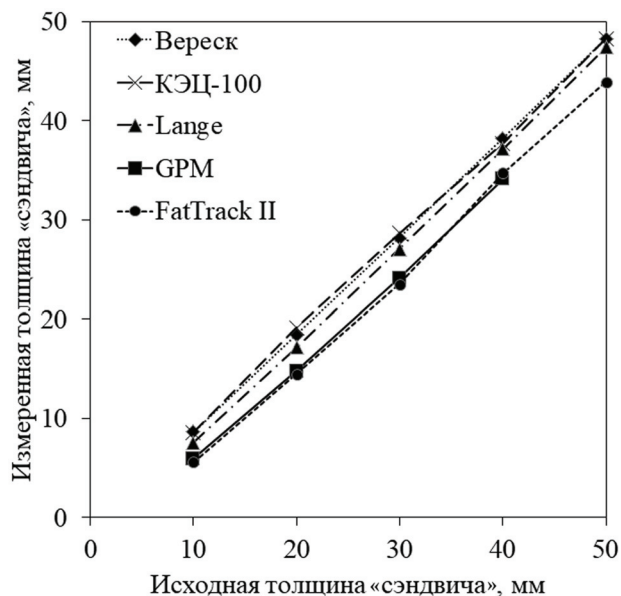


Рис. 2. Средняя измеренная толщина «сэндвичей» в зависимости от их исходной толщины для различных типов калиперов (в порядке убывания результата): Вереск (◆), КЭЦ-100 (×), Lange (▲), GPM (■), FatTrack II (●)

Таблица 4. Измерения «сэндвичей» из силиконовой резины: средние арифметические значения (М, мм), стандартные отклонения (S, мм) и коэффициенты вариации (V, %) для серий из 10 измерений

Калипер	Измеритель	Исходная толщина (до сжатия), мм														
		10			20			30			40			50		
		Измеренная толщина (после сжатия), мм														
		M	S	V	M	S	V	M	S	V	M	S	V	M	S	V
<i>Металлические калиперы</i>																
B1	АВА	8,4	0,2	2,2	18,4	0,2	1,2	28,0	0,3	0,9	37,9	0,3	0,7	48,4	0,5	1,0
B1	ЛВЗ	8,5	0,2	2,6	18,4	0,3	1,4	27,9	0,4	1,3	37,8	0,4	1,1	48,0	0,4	0,8
B1	ЛВС	8,7	0,2	2,0	18,5	0,3	1,4	28,5	0,2	0,8	38,5	0,3	0,7	48,5	0,5	0,9
B2	ЛВС	8,9	0,2	2,3	18,5	0,2	1,1	28,3	0,7	2,6	38,8	0,5	1,2	48,3	0,4	0,8
B3	ЛВС	10,7	0,6	5,6	20,5	0,5	2,6	30,3	0,5	1,5	40,3	0,6	1,5	50,1	0,5	1,1
G1	АВА	6,1	0,1	2,4	15,0	0,3	1,3	24,4	0,3	0,2	34,3	0,2	0,6	-	-	-
G1	ЛВЗ	6,1	0,1	1,6	14,9	0,2	1,1	24,3	0,3	1,4	34,3	0,3	1,0	-	-	-
G2	АВА	6,2	0,1	2,3	14,9	0,2	1,4	24,4	0,3	1,3	34,6	0,4	1,0	-	-	-
G2	ЛВЗ	6,1	0,1	2,2	15,0	0,3	1,7	24,2	0,2	0,9	34,3	0,3	0,9	-	-	-
G3	АВА	5,6	0,2	3,8	14,5	0,2	1,2	23,8	0,4	1,5	33,7	0,4	1,1	-	-	-
G3	ЛВЗ	5,4	0,1	2,5	14,4	0,2	1,1	23,6	0,3	1,0	33,6	0,5	1,4	-	-	-
L1	АВА	7,4	0,5	7,0	17,1	0,2	0,9	27,0	0,0	0,0	37,1	0,3	0,8	47,3	0,4	0,9
L1	ЛВЗ	7,5	0,3	4,4	17,1	0,3	1,8	26,9	0,2	0,8	36,6	0,4	1,0	46,9	0,3	0,7
L2	АВА	7,6	0,3	3,8	17,3	0,4	2,0	27,3	0,3	1,0	37,7	0,4	1,1	48,1	0,3	0,7
L2	ЛВЗ	7,8	0,3	3,4	17,2	0,2	1,4	27,1	0,3	1,2	37,2	0,3	0,7	47,5	0,4	0,9
Среднее			<b>0,2</b>	<b>3,2</b>		<b>0,3</b>	<b>1,4</b>		<b>0,3</b>	<b>1,1</b>		<b>0,4</b>	<b>1,0</b>		<b>0,4</b>	<b>0,9</b>
<i>Пластиковые калиперы</i>																
K1	АВА	8,0	1,2	14,4	19,1	1,9	10,0	29,2	1,6	5,3	38,4	1,8	2,2	49,3	1,4	2,9
K1	ЛВЗ	9,8	0,6	6,5	21,0	0,0	0,0	29,8	0,6	2,1	38,8	1,0	2,7	49,6	0,8	1,7
K2	ЛВС	7,9	0,9	11,1	17,3	1,1	6,1	26,9	0,7	2,7	36,0	0,7	1,9	45,9	1,1	2,4
F	АВА	7,3	0,9	12,7	16,6	1,6	9,5	26,2	1,5	5,6	36,0	2,1	5,8	46,4	1,7	3,7
F	АВМ	4,2	0,5	11,2	11,6	0,5	4,6	19,7	0,9	4,4	29,9	1,0	3,3	40,4	1,0	2,4
F	ЛВЗ	6,9	0,9	12,8	15,7	1,2	7,8	25,3	0,8	3,2	35,2	1,4	3,8	46,3	0,9	2,0
F	ССЛ	3,9	0,1	3,7	13,9	2,8	20,1	22,8	0,9	3,8	37,9	0,8	2,1	42,5	2,4	5,7
Среднее			<b>0,7</b>	<b>10,3</b>		<b>1,3</b>	<b>8,3</b>		<b>1,0</b>	<b>3,9</b>		<b>1,3</b>	<b>3,1</b>		<b>1,3</b>	<b>3,0</b>

Примечания. Условные обозначения калиперов см. в табл. 1. Полужирным шрифтом выделены средние значения стандартных отклонений и коэффициентов вариации для металлических и пластиковых калиперов, соответственно.

В целом, значимые различия между металлическими калиперами одного типа при измерениях одним исследователем были выявлены для большинства (34 из 49) парных сравнений. Как правило, абсолютные различия были невелики на фоне высокой воспроизводимости результатов (табл. 4). Измерений несколькими пластиковыми калиперами одного типа одним измерителем в настоящем исследовании не проводилось.

#### *Измерения жировых складок*

В таблице 5 представлены данные о суммарной толщине четырёх жировых складок – под лопаткой, на трицепсе, над гребнем подвздошной кости и на голени – для 11 обследованных при измерениях, выполненных разными специалистами

с использованием нескольких типов калиперов. (При суммировании для каждой складки было взято среднее арифметическое из трёх измерений.) Для каждого калипера были выявлены значимые внутригрупповые различия между измерителями (табл. 5). Размах значений внутригрупповых различий выборочных средних для металлических калиперов (3,9–6,3 мм) был значительно меньше, чем для пластиковых калиперов (7,9 и 11,5 мм).

При объединении данных в соответствии с типом калиперов парные сравнения не выявили значимых различий выборочных средних суммарной толщины складок для калиперов GPM (G1, G3) и FatTrack II (табл. 5). Выборочные средние для других типов калиперов (Lange, Вереск, КЭЦ-100) значимо отличались как между собой, так и от средних для калиперов GPM и FatTrack II. Мак-

симальные различия с калиперами GPM наблюдались для калипера Вереск (11,6–11,9 мм). Далее, в порядке убывания различий, следовали калиперы Lange (8,4–8,7 мм) и КЭЦ-100 (5,2–5,5 мм). Описанная структура значимости различий между калиперами сохранялась и для каждого измерителя в отдельности за исключением четырёх парных сравнений: калиперов GPM (G1, G3) и FatTrack II с калипером КЭЦ-100 для исследователя ЛВЗ, а также калипера FatTrack II с калипером КЭЦ-100 для исследователя АВА.

Сравнительная оценка воспроизводимости результатов измерений жировых складок для различных типов калиперов и измерителей в терминах технических ошибок измерений и коэффициента надёжности представлена в таблице 6. Индивидуальная техническая ошибка  $TEM_i$  варьировала от специалиста к специалисту. Меньшие средние значения индивидуальной ошибки наблюдались для металлических калиперов, в особенности для калиперов GPM (от 0,69 до 1,05 мм). Кроме того, данные калиперов GPM для различных жировых складок, как правило, характеризовались меньшим разбросом индивидуальной технической ошибки для различных измерителей. Большие средние значения индивидуальной ошибки наблюдались для пластиковых калиперов, в особенности для калипера КЭЦ-100 (от 1,54 до 2,67 мм). Тем не менее, данные специалиста АВМ для пластикового калипера FatTrack II отличались минимальной индивидуальной ошибкой (от 0,53 до 0,83 мм). Наименьшими средними значениями межиндивидуальной ошибки  $TEM_m$  (1,40 и 1,42 мм) и суммарной ошибки  $\Sigma TEM$  (1,62 и 1,73 мм) характеризовались калиперы GPM (G1, G3), а наибольшими значениями (2,71 и 3,54 мм) – калипер КЭЦ-100. Пластиковый калипер FatTrack II по величине суммарной технической ошибки был близок к металлическим калиперам Lange и Вереск (табл. 6). Металлические калиперы в сравнении с пластиковыми калиперами отличались повышенными средними коэффициентами надёжности  $R$  (0,90–0,94, максимум соответствовал калиперу GPM). Для рассмотренных жировых складок коэффициенты надёжности измерений металлическими калиперами были, как правило, выше, чем пластиковыми калиперами. Наименьшее среднее значение коэффициента надёжности (0,80) соответствовало калиперу КЭЦ-100.

### Обсуждение результатов

Наряду с профессиональным оборудованием для измерения жировых складок, традиционно

используемым при получении референтных антропометрических данных (калиперы Harpenden, Holtain и Lange, см. выше), выпускаются другие типы калиперов. Различия конструкции и технических характеристик калиперов и наблюдаемые межгрупповые различия результатов измерений обусловили значимость проблемы сопоставимости данных, получаемых калиперами разных типов [Schmidt, Carter, 1990; Gore et al., 1995]. В работе приведены результаты сравнения пяти типов калиперов (Вереск, КЭЦ-100, FatTrack II, GPM и Lange), два из которых произведены в России.

Как уже отмечалось выше, для выявления различий между калиперами исследование проводили в три этапа. Сначала анализировали статические свойства калиперов, не зависящие от качества динамической калибровки, а именно, их способность точно определять известные линейные размеры (на примере металлического эталона). Затем сопоставляли компрессионные (динамические) свойства калиперов путём измерений «сэндвичей» из мягкой силиконовой резины kSil™ GP250 (Silicone Engineering, Великобритания), имитирующей свойства подкожно-жирового слоя. (Материал «сэндвичей» был однороден и обладал изотропией, поэтому влияние различий техники измерений было сведено к минимуму.) И, наконец, сравнение калиперов проводилось на основе измерения жировых складок с учётом различий между измерителями.

В отличие от образцов губчатой резины, использованных для проверки качества динамической калибровки калиперов в других работах [Schmidt, Carter, 1990; Gore et al., 1995], пластины из силиконовой резины kSil™ GP250 имели одинаковую толщину по всей площади поверхности. Они полностью восстанавливали форму при многократных повторных измерениях в одном и том же участке и, таким образом, отсутствовал эффект истончения, наблюдаемый при измерениях жировых складок [Keys, Brozek, 1953]. Аналогичный материал применялся для имитации подкожно-жирового слоя при разработке конструкции руки антропоморфного робота [Controzzi et al., 2014]. По мнению авторов указанной работы, а также наших экспертов (ЛВЗ, ЛВС), сжимаемость данного материала (твёрдость по Шору 5А) была несколько меньше, чем типичной кожно-жировой складки. Более близкого по свойствам готового материала для проведения эксперимента нам найти не удалось. В связи с этим, а также ввиду слоистой структуры «сэндвичей», при большом размере «сэндвичей» их измеренная толщина мало отличалась от исходной толщины. Однако в целом, как показали результаты исследования, для выявления различий компрессионных свойств калиперов данный материал оказался вполне пригоден (табл. 4 и рис. 2).

**Таблица 5. Измерения жировых складок: суммарная толщина складок под лопаткой, на трицепсе, над подвздошным гребнем и на голени (мм) для 11 обследованных в зависимости от типа калипера и измерителя**

№ п/п	Калипер																	
	Вереск (В1)			GPM (G1)			GPM (G3)			Lange (L2)			КЭЦ-100 (К1)			FatTrack II (F)		
	АВА	АВМ	ЛВЗ	АВА	АВМ	ЛВЗ	АВА	АВМ	ЛВЗ	АВА	АВМ	ЛВЗ	АВА	АВМ	ЛВЗ	АВА	АВМ	ЛВЗ
1	52,6	51,8	55,2	41,7	43,6	40,3	40,4	43,2	39,3	51,2	51,7	46,3	59,7	61,3	40,3	43,6	41,0	34,9
2	118,4	106,6	111,2	101,7	91,4	92,1	105,5	94,0	89,2	125,7	105,7	107,0	122,7	116,0	102,7	103,1	84,0	86,5
3	67,8	66,7	74,0	56,1	54,8	56,2	58,7	56,8	53,1	66,7	67,7	65,2	66,3	64,3	56,0	60,2	51,3	56,9
4	114,9	107,7	109,3	99,2	91,6	89,6	98,5	97,4	90,2	112,8	109,7	99,2	101,7	106,3	81,0	100,2	83,8	90,6
5	61,6	64,1	63,6	52,9	52,5	45,9	52,7	53,6	46,9	64,7	62,7	55,2	55,0	68,0	41,7	51,8	49,0	41,3
6	38,6	45,0	44,5	33,1	35,8	27,3	31,7	36,4	27,9	40,3	39,3	34,3	30,0	42,7	17,0	36,9	32,4	30,1
7	35,2	31,7	38,5	24,9	24,8	24,1	26,3	23,0	24,6	33,7	27,6	30,2	24,0	29,7	19,0	29,2	21,1	22,1
8	50,3	49,8	52,7	40,4	41,5	33,6	40,6	41,8	34,8	49,8	50,7	43,3	44,7	51,7	50,0	45,2	38,4	35,9
9	22,3	22,2	23,0	17,6	18,5	16,9	17,6	18,3	17,4	20,5	18,3	20,5	18,3	18,0	19,3	18,0	17,1	17,0
10	28,4	28,6	31,3	21,9	23,6	19,1	21,0	22,8	20,5	25,3	26,0	24,2	20,3	23,0	21,0	25,6	19,9	19,9
11	49,1	43,8	57,8	38,2	39,0	35,0	36,5	39,6	34,3	49,5	43,0	45,0	41,7	42,7	48,7	46,2	34,6	39,8
Среднее (SEM)	58,1 (9,6)	56,2* (8,6)	60,1 (8,7)	48,0* (8,6)	47,0* (7,5)	43,6 (7,8)	48,1* (8,9)	47,9* (8,0)	43,5 (7,6)	58,2* (10,1)	54,8 (9,1)	51,9 (8,6)	53,1* (10,1)	56,7* (9,5)	45,2 (8,3)	50,9** (8,4)	43,0 (7,0)	43,2 (7,6)
Общее среднее	<b>58,1***</b>			<b>46,2</b>			<b>46,5</b>			<b>54,9***</b>			<b>51,7***</b>			<b>45,7</b>		

Примечания. SEM – стандартная ошибка среднего. \* – Значимые внутригрупповые различия (при измерениях тем же калипером) в сравнении с измерителем ЛВЗ,  $p < 0,05$ . \*\* – Значимые внутригрупповые различия в сравнении с измерителями АВМ и ЛВЗ,  $p < 0,05$ . \*\*\* – Значимые межгрупповые различия калиперов Вереск, КЭЦ-100 и Lange между собой и с калиперами GPM и FatTrack II,  $p < 0,05$ . Полушириным шрифтом выделены средние значения по всем измерителям для рассматриваемого типа калипера.

**Таблица 6. Технические ошибки измерений (мм) и коэффициенты надёжности в зависимости от типа калипера и измерителя для четырёх жировых складок**

Параметр	Калипер																	
	Вереск (B1)			GPM (G1)			GPM (G3)			Lange (L2)			КЭЦ-100 (K1)			FatTrack II (F)		
	АВА	АВМ	ЛВЗ	АВА	АВМ	ЛВЗ	АВА	АВМ	ЛВЗ	АВА	АВМ	ЛВЗ	АВА	АВМ	ЛВЗ	АВА	АВМ	ЛВЗ
<i>Жировая складка под лопаткой</i>																		
TEM <sub>i</sub>	1,13	1,66	0,92	0,79	0,76	0,72	0,96	0,57	0,70	1,21	1,08	1,24	1,17	1,18	3,40	1,73	0,53	1,24
TEM <sub>м</sub>	1,46			1,16			0,84			1,10			1,29			1,61		
ΣTEM	1,93			1,38			1,13			1,61			2,54			2,05		
R	0,92			0,95			0,96			0,94			0,86			0,89		
<i>Жировая складка над трицепсом</i>																		
TEM <sub>i</sub>	0,93	1,90	0,87	0,53	0,68	0,42	1,01	0,67	0,88	1,95	1,06	1,11	1,72	1,60	1,36	1,58	0,83	1,65
TEM <sub>м</sub>	1,38			1,99			1,99			2,61			3,72			1,74		
ΣTEM	1,91			2,07			2,17			2,98			4,03			2,24		
R	0,95			0,93			0,93			0,88			0,80			0,90		
<i>Жировая складка над гребнем подвздошной кости</i>																		
TEM <sub>i</sub>	0,93	1,72	1,88	0,74	0,93	0,68	0,99	1,21	1,28	1,22	1,42	1,64	2,04	1,60	3,53	1,88	0,63	1,75
TEM <sub>м</sub>	2,07			1,24			1,43			2,61			2,78			2,34		
ΣTEM	2,60			1,47			1,85			2,98			3,76			2,79		
R	0,88			0,95			0,92			0,86			0,78			0,81		
<i>Жировая складка на голени</i>																		
TEM <sub>i</sub>	0,99	1,85	1,54	1,32	0,53	0,95	1,24	1,10	0,96	1,26	1,77	1,48	2,63	1,78	2,39	2,11	0,82	1,48
TEM <sub>м</sub>	1,86			1,19			1,40			1,86			3,06			1,73		
ΣTEM	2,39			1,54			1,78			2,40			3,83			2,33		
R	0,89			0,94			0,94			0,91			0,77			0,86		
<i>Средние значения (по четырём жировым складкам)</i>																		
TEM <sub>i</sub>	1,00	1,78	1,30	0,85	0,73	0,69	1,05	0,89	0,96	1,41	1,33	1,37	1,89	1,54	2,67	1,83	0,70	1,53
TEM <sub>м</sub>	1,69			1,40			1,42			2,05			2,71			1,86		
ΣTEM	2,21			1,62			1,73			2,49			3,54			2,35		
R	0,91			0,94			0,94			0,90			0,80			0,87		

Примечания. TEM<sub>i</sub> – индивидуальная техническая ошибка; TEM<sub>м</sub> – межиндивидуальная техническая ошибка; ΣTEM – суммарная техническая ошибка; R – коэффициент надёжности.

Металлические калиперы Вереск, GPM и Lange характеризовались более высокой, а пластиковые калиперы КЭЦ-100 и FatTrack II сниженной воспроизводимостью результатов измерений. При повторных измерениях эталона и «сэндвичей» из силиконовой резины металлическими калиперами стандартные отклонения и коэффициенты вариации оказались, в среднем, втрое меньше, чем при измерениях пластиковыми калиперами (табл. 3, 4). Это согласуется с данными о 3-кратных различиях коэффициентов вариации давления, оказываемого на складку, при измерениях металлическими и пластиковыми калиперами [Léger et al., 1982]. Стандартными характеристиками воспроизводимости данных антропометрии являются технические ошибки измерений и коэф-

фициент надёжности. При измерениях жировых складок наименьшей суммарной технической ошибкой (и наибольшим коэффициентом надёжности) отличался калипер GPM, а наибольшей ошибкой (и наименьшим коэффициентом надёжности) – калипер КЭЦ-100 (табл. 6).

Средние (по совокупности четырёх жировых складок) значения индивидуальной технической ошибки для калипера GPM (от 0,69 до 1,05 мм, см. табл. 6) соответствовали данным других работ: в среднем, порядка 0,84–1,26 мм, в зависимости от локализации складки [Uljaszek, Kerr, 1999]. Для пластиковых калиперов (в особенности для КЭЦ-100) средние значения индивидуальной ошибки, как правило, превышали типичные значения. Тем не менее, данные исследователя

АВМ для пластикового калипера FatTrack II характеризовались приемлемым значением индивидуальной ошибки (0,70 мм), что, по нашему мнению, отражает индивидуальный опыт повседневного использования этого устройства и, одновременно, возможности хорошо обученного измерителя. Суммарные технические ошибки для калипера GPM (1,62 мм и 1,73 мм) были близки к среднему значению по литературным данным, равному 1,52 мм [Ulijaszek, Kerr, 1999], а для других типов калиперов были много выше (для калипера КЭЦ-100 – более чем в два раза). Средние значения коэффициента надёжности  $R$  для металлических калиперов (0,90–0,94) соответствовали, а для пластиковых калиперов были ниже (0,87 для FatTrack II и 0,80 для КЭЦ-100) типичных значений: от 0,88 до 0,94 в зависимости от локализации складки [Ulijaszek, Kerr, 1999]. Из указанной работы также следует, что минимальный («экспертный») уровень индивидуальной технической ошибки при измерениях жировых складок составлял 0,1–0,4 мм и, таким образом, не достигался в нашем исследовании (табл. 6). Это связано с особенностями организации нашего эксперимента, ориентированного не только на сравнение воспроизводимости, но и точности измерений: трехкратное измерение жировой складки калипером производилось не подряд, а в ряду измерений пятью другими калиперами (см. раздел «Материалы и методы»). Вследствие этого значения индивидуальной ошибки могли быть увеличены из-за эффекта истончения складок. Кроме того, при проведении измерений жировых складок участки измерений не отмечались маркером, как это нередко практикуется для снижения погрешности измерений [Human biology, 1969; NHANES, 2007; Marfell-Jones et al., 2012]. Предполагалось, что небольшая естественная вариация выбора участка измерений позволит уменьшить эффект истончения складок<sup>8</sup>, так как за относительно короткий период времени измерений для первых трёх обследованных было выполнено по 54, а для остальных восьми – по 72 измерения каждой из четырёх жировых складок. В то же время, выбранная последовательность измерений давала возможность исследователю забывать результат предыдущего измерения складки тем же калипером. (Для имитации «слепого» метода запись результатов измерений велась ассистентом.) На наш взгляд, это приводило к более объективной оценке погрешности измерений.

<sup>8</sup> По нашим расчётам, в ходе измерений толщина кожно-жировых складок к моменту окончания эксперимента уменьшалась, в среднем, на 0,5–0,7 мм в зависимости от складки (данные не показаны).

Минимальной абсолютной ошибкой измерений металлического эталона характеризовались калиперы GPM и FatTrack II, а остальные калиперы (Вереск, КЭЦ-100 и, в меньшей степени, Lange) имели дефекты статической калибровки: погрешность измерений росла с увеличением размера измеряемого участка эталона. Для калипера Вереск (B1) относительная ошибка измерений эталона составила 4–6%, а абсолютная ошибка достигала 2,1 мм (при толщине измеряемого участка 50 мм).

Результаты измерений «сэндвичей» и жировых складок калипером FatTrack II были сопоставимы с калипером GPM (значимые различия отсутствовали), а остальные калиперы давали завышенные результаты. Максимальные различия с калипером GPM при измерениях «сэндвичей» из силиконовой резины наблюдались для калиперов Вереск и КЭЦ-100, а при измерениях жировых складок – для калиперов Вереск и Lange (в среднем, на 25% и 18%). Указанные различия многократно превышали размер дефекта статической калибровки, что свидетельствует о недостатке динамической калибровки калиперов.

Близость результатов, получаемых калиперами GPM и FatTrack II, согласуется с результатами исследования [Руднев с соавт., 2017], где показана условная применимость недавно предложенных регрессионных формул на основе биоимпедансометрии для оценки соматотипа по схеме Хит-Картера<sup>9</sup> в группе детей и подростков с онкологическими заболеваниями в состоянии ремиссии. При построении указанных формул использовались данные измерений калипером GPM [Anisimova et al., 2016], что соответствовало рекомендациям Л. Картера и Б. Хит [Carter, Heath, 1990; Carter, 2002], а у детей и подростков с онкологическими заболеваниями для расчёта соматотипа использовались данные измерений калипером FatTrack II. И, следовательно, было выполнено необходимое условие применимости формул – сравнимость калиперов [Norton et al., 2004].

Несмотря на отсутствие значимых различий выборочных средних для калиперов GPM и FatTrack II, более низкая воспроизводимость результатов измерений калипером FatTrack II и, в частности, меньший коэффициент надёжности измерений (табл. 4 и 6), могут означать потенциальные трудности интерпретации небольших изменений жиросложения и состава тела при осуществлении мониторинга.

<sup>9</sup> Указанные формулы были построены по данным для 2364 этнически русских детей и подростков школьного возраста из Москвы, Архангельска и Архангельской области [Anisimova et al., 2016], а затем несколько видоизменены и уточнены на расширенной выборке [Колесников с соавт., 2016].

Калипер Вереск значительно завышал толщину складок в сравнении с GPM. Таким образом, подтвердилось предположение, высказанное в работе Л.В. Синдеевой и С.Г. Руднева [Синдеева, Руднев, 2017] о причине выявленного несоответствия биоимпедансных оценок соматотипа по формулам А.В. Анисимовой и соавторов [Anisimova et al., 2016] расчётным антропометрическим значениям в подгруппе 16–17-летних этнически русских подростков и лиц юношеского возраста – жителей Восточной Сибири. При соматотипировании по схеме Хит-Картера в указанной выборке использовались данные измерений калипером Вереск. И, следовательно, не выполнялось необходимое условие применимости формул – сравнимость калиперов (см. выше).

Ввиду использования калиперов GPM (Таннера-Уайтхауса) и Вереск в российских антропологических исследованиях (первый чаще применяется на территории Европейской части России, а второй – в ряде регионов Восточной и Западной Сибири), на основе сравнения средних значений четырёх жировых складок, измеренных калиперами Вереск (B1) и GPM (G1) тремя исследователями у 11 добровольцев нами получены следующие формулы пересчёта между калиперами:

Для мужчин:  $y = 0,73x + 0,34$  ( $R^2=0,83$ ;  $SEE=1,48$  мм);

Для женщин:  $y = 0,86x - 0,60$  ( $R^2=0,94$ ;  $SEE=1,68$  мм),

где  $x$  – результат измерений жировой складки калипером Вереск (мм),  $y$  – соответствующий прогноз для калипера GPM (мм),  $R^2$  – коэффициент детерминации, а  $SEE$  – стандартная ошибка регрессии. Коэффициент детерминации для подгруппы мужчин, где преобладали квалифицированные представители различных видов спорта, был несколько ниже, чем для женщин. Из-за ограниченного размера выборки формулы построены для «обобщённой складки» (независимо от её локализации). Необходимо иметь в виду, что формулы пересчёта получены по данным измерений калипером Вереск (B1), бывшим в употреблении и часто использовании качество динамической калибровки калипера Вереск может снижаться (табл. 1 и 4). Поэтому, а также ввиду малого размера выборки, полученные формулы следует применять с осторожностью. Более подробное сравнение не входило в задачи данного исследования.

Построенные формулы пересчёта в применении к вышеуказанной работе [Синдеева, Руднев, 2017] дают поправку в оценку соматотипа по схеме Хит-Картера в подгруппе 16–17-летних подростков и лиц юношеского возраста в виде снижения балла эндоморфии, в среднем, на 0,85 у юношей и на 0,64 у девушек. Для сравнения, биоимпедан-

сные оценки балла эндоморфии у юношей 17 лет были, в среднем, на 0,42, а у девушек 16-17 лет – на 1,30 ниже антропометрических оценок с использованием калипера Вереск [Синдеева, Руднев, 2017]. Ввиду того, что исходные данные были получены калипером В3 (Л.В. Синдеева, частное сообщение), еще больше завышающим толщину складок в сравнении с B1 (см. табл. 4 и обсуждение выше), можно предположить, что наблюдаемое несоответствие расчётных формул антропометрии и биоимпедансометрии объясняется не биологическими различиями популяций, а особенностями измерительного оборудования.

Массовый сбор данных калиперометрии в России осуществляется на базе центров здоровья с использованием пластиковых калиперов КЭЦ-100. Из рассмотренных типов калиперов данное устройство отличалось самой низкой воспроизводимостью результатов: коэффициент надёжности измерений составил 0,80 при рекомендуемом уровне 0,95 [Ulijaszek, Kerr, 1999]. Из трёх доступных новых калиперов КЭЦ-100 один имел заводской брак – контактные площадки в исходном положении браншей калипера не попадали друг на друга (!), а два других (K1 и K2) показали существенно разные результаты при измерениях «сэндвичей» из силиконовой резины (табл. 4). Калипер КЭЦ-100 (K1) сильно завышал толщину «сэндвичей» и жировых складок в сравнении с GPM. При этом, по словам измерителей, нередко приходилось «поджимать» бранши калипера КЭЦ-100 для удержания складки, прикладывая дополнительное усилие. Вероятно, поэтому ранговые места калиперов КЭЦ-100 и Lange при измерениях «сэндвичей» и жировых складок, взятые в порядке сравнения средних, поменялись между собой (рис. 2 и табл. 5).

Таким образом, давление контактных площадок калипера КЭЦ-100 (K1) на складку было недостаточным. Сами площадки были плохо определены, недостаточно плоские и имели малый размер, на верхней бранше калипера контактная площадка состояла из двух составных частей, посередине площадки проходил выступающий шов, либо части стыковались неровно. Информация о давлении на складку, свойствах контактных площадок и возможности дополнительной динамической калибровки калипера в паспорте устройства отсутствовала, что указывало на недостаточное знакомство разработчиков с основными требованиями стандартизации измерений. В связи с изложенным, выбор в пользу калипера КЭЦ-100 при оснащении центров здоровья следует считать необоснованным.

Результаты исследования суммированы в таблице 7, где представлена обобщённая итоговая характеристика и субъективная количественная



**Таблица 7. Итоговая характеристика рассмотренных типов калиперов и их субъективная количественная оценка (по 10-балльной шкале)**

Калипер	Характеристика	Субъективная оценка, баллы
<i>Металлические</i>		
Вереск	Сравнительно высокая воспроизводимость результатов измерений. Низкое качество статической и динамической калибровки. Низкая точность измерений, завывает толщину складок в сравнении с референтными значениями.	5,8
GPM	Высокая воспроизводимость результатов измерений. Точность сопоставима с эталонной. Наименьшая суммарная техническая ошибка измерений, наибольший коэффициент надёжности.	8,9
Lange	Сравнительно высокая воспроизводимость результатов измерений. Недостатки статической калибровки. Завывает толщину складок в сравнении с референтными значениями.	7,0
<i>Пластиковые</i>		
КЭЦ-100	Низкая воспроизводимость, низкая точность измерений, конструктивные недостатки. Наибольшая суммарная техническая ошибка измерений, наименьший коэффициент надёжности.	2,1
FatTrack II	Сниженная воспроизводимость результатов измерений. Точность измерений сопоставима с калипером GPM.	6,2

оценка калиперов по 10-балльной шкале (по принципу «больше – лучше»), а в таблице 8 приведена структура указанной оценки.

Помимо описанных в разделе «Введение» основных требований стандартизации измерительного оборудования, влияющих на точность и воспроизводимость результатов измерений и необходимых для получения сопоставимых результатов [Edwards et al., 1955; Human biology, 1969], немаловажное значение придаётся дополнительным условиям, таким как удобство считывания информации и эргономичность дизайна [Camegon, 1978]. Эти и другие факторы (например, соотношение цена-качество) были учтены при построении субъективной количественной оценки калиперов. Определяющими факторами мы считали точность и воспроизводимость результатов измерений – критически важные свойства при проведении популяционных выборочных исследований.

Полученные нами результаты подтвердили предпочтительность выбора традиционно рекомендуемого оборудования: лучшими характеристиками обладал калипер GPM (Таннера-Уайтхауса), практически идентичный калиперу Holtain, служащему эталоном для измерения жировых складок. Калипер Lange давал завышенные результаты в сравнении с GPM, что согласуется с наблюдаемыми различиями калиперов Lange и Holtain [Zillikens, Conway, 1990; Gibson, 2005]. Калиперы GPM (G1, G2 и G3) показали близкие результаты независимо от сроков и интенсивности

эксплуатации, а все остальные калиперы давали либо сопоставимые с GPM (FatTrack II), либо завышенные результаты (Вереск, КЭЦ-100, Lange). При длительном использовании пружина калипера может только ослабнуть (а результаты – сдвинуться вверх). Поэтому при оценке точности инструментов данные измерений калиперами GPM считались референтными, несмотря на отсутствие возможности абсолютной динамической калибровки.

Из рассмотренных двух типов отечественных калиперов лучшими характеристиками обладал металлический калипер Вереск. На снижение его субъективной экспертной оценки, несмотря на сравнительно высокую воспроизводимость результатов измерений, повлияли низкое качество калибровки и отсутствие адекватной технической поддержки. При считывании информации пользоваться двойной шкалой измерений, на наш взгляд, было менее удобно. Преимуществом калипера Вереск перед другими типами калиперов является возможность измерения складок большого и сверхбольшого размеров (до 105 мм).

Качество статической калибровки калипера легко проверить с использованием металлического эталона. В случае расхождений измеренных и измеряемых значений толщины эталона в зависимости от задач исследования возможны следующие решения (см., например, [NutriActiva, 2017]):

- скорректировать результаты на величину поправки;

**Таблица 8. Структура субъективной количественной оценки калиперов на основе балльной оценки отдельных характеристик (по 10-балльной шкале)**

№ п/п	Характеристика калипера	Тип калипера				
		Вереск	GPM	Lange	КЭЦ-100	FatTrack II
1	Качество статической калибровки	1	9	6	2	8
2	Качество динамической калибровки	0	10	2	0	9
3	Воспроизводимость результатов измерений	8	10	8	3	4
4	Наличие сервисных центров с возможностью динамической калибровки	0	10	10	0	0
5	Качество контактной площадки	10	10	9	0	2
6	Удобство считывания информации	8	10	10	3	8
7	Цена деления/дискретность измерений	10	9	5	5	10
8	Эргономичность дизайна	8	10	8	1	10
9	Цена устройства	3	1	2	5	10
10	Срок службы, долговечность	10	10	10	2	1
	<b>Общая оценка (среднее)</b>	<b>5,8</b>	<b>8,9</b>	<b>7,0</b>	<b>2,1</b>	<b>6,2</b>

- использовать текущие результаты, при условии периодического контроля отсутствия изменений качества калибровки, если целью является индивидуальный мониторинг без дальнейшего обобщения данных;
- отправить калипер в сервисный центр или непосредственно производителю для регулировки точности измерений.

Третий вариант решения позволит надёжно контролировать качество не только статической, но и динамической калибровки. На сегодняшний день в России серийное производство и обслуживание металлических калиперов прекращено, сервисные центры зарубежных компаний отсутствуют, а отправка инструментов для обслуживания за рубеж не практикуется. В условиях недоступности абсолютной динамической калибровки при проведении антропологических исследований целесообразно использование стандартизованных имитаторов подкожно-жирового слоя для относительной динамической калибровки калиперов [Gore et al., 1995]. В нашем исследовании с этой целью применялись образцы мягкой силиконовой резины kSil™ GP250 (Silicone Engineering, Великобритания) с твёрдостью по Шору 5A. Вероятно, для большей реалистичности имеет смысл подобрать материал несколько меньшей твёрдости с аналогичными свойствами. Разработка таких материалов ведётся, в том числе, для синтетической анатомии и трансплантологии [Biomaterials, artificial organs... 2005; Nachman, Franklin, 2016; Trotta et al., 2017].

Несмотря на наличие отечественных методических работ [Чтецов, 1968; Лутовинова с соавт., 1970] и обширный зарубежный опыт, знание современного уровня стандартизации измерений кожно-жировых складок в России недостаточно

распространено. Например, в практическом руководстве по гигиене детей и подростков для студентов вузов наравне с традиционным калипером (GPM) рекомендуется использовать обычный скользящий циркуль, не имеющий пружины [Гигиена детей и подростков, 2012, с. 18]. К сожалению, такого рода ошибочная информация тиражируется и может вводить в заблуждение как врачей, так и разработчиков измерительного оборудования (см., например, [Жуков с соавт., 2015]). Любое инструментальное обследование должно преследовать определённую цель и, в частности, допускать возможность сравнения с референтными данными. В интересах качества медицинского образования подчеркнём, что использование скользящего циркуля для измерения кожно-жировых складок недопустимо, так как приводит к несопоставимым результатам. Исчерпывающее экспериментальное обоснование этого утверждения было дано в работах 60-летней давности [Keys, Brozek, 1953; Edwards et al., 1955] и позднее подтверждено отечественными авторами [Лутовинова с соавт., 1970] (см. раздел «Введение»).

Точность и воспроизводимость результатов измерений жировых складок зависят не только от типа калипера, но и от техники измерений. Развитие этого тезиса не входило в задачи исследования. Тем не менее, влияние упомянутого фактора заметно и в результатах нашей работы ввиду существенной вариации индивидуальных технических ошибок при измерениях калиперами одного типа (см. табл. 6), так как до проведения исследования каждому измерителю были хорошо знакомы лишь некоторые из использованных типов калиперов. В целом, это снова свидетельствует о важности стандартизации программ измерений и измерительного оборудования, организации обу-

чения и аккредитации специалистов в области антропометрии для получения сопоставимых данных.

При сравнении устройств для изучения вариаций подкожного жира мы ограничились характеристикой традиционного оборудования – калиперов. Не умаляя очевидной теоретической и практической значимости применения калиперометрии в биомедицинских исследованиях, отметим значительный прогресс, достигнутый в последние годы, в области разработки и внедрения новых методов, таких как ультразвуковое сканирование, преимуществом которого является возможность визуализации структуры тканей, а также измерения толщины не только подкожно-жирового слоя, но и висцерального жира и мышечной ткани [Wagner, 2013].

### Выводы

Проведённое исследование выявило преимущества использования традиционно рекомендуемых типов калиперов. Из пяти рассмотренных типов калиперов лучшими характеристиками обладал металлический калипер GPM (итоговая субъективная экспертная оценка 8,9 баллов из 10). Калипер Lange при сравнительно высокой воспроизводимости результатов превышал толщину складки (итоговая оценка 7,0 баллов). Пластиковый калипер FatTrack II был сравним по точности с GPM на фоне сниженной воспроизводимости результатов (итоговая оценка 6,2 балла). При сравнительно высокой повторяемости результатов, калипер Вереск отличался низким качеством статической и динамической калибровки (итоговая оценка 5,8 баллов). Худшими показателями (максимальная суммарная техническая ошибка, минимальный коэффициент надёжности измерений, низкое качество калибровки) отличался калипер КЭЦ-100 (итоговая оценка 2,1 балла), что ставит под серьёзное сомнение целесообразность его применения в центрах здоровья в рамках профилактического скрининга населения России, и в целом – в научной и практической работе.

Для обеспечения возможности сравнения с результатами других исследований описание данных калиперометрии должно включать:

- информацию о типе калипера и его соответствии требованиям стандартизации измерений (металлический/пластиковый; площадь контактных участков; характеристика давления, оказываемого на складку; дискретность измерений и др.);
- сведения о результатах сравнения использованного типа калипера с эталонным оборудованием;

- информацию о статической и динамической калибровке калипера;
- данные об уровне подготовки специалистов, производящих измерения, расчётные значения технических ошибок измерений и коэффициентов надёжности.

### Благодарности

Теоретическая часть исследования выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант №14-15-01085 для С.Г. Руднева). Экспериментальная часть исследования поддержана Российским научным фондом (грант №14-50-00029 для Е.З. Годиной) и Российским фондом фундаментальных исследований (грант №16-06-00439 для Л.В. Синдеевой, грант №16-06-00480 для Е.З. Годиной и грант №17-06-00721 для Л.В. Задорожной). Текст рукописи подготовлен авторами совместно. Авторы благодарят В.А. Бацевича, И.С. Решетникова и И.А. Хомякову за предоставленное оборудование для калиперометрии, а также всех добровольцев, принявших участие в исследовании.

### Библиография

- Антропология в медицине / Алексеева Т.И. (ред.) М.: МГУ, 1989. 246 с.
- Бунак В.В. Антропометрия. М.: Учпедгиз, 1941. 368 с.
- Васильева Е.С., Вашура А.Ю., Литвинов Д.В. Нутритивный статус детей с онкологическими и гематологическими заболеваниями, находящихся на лечении в ФГБУ «ФНКЦ ДГОИ им. Дмитрия Рогачёва» (результаты скринингового исследования) // Современная онкология, 2016. Т. 18. № 4. С. 48–52.
- Воронков А.В., Никулин И.Н., Жилина Л.В. Особенности силовой катоболической тренировки женщин первого периода зрелого возраста // Теория и практика физической культуры, 2013. № 1. С. 49–52.
- Воронов А.В., Лемешева Ю.С., Устюжанин Д.В. Определение объёма жировой ткани бедра у мужчин методом магнито-резонансной томографии // Физиология человека, 2009. Т. 35. № 3. С. 125–131.
- Гигиена детей и подростков: руководство к практическим занятиям / Кучма В.Р. (ред.) М.: ГЭОТАР-Медиа, 2012. 560 с.
- Година Е.З., Хомякова И.А., Задорожная Л.В., Анисимова А.В., Иванова Е.М., Пермякова Е.Ю., Свистунова Н.В., Степанова А.В., Гилярова О.А., Зубарева В.В. Ауксологические исследования на родине М.В. Ломоносова // Вестник Московского университета. Серия XXIII. Антропология, 2011. № 3. С. 68–99.
- Дорохов Р.Н., Чернова В.Н., Бубненко О.М. Характер распределения жировой массы тела лиц различного возраста мужского и женского пола // Учёные записки университета им. П.Ф. Лесгафта, 2015. № 9 (127). С. 91–96. DOI:10.5930/issn.1994-4683.2015.09.127.p91-96.

- Жуков С.В., Королюк Е.Г., Рыбакова М.В., Петров В.П., Щаблин О.В. Разработка устройства для оценки толщины кожной складки у ребёнка в условиях массового профилактического осмотра // *Инновации в науке*, 2015. № 41. С. 155–160.
- Иванова И.В., Чёрная Н.Л., Мамонтова О.К. Оценка жирового компонента массы тела школьников с помощью портативного полуавтоматического калипера // *Педиатрия. Журнал им. Г.Н. Сперанского*, 2011. Т. 93. № 3. С. 34–37.
- Койнов А.П. Влияние сомато-биологических особенностей жителей Среднего Приобья на развитие и течение болезней кожи: Автореф. дисс. ... д-ра мед. наук. Тюмень, 2015. 38 с.
- Колесников В.А., Руднев С.Г., Николаев Д.В., Анисимова А.В., Година Е.З. О новом протоколе оценки соматотипа по схеме Хит-Картера в программном обеспечении биоимпедансного анализатора состава тела // *Вестник Московского университета. Серия XXIII. Антропология*, 2016. № 4. С. 4–13.
- Лутовинова Н.Ю., Уткина М.И., Чтецов В.П. Методические проблемы изучения вариаций подкожного жира // *Вопросы антропологии*, 1970. Вып. 36. С. 32–54.
- Миклашевская Н.Н., Соловьёва В.С., Година Е.З. Рост-овые процессы у детей и подростков. М.: Изд-во МГУ, 1988. 184 с.
- Немцев О.Б., Элипханов С.Б., Доронина Н.В., Немцева Н.А. Морфологические особенности российских дзюдоистов лёгких и средних весовых категорий разной квалификации // *Учёные записки университета им. П.Ф. Лесгафта*, 2015. № 7(125). С. 141–145. DOI:10.5930/issn.1994-4683.2015.07.125.p141-145.
- Пермякова Е.Ю. Вариации развития подкожного жиротложения у девочек Москвы и Архангельска за последние 20 лет // *Вестник Московского университета. Серия XXIII. Антропология*, 2010. № 4. С. 70–75.
- Руднев С.Г., Цейтлин Г.Я., Вашура А.Ю., Лукина С.С., Румянцев А.Г. Соматотип детей и подростков с онкологическими заболеваниями в состоянии ремиссии и возможности его биоимпедансной оценки // *Педиатрия. Журнал им. Г.Н. Сперанского*, 2017. Т. 96. № 1. С. 186–193.
- Синдеева Л.В. Закономерности изменчивости состава тела и биологического возраста человека на примере населения Восточной Сибири: Автореф. дисс. ... д-ра мед. наук. Красноярск, 2014. 42 с.
- Синдеева Л.В., Руднев С.Г. Характеристика половозрастной изменчивости соматотипа по Хит-Картеру у взрослых людей и возможности его биоимпедансной оценки (на примере русского населения Восточной Сибири) // *Морфология*, 2017. Т. 151. № 1. С. 77–87.
- Совершаева С.Л., Ишекова Н.И., Соловьёва Н.А. Сравнительный анализ физиологической активности различных фитнес-программ в динамике оценки данных калиперометрии для коррекции избыточной массы тела у женщин // *Фундаментальные исследования*, 2014. № 9–11. С. 2489–2493.
- Соловьёва Н.А. Сравнительный анализ физической нагрузки различной направленности на антропометрические показатели у женщин разных возрастных групп с избыточной массой тела // *Успехи современного естествознания*, 2012. № 10. С. 43–47.
- Тутельян В.А., Гаппаров М.М.Г., Батулин А.К., Каганов Б.С. и др. Использование метода комплексной антропометрии в клинической практике для оценки физического развития и пищевого статуса здорового и больного человека: учебно-методическое пособие. М., 2008. 47 с.
- Чтецов В.П. Вариации подкожного жира // *Вопросы антропологии*, 1968. Вып. 30. С. 38–54.
- Штейнердт С.В. Морфофункциональное состояние и оптимизация врачебного контроля у студентов юношеского возраста: Автореф. дисс. ... канд. мед. наук. М., 2015. 23 с.
- Abdulrazzaq Y.M., Nagelkerke N., Moussa M.A. UAE population reference standard charts for body mass index and skinfold thickness, at ages 0–18 years // *Int. J. Food Sci. Nutr.*, 2011. Vol. 62. N 7. P. 692–702. DOI:10.3109/09637486.2011.567978.
- Ackland T.R., Lohman T.G., Sundgot-Borgen J., Maughan R.J., Meyer N.L., Stewart A.D., Muller W. Current status of body composition in sport // *Sports Medicine*, 2012. Vol. 42. N 3. P. 227–249. DOI:10.2165/11597140-000000000-00000.
- Addo O.Y., Himes J.H. Reference curves for triceps and subscapular skinfold thicknesses for US children and adolescents // *Am. J. Clin. Nutr.*, 2010. Vol. 91. N 3. P. 635–642. DOI:10.3945/ajcn.2009.28385.
- Anisimova A.V., Godina E.Z., Nikolaev D.V., Rudnev S.G. Evaluation of the Heath-Carter somatotype revisited: new bioimpedance equations for children and adolescents. IFMBE Proceedings. Vol. 54 / eds F. Simini, P. Bertemes-Filho. Singapore-Heidelberg: Springer, 2016. P. 80–83. DOI:10.1007/978-981-287-928-8\_21.
- Anthropometric standardization reference manual / Lohman T.G., Roche A.F., Martorell R. (eds.). Champaign, IL: Human Kinetics, 1988. 177 p.
- Best W.R. An improved caliper for measurement of skinfold thickness // *J. Lab. Clin. Med.*, 1954. Vol. 43. N 6. P. 967–970.
- Biomaterials, artificial organs and tissue engineering / Hench L.L., Jones J.R. (eds.). Cambridge: Woodhead Publishing, 2005. 300 p.
- Cameron N. Essential anthropometry: baseline anthropometric methods for human biologists in laboratory and field situations // *Am. J. Hum. Biol.*, 2013. Vol. 25. N 3. P. 291–299. DOI:10.1002/ajhb.22388.
- Cameron N. The methods of auxological anthropometry // *Human growth: postnatal growth* / F. Falkner et al. (eds.). N.Y.: Springer, 1978. Vol. 2. P. 35–90.
- Carlyon R.G., Bryant R.W., Gore C.J., Walker R.E. Apparatus for precision calibration of skinfold calipers // *Am. J. Hum. Biol.*, 1998. Vol. 10. N 6. P. 689–697.
- Carlyon R., Gore C., Woolford S., Bryant R. Calibrating Harpenden skinfold calipers // *Anthropometrica: a textbook of body measurements for sports and health courses* / K. Norton, T. Olds (eds.). Sydney: Univ. of South Wales Press, 2004. P. 97–119.
- Carter J.E.L. The Heath-Carter anthropometric somatotype: instruction manual. 2002. URL: <http://www.somatotype.org/Heath-CarterManual.pdf> (дата обращения: 15.08.2017).
- Carter J.E.L., Heath B.H. Somatotyping – development and applications. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1990. 503 p.
- Cicek B., Ozturk A., Unalan D., Bayat M., Mazicioglu M.M., Kurtoglu S. Four-site skinfolds and body fat percentage references in 6-to-17-year old Turkish children and adolescents // *J. Pak. Med. Assoc.*, 2014. Vol. 64. N 10. P. 1154–1161.
- CISION PR Newswire. SKYINDEX™ announces new bluetooth wireless Pro120 skinfold caliper. 2014. URL: <http://www.prnewswire.com/news-releases/skyindex-announces->

- new-bluetooth-wireless-pro120-skinfold-caliper-261148901.html (дата обращения: 15.08.2017).
- Controzzi M., D'Alonzo M., Peccia C., Oddo C.M., Carrozza M.C., Cipriani C. Bioinspired fingertip for anthropomorphic robotic hands // *Appl. Bionics Biomech.*, 2014. Vol. 11. N 1–2. P. 25–38. DOI:10.3233/ABB-140092.
- Correnti V. Il malachistometro – nuovo apparecchio per la misura dello spessore delle parti molli // *Riv. Antrop.*, 1947. Vol. 35. P. 439–442.
- Durnin J.V.G.A., Rahman M.M. The assessment of the amount of fat in the human body from measurements of skinfold thickness // *Brit. J. Nutr.*, 1967. Vol. 21. N 3. P. 681–689.
- Durnin J.V.G.A., Womersley J. Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years // *Br. J. Nutr.*, 1974. Vol. 32. N 1. P. 77–97. DOI:10.1079/BJN19740060.
- Edwards D.A.W., Hammond W.H., Healy M.J.R., Tanner J.M., Whitehouse R.H. Design and accuracy of calipers for measuring subcutaneous tissue thickness // *Br. J. Nutr.*, 1955. Vol. 9. P. 133–143.
- Escoffier C., de Rigal J., Rochefort A., Vasselet M., Leveque J.-L., Agache P.G. Age-related mechanical properties of human skin: an in vivo study // *J. Invest. Dermatol.*, 1989. Vol. 93. N 3. P. 353–357. DOI:10.1111/1523-1747.ep12280259.
- Fidanza F. Body fat in adult man: semicentenary of fat density and skinfolds // *Acta Diabetol.*, 2003. Vol. 40. Suppl. 1. P. 242–245. DOI:10.1007/s00592-003-0076-0.
- Fok T.-F., Hon K.-L.E., Ng P.-C., Wong M.-C.E., So H.K., Lau T.F., Chow C.B., Lee W.H., on behalf of the Hong Kong Neonatal Measurements Working Group. Normative data for triceps and subscapular skinfold thicknesses of Chinese infants // *Acta Paediatr.*, 2006. Vol. 95. N 12. P. 1614–1619. DOI:10.1080/08035250600714318.
- Franzen R. Physical measures of growth and nutrition. N.Y.: American Child Health Association, 1929. 150 p.
- Frisancho A.R. Anthropometric standards for the assessment of growth and nutritional status. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1990. 200 p.
- Gibson R.S. Principles of nutritional assessment, 2<sup>nd</sup> ed. Oxford: Oxford University Press, 2005. 928 p.
- Gore C.J., Woolford S.M., Carlyon R.G. Calibrating skinfold calipers // *J. Sports Sci.*, 1995. Vol. 13. N 4. P. 355–360. DOI:10.1080/02640419508732249.
- Grady D. The state of weight: many are too fat for the calipers. URL: <http://www.nytimes.com/2001/01/09/health/the-state-of-weight-many-are-too-fat-for-the-calipers.html> (дата обращения: 15.08.2017).
- Gruber J.J., Pollock M.L., Graves J.E., Colvin A.B., Braith R.W. Comparison of Harpenden and Lange calipers in predicting body composition // *Res. Quart.*, 1990. Vol. 61. N 2. P. 184–190. DOI:10.1080/02701367.1990.10608673.
- Hammond W.H. Measurement and interpretation of subcutaneous fat, with norms for children and young adult males // *Br. J. Prev. Soc. Med.*, 1955. Vol. 9. N 4. P. 201–211. Handbook of anthropometry: physical measures of human form in health and disease / Preedy V.R. (ed.). N.Y.: Springer-Verlag, 2012. 3107 p.
- Hewitt G.B., Withers R.T., Brooks A.G., Woods G.F., Day L.A. Improved rig for dynamically calibrating skinfold calipers: comparison between Harpenden and Slim Guide instruments // *Am. J. Hum. Biol.*, 2002. Vol. 14. N 6. P. 721–727. DOI:10.1002/ajhb.10087.
- Holtain Ltd. The Harpenden range of anthropometric instruments. 2017. URL: <http://www.holtain.co.uk> (дата обращения: 15.08.2017).
- Human biology. A guide to field methods // *IBP Handbook*. N 9 / Weiner J.S., Lourie J.A. (eds.). Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1969. 621 p.
- Jackson A.S., Pollock M.L. Generalized equations for predicting body density of men // *Br. J. Nutr.*, 1978. Vol. 40. N 3. P. 497–504. DOI:10.1079/BJN19780152.
- Kalichman L., Kobylansky E. Sex- and age-related variations of the somatotype in a Chuvasha population // *HOMO – Journal of Comparative Human Biology*, 2006. Vol. 57. N 2. P. 151–162. DOI:10.1016/j.jchb.2006.01.002.
- Keys A., Brozek J. Body fat in adult man // *Physiol. Rev.*, 1953. Vol. 33. N 3. P. 245–325.
- Khadilkar A., Mandlik R., Chiplonkar S., Khadilkar V., Ekbote V., Patwardhan V. Reference centile curves for triceps skinfold thickness for Indian children aged 5–17 years and cut-offs for predicting risk of childhood hypertension: a multi-centric study // *Indian Pediatrics*, 2015. Vol. 52. N 8. P. 675–680.
- Kotelnmann L. Die Körperverhältnisse der Gelehrtenschüler des Johanneums in Hamburg. Ein statistischer Beitrag zur Schulhygiene. Berlin, 1879.
- Kuhle S., Maguire B., Ata M., Hamilton D. Percentile curves for anthropometric measures for Canadian children and youth // *PloS One*, 2015. Vol. 10. N 7. P. e0132891. DOI:10.1371/journal.pone.0132891.
- Lange K.O., Brozek J. A new model of skinfold caliper // *Am. J. Phys. Anthropol.*, 1961. Vol. 19. N 1. P. 98–99.
- Leger L.A., Lambert J., Martin P. Validity of plastic skinfold caliper measurements // *Hum. Biol.*, 1982. Vol. 54. N 3. P. 667–675.
- Lohman T.G., Pollock M.L. Skinfold measurement: Which caliper? How much training? // *J. Phys. Edu. Recreat. Dance*, 1981. Vol. 52. N 1. P. 27–29.
- Marfell-Jones M.J., Stewart A.D., De Ridder J.H. International standards for anthropometric assessment. Wellington: International Society for the Advancement of Kinanthropometry, 2012. 131 p.
- Marroddan M.D., de Espinosa M.G.M., Herraes A., Alfaro E.L., et al. Development of subcutaneous fat in Spanish and Latin American children and adolescents: Reference values for biceps, triceps, subscapular and suprailiac skinfolds // *HOMO – Journal of Comparative Human Biology*, 2017. Vol. 68. N 2. P. 145–155. DOI:10.1016/j.jchb.2017.02.003.
- Matiegka J. The testing of physical efficiency // *Am. J. Phys. Anthropol.*, 1921. Vol. 4. N 3. P. 223–230.
- Mueller W.H., Martorell R.T., Lohman T., Roche A.F., Martorell R. Reliability and accuracy of measurement // *Anthropometric standardization reference manual* / Lohman T., Roche A.F., Martorell R. (eds.). Champaign, IL: Human Kinetics, 1988. P. 83–86.
- Must A., Dallal G.E., Dietz W.H. Reference data for obesity: 85th and 95th percentiles of body mass index (wt/ht<sup>2</sup>) and triceps skinfold thickness // *Am. J. Clin. Nutr.*, 1991. Vol. 53. N 4. P. 839–846.
- Nachman M., Franklin S.E. Artificial skin model simulating dry and moist in vivo human skin friction and deformation behavior // *Tribology Int.*, 2016. Vol. 97. P. 431–439. DOI:10.1016/j.triboint.2016.01.043.

- Nagy P., Kovacs E., Moreno L.A., Veidebaum T., Tornaritis M., Kourides Y. et al., on behalf of the IDEFICS consortium. Percentile reference values for anthropometric body composition indices in European children from the IDEFICS study // *Int. J. Obes.*, 2014. Vol. 38 (Suppl. 2). P. S15–S25. DOI:10.1038/ijo.2014.131.
- National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES). Anthropometry procedures manual. CDC, 2007. 102 p. Электронный ресурс. URL: [https://www.cdc.gov/nchs/data/nhanes/nhanes\\_07\\_08/manual\\_an.pdf](https://www.cdc.gov/nchs/data/nhanes/nhanes_07_08/manual_an.pdf) (дата обращения: 15.08.2017).
- Norton K., Olds T. (Eds.) *Anthropometrica: a textbook of body measurements for sports and health courses*. Sydney: Univ. of South Wales Press, 2004. 413 p.
- Norton K., Whittingham N., Carter L., Kerr D., Gore C., Marfell-Jones M. *Measurement techniques in anthropometry* // *Anthropometrica: a textbook of body measurements for sports and health courses* / K. Norton, T. Olds (eds.). Sydney: Univ. of South Wales Press, 2004. P. 25–76.
- NutriActiva. Skinfold caliper calibration. 2017. URL: <http://www.nutriactiva.com/skinfold-caliper-calibration/> (дата обращения: 15.08.2017).
- Parizkova J., Roth Z. The assessment of depot fat in children from skinfold thickness measurements by Holtain (Tanner/Whitehouse) calipers // *Hum. Biol.*, 1972. Vol. 44. N 4. P. 613–620.
- Richer P. Du role de la graisse dans la conformation exterieure du corps humain // *Nouv. Iconogr. Salpetriere*, 1890. Vol. 3. P. 20–26.
- Roche A., Sun S. *Human growth: assessment and interpretation*. Cambridge: Cambridge University Press, 2003. 311 p.
- Romero-Corral A., Somers V.K., Sierra-Johnson J., Thomas R.J., Bailey K.R., Collazo-Clavell M.L., Allison T.G., Korinek J., Batsis J.A., Lopez-Jimenez F. Accuracy of body mass index to diagnose obesity in the US adult population // *Int. J. Obes.*, 1998. Vol. 32. N 6. P. 959–966. DOI:10.1038/ijo.2008.11.
- Ross W.D., Eiben O.G. A commentary on the optimal design of an anthropometric tape // *Acta Med. Auxol.*, 1992. Vol. 24. N 2. P. 101–104.
- Schmidt P.K., Carter J.E.L. Static and dynamic differences among five types of skinfold calipers // *Hum. Biol.*, 1990. Vol. 62. N 3. P. 369–388.
- Slaughter M.H., Lohman T.G., Boileau R.A., Horswill C.A., Stillman R.J., Van Loan M.D., Bembien D.A. Skinfold equations for estimation of body fatness in children and youth // *Hum. Biol.*, 1988. Vol. 60. N 5. P. 709–723.
- Sloan A.W., Shapiro M. A comparison of skinfold measurements with three standard calipers // *Hum. Biol.*, 1972. Vol. 44. N 1. P. 29–36.
- Tanner J.M. *A history of the study of human growth*. Cambridge: Cambridge University Press, 1981. 499 p.
- Tanner J.M., Whitehouse R.H. Revised standards for triceps and subscapular skinfolds in British children // *Arch. Dis. Child.*, 1975. Vol. 50. N 2. P. 142–145.
- Tanner J.M., Whitehouse R.H. The Harpenden skinfold caliper // *Am. J. Phys. Anthropol.*, 1955. Vol. 13. N 4. P. 743–746. DOI:10.1002/ajpa.1330130413.
- The Heath-Carter anthropometric somatotype: instruction manual. 2002. URL: <http://www.somatotype.org/Heath-CarterManual.pdf> (дата обращения: 15.08.2017).
- Trotta T.N., Trotta J.A., Lowe S. Human tissue models, materials, and methods. US Patent no 20170069231. 2017. URL: <http://www.google.com/patents/US20170069231> (дата обращения: 15.08.2017).
- Ulijaszek S.J., Kerr D.A. Anthropometric measurement error and the assessment of nutritional status // *Br. J. Nutr.*, 1999. Vol. 82. N 3. P. 165–177. DOI:10.1017/S0007114599001348.
- Ulijaszek S.J., Mascie-Taylor S.J.N. (Eds.) *Anthropometry: the individual and the population*. Cambridge: Cambridge University Press, 1994. 213 p.
- Wagner D.R. Ultrasound as a tool to assess body fat // *J. Obes.*, 2013. Vol. 2013. Article ID 280713. DOI:10.1155/2013/280713.
- Wohlfahrt-Veje C., Tingaard J., Winther K., Mouritsen A., Hagen C.P., Mieritz M.G., de Renzy-Martin K.T., Boas M., Petersen J.H., Main K.M. Body fat throughout childhood in 2647 healthy Danish children: agreement of BMI, waist circumference, skinfolds with dual X-ray absorptiometry // *Eur. J. Clin. Nutr.*, 2014. Vol. 68. N 6. P. 664–670. DOI:10.1038/ejcn.2013.282.
- Womersley J., Durmin J.V.G.A., Armstrong W.H., Friskey M. An experimental study on variability of measurements of skinfold thickness in young adults // *Hum. Biol.*, 1973. Vol. 45. N 2. P. 281–292.
- Wood R. Skinfold caliper guide, 2008. URL: <http://www.topendsports.com/testing/skinfold-caliper-guide.htm> (дата обращения: 15.08.2017).
- World Health Organization (WHO). Physical status: the use and interpretation of anthropometry. Report of a WHO Expert Committee. World Health Organ. Tech. Rep. Ser. No. 854. Geneva: WHO, 1995. 452 p. URL: [http://www.who.int/childgrowth/publications/physical\\_status/en/](http://www.who.int/childgrowth/publications/physical_status/en/) (дата обращения: 15.08.2017).
- Zillikens M.C., Conway J.M. Anthropometry in blacks: applicability of generalised skinfold equations and differences in fat patterning between blacks and whites // *Am. J. Clin. Nutr.*, 1990. Vol. 52. N 1. P. 45–51.

## Контактная информация:

Руднев Сергей Геннадьевич: e-mail: [sergey.rudnev@gmail.com](mailto:sergey.rudnev@gmail.com);  
Анисимова Анна Викторовна:  
e-mail: [anna.anisimova@anthropos.msu.ru](mailto:anna.anisimova@anthropos.msu.ru);  
Синдеева Людмила Викторовна: e-mail: [lsind@mail.ru](mailto:lsind@mail.ru);  
Задорожная Людмила Викторовна: e-mail: [mumla@rambler.ru](mailto:mumla@rambler.ru);  
Лукина Светлана Сергеевна: e-mail: [svetaluk2011@yandex.ru](mailto:svetaluk2011@yandex.ru);  
Малахина Анастасия Валерьевна:  
e-mail: [malahina.anastasiya26@yandex.ru](mailto:malahina.anastasiya26@yandex.ru);  
Вашура Андрей Юрьевич: e-mail: [avashura@gmail.com](mailto:avashura@gmail.com);  
Цейтлин Григорий Янкелевич: e-mail: [grigoryts@yandex.ru](mailto:grigoryts@yandex.ru);  
Година Елена Зиновьевна: e-mail: [godina@anthropos.msu.ru](mailto:godina@anthropos.msu.ru).

## METHODOLOGICAL ISSUES OF STUDYING VARIATIONS IN SUBCUTANEOUS FAT: A COMPARISON OF DIFFERENT TYPES OF SKINFOLD CALIPERS

S.G. Rudnev<sup>1,2</sup>, A.V. Anisimova<sup>3</sup>, L.V. Sindeeva<sup>4</sup>, L.V. Zadorozhnaya<sup>3</sup>, S.S. Lukina<sup>5</sup>,  
A.V. Malakhina<sup>5</sup>, A.Yu. Vashura<sup>5</sup>, G.Ya. Tseytlin<sup>5</sup>, E.Z. Godina<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Numerical Mathematics of the Russian Academy of Sciences, Moscow*

<sup>2</sup>*Federal Research Institute for Health Organization and Informatics of Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow*

<sup>3</sup>*Lomonosov Moscow State University, Institute and Museum of Anthropology, Moscow*

<sup>4</sup>*Krasnoyarsk State Medical University named after V.F. Voino-Yasenetsky, Krasnoyarsk*

<sup>5</sup>*National Medical Research Center of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology named after D. Rogachev, Moscow*

*Skinfold measurements are routinely used in biological and medical anthropology to assess subcutaneous adiposity, body physique and composition, as well as nutritional state. The results of measurements depend not only on the measurement technique, but also on the type of skinfold caliper. The diversity of skinfold caliper types and intergroup differences in the results of measurements make it difficult to generalize and compare data of various population studies.*

*Our aim was to test the validity and reliability of skinfold measurements among various types of skinfold calipers.*

*A comparative experimental study was carried out with the participation of five measurers using 11 skinfold calipers of the following five types: FatTrack II (Accu-Measure, USA), GPM (DKSH, Switzerland), KETS-100 (JSC TVES, Tulinovsky Instrument Making Plant, Tambov region, Russia), Lange (Beta Technology; Cambridge Scientific Industries, USA), and Veresk (LLC Veresk, Krasnoyarsk, Russia). The study was conducted in three stages: by using metal caliper checking gauge (GPM model 219) and sandwiches of soft silicone rubber kSil™ GP250 (Silicone Engineering, UK) as well as by measurement of four skinfolds (triceps, subscapular, suprailiac, and calf) used in the Heath-Carter anthropometric somatotype method, in 11 adult volunteers.*

*When measuring the calibration block and sandwiches of silicone rubber with metal skinfold calipers (GPM, Lange or Veresk), the standard deviations of means and coefficients of variation were, on average, 3 times lower as compared to plastic ones (FatTrack II, KETS-100). As compared to GPM, the calipers KETS-100, Lange, and Veresk significantly overestimated the thickness of sandwiches and the sum of the above mentioned four skinfolds, while the differences of GPM and FatTrack II were statistically insignificant.*

*In total, our study showed an advantage of using conventionally recommended equipment. Among the five types of skinfold calipers, GPM showed the best performance (overall subjective score 8.9 out of 10 points). The Lange skinfold caliper, despite the relatively high reproducibility of the measurement results, tended to overestimate skinfold thickness (overall score 7.0 points). The skinfold caliper FatTrack II was comparable in accuracy with GPM but provided less reproducible results (overall score 6.2 points). With a relatively high reliability, the skinfold caliper Veresk showed poor quality of static and dynamic calibration (overall score 5.8 points). The worst performance (maximal total technical error of measurements, minimal coefficient of reliability, poor calibration) was shown by the caliper KETS-100 (overall score 2.1 points) which rises serious doubts on the appropriateness of its use for the purpose of preventive screening in Russian Health Centers and, on the whole, for research and practical purposes.*

*To enable comparability of skinfold data, the results of measurements should be accompanied with the following information:*

- *which type of a skinfold caliper was used and how it met the conventional requirements of the measurement standardization (metal or plastic, contact surface area, jaw pressure, dial graduation, etc.);*
- *data on the comparison of the skinfold caliper with the reference ones;*
- *data on static and dynamic calibration;*
- *data on the measurer(s) training, technical errors of measurements and coefficients of reliability.*

*Keywords: anthropometry, skinfolds, skinfold calipers, comparison, validity, reliability, technical error of measurements, coefficient of reliability*